

AMBIENTE  
IMPIANTO SMART  
UTENTE GRID  
CONSUMO RETE  
**RICERCA** SVILUPPO  
H<sub>2</sub> DI SEOLICO  
**SISTEMA**  
SOSTENIBILITÀ  
BIOMASSA ACCUMULO  
**EFFICIENZA**  
RISPARMIO  
IMPATTO  
**ENERGIA**  
FOTOVOLTAICO  
GENERAZIONE  
TECNOLOGIA  
CO<sub>2</sub> kWh



AMBIENTE  
IMPIANTO SMART  
UTENTE GRID  
CONSUMO SVILUPPO RETE  
**RICERCA** SEOLICO  
H<sub>2</sub>D **SISTEMA**  
SOSTENIBILITÀ  
BIOMASSA ACCUMULO  
**EFFICIENZA**  
RISPARMIO  
IMPATTO  
**ENERGIA**  
FOTOVOLTAICO  
GENERAZIONE  
TECNOLOGIA  
CO<sub>2</sub> kWh



**csea**

cassa per i servizi  
energetici e ambientali

I Edizione RdS 2000-2011  
II Edizione RdS 2012-2014  
III Edizione RdS 2015-17/18  
IV Edizione RdS 2019-2021  
V Edizione RdS 2022-2024

# PREFAZIONE

La presente pubblicazione, giunta alla sua quinta edizione, ha il fine di fornire una panoramica sulle informazioni, gli obiettivi e i risultati raggiunti dalla Ricerca di Sistema nell'ultimo triennio di attività.

La pubblicazione si concentra, infatti, sui progetti afferenti il Piano Triennale 2022-2024.

I contenuti sono stati elaborati dall'Area Programmi di Ricerca della Cassa per i Servizi Energetici e Ambientali con la collaborazione degli Affidatari degli Accordi di Programma e degli Assegnatari dei Bandi per assolvere ai compiti di diffusione dei risultati finali così come previsto dall'art. 8 del D.M. 16 aprile 2018.

Lo scopo è quello di fornire ad una platea, di formazione scientifica e non, l'opportunità di conoscere in concreto cos'è e come si è sviluppata nel mondo dell'energia la Ricerca di Sistema, finanziata dalla componente tariffaria A5<sub>rim</sub>.

Si coglie, pertanto, l'occasione per ringraziare RSE S.p.A., ENEA, CNR e tutti gli Assegnatari dei progetti dei Bandi per il fondamentale apporto fornito in questa sede e, prima ancora, per quanto svolto nell'arco di questi anni.

Si ringrazia inoltre il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, e l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente per l'operato e la fiducia.





<b>1.</b>	<b>Introduzione</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Il Piano Triennale 2022-2024</b>	<b>11</b>
	➤ RSE	<b>14</b>
	➤ ENEA	<b>25</b>
	➤ CNR	<b>39</b>
	➤ INTEGRATI	<b>44</b>
	➤ BANDO A	<b>53</b>
	➤ BANDO B	<b>61</b>

## 1. Cos'è Ricerca di Sistema

La Ricerca di Sistema (RdS) è l'attività di ricerca e sviluppo finalizzata all'innovazione tecnica e tecnologica di interesse generale per il settore elettrico che ha come obiettivo ridurre il costo dell'energia elettrica per gli utenti finali, migliorando l'affidabilità del sistema e la qualità del servizio ed al contempo riducendo l'impatto del sistema elettrico sull'ambiente e sulla salute, consentendo l'utilizzo razionale delle risorse energetiche al fine di assicurare al Paese le condizioni per uno sviluppo sostenibile.

## 2. Il sistema di finanziamento della RdS

Con l'avvio del processo di liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica, che origina in Italia dal "Decreto Bersani" (D. Lgs. n. 79/99 di attuazione della direttiva 96/92/CE), è stata stabilita l'inclusione dei "costi relativi alle attività di ricerca e sviluppo finalizzate all'innovazione tecnica e tecnologica di interesse generale per il settore elettrico" nell'ambito degli oneri generali afferenti al sistema elettrico.

Tale inclusione risponde alla necessità di assicurare sostegno alla ricerca in campo elettrico, anche a seguito del passaggio dall'ex monopolista nazionale Enel, cui in precedenza erano affidati compiti di ricerca per il sistema, ad una situazione di concorrenza tra più player operanti sul mercato nazionale. Le attività della RdS, così come individuate dal D.M. 26 gennaio 2000, possono essere tanto di tipo fondamentale e a totale beneficio degli utenti del sistema elettrico nazionale (art. 10, comma 2, lett. a), "tipo a"), quanto avere ad oggetto ricerca industriale e sviluppo sperimentale a beneficio anche di soggetti operanti nel settore dell'energia elettrica nazionale o internazionale (art. 10, comma 2, lett. b), "tipo b").

Le attività, programmate oggi dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), sono finanziate dalla Cassa

per i servizi energetici e ambientali (CSEA) mediante prelievi a carico del "Fondo per il finanziamento delle attività di ricerca" (Conto), istituito presso la CSEA e alimentato dal gettito della componente tariffaria A5<sub>RIM</sub>, stabilita periodicamente dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) (pari a circa 0,024 c€/kWh per l'anno 2024).

## 3. La RdS prima del Decreto 16 aprile 2018

Prima con il Decreto 28 febbraio 2003 e successivamente con il Decreto 8 marzo 2006 (poi abrogato con il D.M. 16 aprile 2018), l'allora Ministero dello Sviluppo Economico (di seguito: MiSE o Ministero) provvedeva a definire, d'intesa con ARERA, le modalità per la selezione dei progetti di ricerca da ammettere al finanziamento, le procedure per il controllo dello stato di avanzamento e dei risultati dei progetti ammessi, le modalità e i criteri per la gestione del Conto, nonché i criteri per l'organizzazione strutturale della RdS.

Nel primo triennio di finanziamento (2000-2002), in via transitoria, erano finanziate attività di RdS svolte da un unico affidatario, il CESI S.p.A., società nella quale erano confluite gran parte delle strutture di ricerca dell'Enel, assegnando all'ARERA il compito della selezione e della verifica dei progetti. Il sistema transitorio di affidamento ad un unico soggetto era stato prorogato fino a coprire tutti i progetti presentati entro il 31 dicembre 2003. L'ARERA, avvalendosi della CSEA e di esperti di comprovata competenza nel settore, aveva proseguito l'attività di verifica e valutazione dei progetti sino alla fine del 2005, poiché questi avevano durata triennale. Il D.M. 28 febbraio 2003 aveva poi visto la costituzione del Comitato di Esperti di Ricerca del Sistema Elettrico (CERSE) ed aveva istituito, presso la CSEA, la Segreteria Operativa del CERSE (SO). Tale decreto individuava inoltre le procedure concorsuali che permettevano l'ammissione dei progetti di ricerca al finanziamento. Compito del CERSE era quello di predisporre il Piano Triennale (PT), previa consultazione dell'ARERA,

del Ministero dell'istruzione, dell'università e della ricerca e del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e della CSEA. Il PT individuava le priorità delle attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale, gli obiettivi, i progetti di ricerca, i risultati attesi e la previsione del fabbisogno per il finanziamento di quest'ultimi. Con il Decreto 8 marzo 2006 erano state stabilite nuove modalità di gestione del Fondo. Del PT faceva parte integrante il Piano operativo annuale (POA) che si riferiva ad ogni anno di attività di quest'ultimo. Il CERSE si avvaleva, nell'espletamento delle sue funzioni, della SO la quale predisponendo bandi di selezione per individuare esperti di comprovata competenza nel campo della ricerca e dello sviluppo del settore elettrico per la valutazione dei progetti di ricerca di sistema, in modo da garantire indipendenza di valutazione e di giudizio. Circa le modalità di selezione dei progetti di ricerca, il Decreto 8 marzo 2006 prevedeva che il MiSE attivasse Accordi di Programma triennali (AdP) ed emanasse bandi di gara per finanziare progetti di ricerca, i cui contributi erano erogati dalla CSEA. Il sistema si configurava, quindi, con le seguenti modalità di finanziamento:

- per i progetti di ricerca di tipo a, erano previsti sia AdP tra MiSE e soggetti pubblici, o organismi a prevalente partecipazione pubblica, sia procedure concorsuali (bandi);
- per i progetti di ricerca di tipo b, erano previste le sole procedure concorsuali (bandi).

Essendo cessato per decorrenza dei termini l'incarico dei componenti del CERSE, il MiSE, con decreto n. 383/2007, ne aveva attribuito transitoriamente le funzioni all'ARERA.

### 3.1. Primo Periodo 2000-2006

Per un primo periodo transitorio le disponibilità del Conto erano state assegnate a progetti proposti dal CESI S.p.A. e

giudicati ammissibili a contribuzione dall'ARERA, sulla base di istruttorie e verifiche organizzate e gestite dalla CSEA tramite il coinvolgimento di esperti nel settore della ricerca di comprovata professionalità ed inseriti in un albo predisposto ad hoc. Il finanziamento aveva riguardato progetti triennali svolti nei periodi 2000-2002 e 2003-2005, per un importo pari, rispettivamente a 191.11 M€ e 115.9 M€.

### 3.2. Piano Triennale 2006-2008

Con il decreto 23 marzo 2006, il MiSE aveva approvato, con modifiche, il PT (2006-2008) ed il relativo Piano operativo annuale 2006 (POA). Con lo stesso decreto erano stati, altresì, individuati, ai sensi del decreto 8 marzo 2006, i tre affidatari degli AdP, CESI Ricerca S.p.A. (oggi RSE S.p.A.), ENEA e CNR, con i quali erano stati stipulati gli AdP, da realizzarsi in coerenza con il PT. I tre affidatari avevano quindi presentato al CERSE i Piani Annuali di Realizzazione (PAR), articolati per progetti di ricerca, per ciascuna delle attività di ricerca e sviluppo oggetto degli AdP. Per il PT 2006-2008, la ripartizione dei contributi per gli Accordi di Programma (180 M€) era avvenuta nel seguente modo:

- ENEA 60 M€, di cui erogati dopo valutazione 59,51 M€;
- CNR 15 M€, di cui erogati dopo valutazione 14,77 M€;
- CESI Ricerca S.p.A. 105 M€, di cui erogati dopo valutazione 104,92 M€.

La pubblicazione del primo bando della RdS, relativo alle competenze della prima annualità del PT 2006-2008, risale alla fine del 2008. Il MiSE, con i decreti del 12 dicembre 2008 e del 4 maggio 2009, aveva approvato il Bando di gara per la selezione dei progetti di tipologia b. Tra i temi individuati dal POA 2006 erano stati selezionati, per proporre progetti di ricerca, quelli che al momento dell'emanazione conservavano

importanza e rilevanza strategica per il sistema elettrico nazionale e che non si sovrapponevano con altre iniziative nazionali di agevolazione per la ricerca. I progetti di ricerca avviati e ammessi a finanziamento erano stati in totale 17. Successivamente all'avvio dei progetti vi erano state due revoche di contributo, riducendo a 15 il numero dei progetti ammessi per un finanziamento complessivo di 14,48 M€.

### 3.3. Piano Triennale 2009-2011

Con il decreto 19 marzo 2009 il MiSE aveva approvato il secondo Piano Triennale (2009-2011) ed il relativo POA 2009 individuando i medesimi affidatari degli Accordi di Programma: RSE S.p.A., ENEA e CNR. Conseguentemente il MiSE aveva provveduto a stipulare i nuovi AdP con gli affidatari, rispettivamente nel 2009 con RSE, nel 2010 con l'ENEA e nel 2011 con il CNR. Gli affidatari avevano successivamente presentato al CERSE i rispettivi PAR, articolati per progetti di ricerca, per ciascuna delle attività di ricerca e sviluppo oggetto degli AdP. Per il PT 2009-2011 la ripartizione dei contributi per gli Accordi di Programma (152 M€) era avvenuta nel seguente modo:

- ENEA 40 M€, di cui erogati dopo valutazione 39,9 M€;
- CNR 9 M€ di cui erogati dopo valutazione 8,08 M€;
- RSE S.p.A. 103 M€ di cui erogati dopo valutazione 102,99 M€.

### 3.4. Piano Triennale 2012-2014

Con il decreto del 9 novembre 2012, il MiSE aveva approvato il Piano Triennale 2012-2014 ed il relativo POA 2012, con il quale erano stati stanziati 221 M€ per il finanziamento di progetti da realizzare tramite Accordi di Programma e nuovi bandi. Le attività di ricerca del Piano Triennale 2012-2014 erano state orientate alla promozione di un sistema energetico

più sicuro ed efficiente, che permettesse il contenimento dei prezzi dell'energia elettrica per i consumatori e le imprese, che contribuisse allo sviluppo economico e sociale del Paese, che sviluppasse tecnologie sempre più innovative, efficienti e competitive migliorando la qualità del servizio e diminuendo costi e impatto sull'ambiente. Il Piano Triennale era stato strutturato su tre macroaree di ricerca: governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale; produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente; razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica. Per il PT 2012-2014 la ripartizione dei contributi per gli Accordi di Programma (178,6 M€) era avvenuta nel seguente modo:

- ENEA 79,1 M€, di cui erogati dopo valutazione 76,71 M€;
- CNR 8,6 M€ di cui erogati dopo valutazione 7,38 M€;
- RSE S.p.A. 90,9 M€ di cui erogati dopo valutazione 89,64 M€.

Per quanto riguarda i bandi, il 30 giugno 2014, il MiSE con Decreto Direttoriale aveva approvato il bando di gara di tipo "b" per la selezione dei progetti di ricerca, come previsto dal PT 2012-2014, e dal POA 2013. L'ARERA con la delibera 398/2015/rds del 30 luglio 2015 aveva ammesso alla fase di valutazione 64 proposte di progetto su 67 totali presentate. Successivamente, grazie alle valutazioni effettuate dagli esperti, il MiSE con Decreto Direttoriale del 21 aprile 2016 aveva ammesso al finanziamento 27 progetti. A seguito di rinunce ed esclusioni dalla graduatoria per mancati adempimenti, i progetti avviati erano stati 22, per un contributo totale ammesso a finanziamento pari a 18,8 M€. Nel 2020 sono stati revocati i contributi per un progetto: i progetti ammessi a finanziamento e arrivati a conclusione sono stati quindi 21, per un totale ammesso a finanziamento di 16,25 M€. Per quanto concerne le attività di ricerca svolte dai progetti del bando b 2014, si rimanda all'approfondimento presente nella terza edizione di questa pubblicazione.

### 3.5. Piano Triennale 2015-2017/2018

Con il decreto del 21 aprile 2016, il MiSE aveva approvato il Piano Triennale 2015-2017 con il quale erano stati stanziati 210 M€ per il finanziamento di progetti da realizzare tramite Accordi di Programma e nuovi bandi.

I temi di ricerca erano stati aggregati in quattro aree di intervento: governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale interconnesso e integrazione dei mercati; generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio; trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica ed efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici.

Il successivo decreto di riforma della Ricerca di Sistema del 16 aprile 2018 aveva stabilito che gli affidatari degli AdP, le cui attività di finanziamento avevano termine nel corso del 2018, potevano presentare al MiSE Piani di realizzazione, coerenti con il Piano Triennale 2015-2017, contenenti attività integrative da svolgere entro il 31 dicembre 2018 al fine di allineare tutte le attività di ricerca a tale data, in modo da garantire un corretto avvio delle nuove attività con l'entrata in vigore della riforma. Per l'ammissione al finanziamento i Piani erano stati valutati secondo le procedure previste dal decreto 8 marzo 2006.

Nel complesso, per il PT 2015-2017 e le attività di ricerca integrative svolte nell'anno 2018, la ripartizione dei contributi per gli Accordi di Programma (197,61 M€) era avvenuta nel seguente modo:

- ENEA 73,81 M€, di cui erogati dopo valutazione 71,28 M€;
- CNR 7,68 M€ di cui erogati dopo valutazione 7,47 M€;
- RSE S.p.A. 116,12 M€ di cui erogati dopo valutazione 115,7 M€.

### 4. La Riforma della RdS del 2018

Il D.M. del 16 aprile 2018 ha introdotto la cosiddetta "Riforma della disciplina della ricerca di sistema elettrico". Il D.M., adottato dal Ministero dello Sviluppo Economico, ha confermato le modalità di finanziamento definite dall'originario decreto 26 gennaio 2000, mantenendo la distinzione tra:

- attività di tipo fondamentale e a totale beneficio degli utenti del sistema elettrico nazionale (art. 10, comma 2, lett. a), "tipo a"), per i quali sono previsti sia AdP tra MiSE e soggetti pubblici, o organismi a prevalente partecipazione pubblica, sia procedure concorsuali (bandi);
- attività di ricerca industriale e a sviluppo sperimentale e a beneficio anche di soggetti operanti nel settore dell'energia elettrica nazionale o internazionale (art. 10, comma 2, lett. b9, "tipo b"), per i quali sono previste le sole procedure concorsuali (bandi).

Contestualmente, il decreto ministeriale ha apportato cambiamenti rilevanti relativi alle modalità di gestione del Fondo, entrati in vigore dal 1 gennaio 2019, al fine di garantire maggiore aderenza dell'attività alle finalità previste dal decreto 26 gennaio 2000.

A tal riguardo, è stato abrogato il D.M. 8 marzo 2006, sopprimendo la SO ed il CERSE; le funzioni spettanti a tali organi sono state assegnate al MiSE (poi modificato in MiTE e successivamente MASE) ed alla CSEA.

Sono stati poi introdotti i Piani Triennali di Realizzazione (PTR), in luogo dei Piani Annuali di Realizzazione (PAR), con i quali gli affidatari degli AdP definiscono i progetti di ricerca, gli obiettivi e le risorse necessarie per ciascuna delle attività di ricerca e sviluppo oggetto dell'AdP. Ciò al fine di garantire un orizzonte programmatico più ampio e semplificare alcune procedure legate alla precedente programmazione annuale.

Per completezza, si riporta che con il D.M. del 12 aprile 2024, il Ministero ha introdotto la nuova “Riforma della normativa di settore riguardante la Ricerca di Sistema elettrico nazionale”. Il D.M. definisce le nuove modalità per la selezione e per il finanziamento dei progetti di ricerca da ammettere all'erogazione degli stanziamenti di cui all'articolo 11 (Fondo per la ricerca), comma 1, del decreto 26 gennaio 2000 e le modalità di verifica dello stato di avanzamento delle attività e dei risultati conseguiti.

## 4.1. Piano Triennale 2019/2021

Con il decreto 9 agosto 2019, il Ministero aveva approvato il Piano Triennale 2019-2021, con il quale sono stati stanziati 210 M€ per il finanziamento di progetti da realizzare tramite Accordi di Programma e nuovi bandi.

Il Piano Triennale era stato strutturato sulla base di scelte strategiche e criteri quali gli obiettivi individuati a livello europeo, il fabbisogno e gli interessi specifici del nostro paese, la capacità di risposta del sistema della ricerca e del tessuto imprenditoriale italiano alle esigenze nazionali e sollecitazioni europee. I temi di ricerca erano stati raggruppati sotto due obiettivi generali: Tecnologie e Sistema Elettrico.

Per il PT 2019-2021, la ripartizione dei contributi per gli Accordi di Programma (174 M€) era avvenuta nel seguente modo:

- ENEA 66,7 M€, di cui ammesso a finanziamento 65,68 M€;
- CNR 6,7 M€, di cui erogati dopo valutazione 6,7 M€;
- RSE 100,6 M€, di cui erogati dopo valutazione 98 M€.

Per quanto riguarda i bandi, con il decreto del 7 dicembre 2020, il Ministero aveva approvato il bando di gara di tipo “b” per la selezione dei progetti di ricerca industriale e sviluppo sperimentale afferenti ai seguenti temi:

- Fotovoltaico ad alta efficienza;
- Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti con riferimento al solo accumulo elettrochimico;
- Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali.

Inoltre, con il decreto del 27 ottobre 2021, il Ministero aveva approvato un bando di tipo “a” (20 M€) per la selezione di progetti di ricerca di base afferenti ai seguenti temi:

- Fotovoltaico ad alta efficienza ed in particolare progetti di ricerca relativi al solo studio e sviluppo di materiali innovativi per applicazioni fotovoltaiche;
- Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti ed in particolare progetti relativi allo studio e sviluppo di materiali per i sistemi di accumulo.

I progetti dei bandi a e b ammessi al finanziamento sono in corso di svolgimento alla data di realizzazione della presente pubblicazione. Per approfondimenti in merito ai progetti finanziati, si rimanda alla sezione dedicata.

# IL PIANO **TRIENNALE**



## **2022-2024**

## IL PIANO TRIENNALE 2022-2024

Per il PT 2022-2024, la ripartizione dei contributi per gli Accordi di Programma (195,5 M€) è avvenuta nel seguente modo:

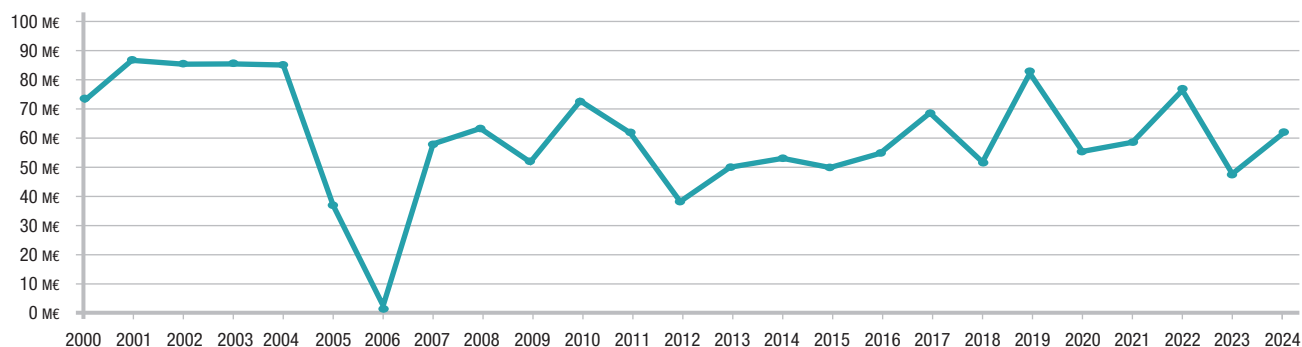
- ENEA 74 M€, di cui ammesso a finanziamento 73,84 M€;
- CNR 13,5M€, di cui erogati dopo valutazione 12,95 M€;
- RSE 108 M€, di cui erogati dopo valutazione 107,67 M€.

Attualmente si è conclusa la terza e ultima annualità dei progetti di ricerca costituenti i PTR, la cui valutazione dello stato di avanzamento finale è prevista entro il 2025. Gli stanziamenti totali per il PT 2022-2024, suddivisi per obiettivi generali, sono mostrati in tabella.

### ► IL PIANO TRIENNALE 2022-2024

Obiettivo generale	Accordi di Programma [M€]	Bandi [M€]	Totale [M€]
Decarbonizzazione	105,30	-	105,30
Digitalizzazione ed evoluzione delle reti	90,20	14,50	104,70
<b>TOTALE</b>	<b>195,50</b>	<b>14,50</b>	<b>210,00</b>

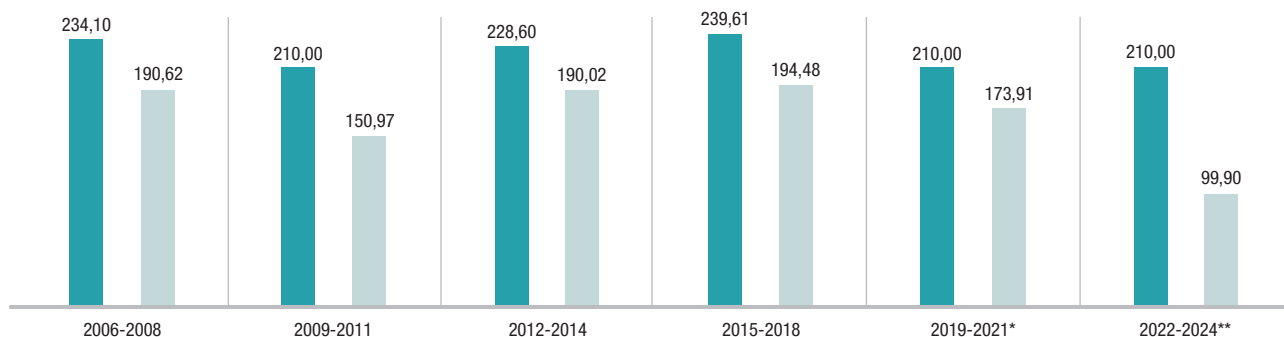
### ► GETTITO COMPONENTE A5<sub>RIM</sub>





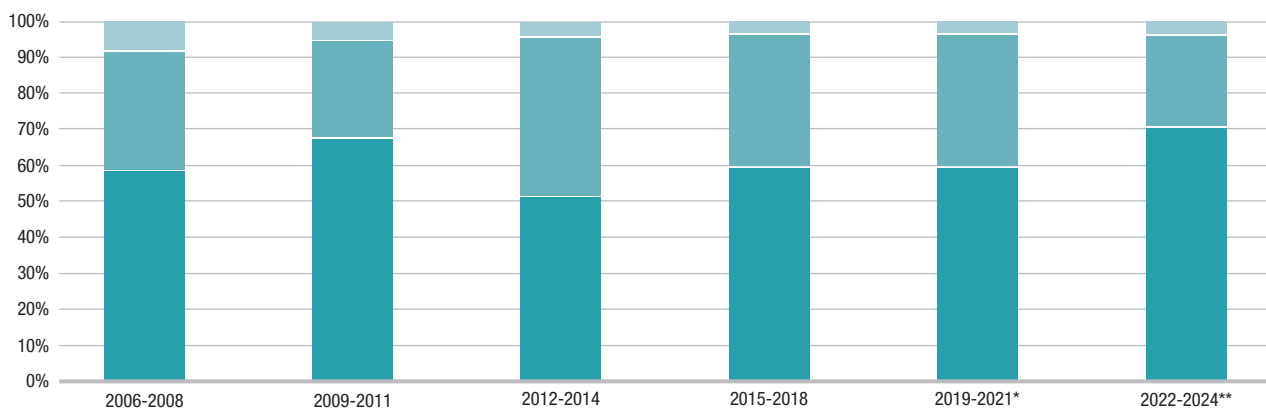
## ► I TRIENNI DELLA RdS

■ ASSEGNATI [M€] ■ EROGATI [M€]



## ► % SUL TOTALE DI CONTRIBUTO EROGATO

■ RSE ■ ENEA ■ ENEA



\* Alla data di pubblicazione, sono ancora da erogare contributi di finanziamento relativi ai PTR 2019-2021 di RSE, ENEA, CNR, al bando B 2014, al bando B 2020 e al bando A 2021.

\*\* Impegnati dopo la fase di valutazione di ammissione al finanziamento.



**RSE**

*Ricerca  
Sistema  
Energetico*

# ➤ Digitalizzazione del sistema energetico integrato

Il progetto studia le possibilità di impiego delle tecnologie emergenti nel settore informatico, delle telecomunicazioni e dell'intelligenza artificiale e sviluppa metodi, strumenti, algoritmi, piattaforme dimostrative e sperimentazioni per la digitalizzazione e l'integrazione dei sistemi energetici. La digitalizzazione dei processi di gestione ed esercizio dei sistemi energetici rappresenta il principale fattore abilitante per realizzare un sistema energetico integrato con elevati livelli di flessibilità ed efficienza e maggiore resilienza agli eventi che possono compromettere i servizi energetici. Il progetto si occupa di metodi e strumenti di modellazione ed elaborazione delle informazioni associate alle reti per l'energia, e ai contesti territoriali in cui sono inserite, per migliorare i processi di pianificazione e di gestione delle infrastrutture energetiche. Sviluppa strumenti di analisi di dati storici e di flussi dati in tempo reale per ottimizzare l'esercizio delle reti e

la manutenzione predittiva, applicando tecnologie big data e di intelligenza artificiale. È data particolare attenzione agli aspetti di standardizzazione in modo da contribuire all'interoperabilità fra i sistemi e favorire lo sviluppo di soluzioni aperte. Il progetto considera anche lo sviluppo di modelli digitali in grado di riprodurre il comportamento dei sistemi reali in esercizio. Sono valutate le potenzialità di architetture innovative di Edge/Fog e Cloud computing e metodi che abilitano processi di gestione dinamica dell'infrastruttura ICT in grado di aumentarne la resilienza. Vengono applicate tecnologie di comunicazione emergenti 5G e indagate anche le opportunità di utilizzo nel settore energetico di comunicazioni quantistiche. Infine, sono trattate soluzioni tecnologiche che abilitano un coinvolgimento esteso degli utenti finali nell'esercizio delle reti elettriche e abilitano il pieno sfruttamento della loro flessibilità.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Carlo Ismaele Tornelli

## ➤ Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

L'obiettivo del progetto è quello di favorire la diffusione dell'efficienza energetica e della decarbonizzazione nel settore industriale, sviluppando tecnologie di prodotto e di processo, allo scopo di conseguire gli obiettivi di crescita previsti dai documenti di indirizzo nazionali ed internazionali. Il progetto si articola su diversi filoni di ricerca, fra loro distinti e sinergici. Si svolgono studi di carattere strategico, in cui si esamina il tema della transizione energetica e della decarbonizzazione nei settori manifatturiero e agroalimentare nazionale, con l'obiettivo di individuare modelli di sviluppo in grado di disaccoppiare crescita economica e impatto sull'ambiente. Le attività si focalizzano sullo sviluppo di metodi, strumenti e soluzioni atti a rafforzare la leadership industriale e la resilienza di catene di valore strategiche. Il progetto, nel contempo, svolge attività di

studio e di ricerca volte a supportare l'efficientamento di selezionati processi produttivi nel percorso della transizione energetica e verso la creazione di un contesto industriale competitivo e tecnologicamente avanzato. Nello specifico, proseguendo quanto avviato nel precedente triennio RdS, si svolgono ricerche sui seguenti temi: sviluppo di sistemi a membrana per la produzione di gas tecnici in processi ad elevata temperatura recuperi termici e loro valorizzazione in reti del calore di nuova generazione, relazione tra efficienza e compatibilità ambientale con tecnologie e soluzioni innovative ed efficienti per il monitoraggio e l'abbattimento di inquinanti presenti nelle emissioni studi modellistici ex ante di sistemi innovativi applicabili alla geotermia nazionale, che consentano di sfruttare la fonte energetica con maggiore efficienza.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Cristina Cavicchioli

## ➤ Energia da fonti rinnovabili e integrazione nel territorio

L'obiettivo del progetto è quello di sviluppare metodologie e analisi che, partendo dalla caratterizzazione delle tecnologie e con un approccio integrato, forniscano un supporto alla pianificazione energetica, tenendo conto degli aspetti tecnici, economici, ambientali e regolatori e delle possibili ibridazioni e integrazioni.

Per riuscire a centrare gli obiettivi di decarbonizzazione, una delle principali misure consiste nello sviluppo delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER). Tale sviluppo, però, ha un impatto non trascurabile su ambiente, territorio e società e rischia di entrare in conflitto con altri obiettivi, altrettanto importanti. Il progetto intende mettere a disposizione metodologie, strumenti e analisi per supportare la pianificazione energetica e favorire lo sviluppo delle FER attraverso l'adozione di un approccio integrato, che consideri le potenzialità delle diverse tecnologie

e della loro ibridazione, come la combinazione di impianti eolici offshore con altri impianti FER (onde, solare) e sistemi di accumulo o di produzione di idrogeno. Si intende, inoltre, fornire valutazioni della disponibilità sul territorio nazionale delle diverse fonti, tenendo conto dei vincoli tecnici e territoriali, attraverso l'aggiornamento degli strumenti sviluppati in precedenti progetti RdS: il Geoportale, che rappresenta il punto di accesso ad un insieme di risorse informative sul sistema energetico e sulla sua interazione con il territorio, e l'Atlante integrato, che fornisce un quadro complessivo del settore energetico nazionale, e gli atlanti tematici delle fonti eolica e solare. Tali strumenti, insieme agli studi e alle analisi, permettono al progetto di fornire alle amministrazioni pubbliche un supporto scientifico alla pianificazione energetica nazionale e regionale, tenendo conto di diversi obiettivi di sostenibilità.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Stefano Maran

# ↘ Evoluzione, pianificazione, programmazione ed esercizio delle reti elettriche

**O**biiettivo delle attività del progetto è il perseguimento di una gestione efficiente del sistema elettrico italiano che soddisfi, in scenari evolutivi, criteri di sicurezza e qualità d'esercizio, adeguatezza e resilienza garantendo un approccio di sistema.

Sviluppo di studi, metodi, strumenti e prototipi per:

- ↘ supportare l'integrazione nelle reti di tecnologie, sensori, strumentazione di misura, dispositivi, cavi superconduttivi, logiche di controllo e protezione validati con simulazioni e/o sperimentazioni, considerando anche reti ibride corrente alternata/corrente continua (AC/DC);
- ↘ monitoraggio avanzato della rete elettrica per la caratterizzazione della Power Quality considerando sia reti tradizionali MVAC sia reti di distribuzione con porzioni in corrente continua (DC) e ibride AC/DC;
- ↘ svolgere analisi di sicurezza e adeguatezza a supporto della pianificazione delle reti di trasmissione, gestire in modo risk based la programmazione dell'esercizio a supporto della resilienza, pianificare le reti di distribuzione tenendo conto delle risorse di flessibilità locali, considerando anche collegamenti HVDC;
- ↘ supporto alle istituzioni e all'attività normativa nazionali e internazionali per garantire ricadute applicative dei risultati.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Chiara Gandolfi



## Flessibilità del sistema energetico integrato

**P**romuovere lo sviluppo di un sistema energetico integrato dove tutti gli attori partecipino al mantenimento dell'adeguatezza del sistema tramite la fornitura di servizi di flessibilità che permettano l'aumento della produzione da fonte rinnovabile e la transizione verso un sistema energetico decarbonizzato. Il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione implica una riduzione della generazione elettrica da fonti fossili e un importante aumento della presenza di fonti rinnovabili non programmabili. Un sistema basato sulle sole fonti rinnovabili è, però, fortemente influenzato dalla variabilità climatica e l'incertezza della generazione diventa sempre più rilevante per l'adeguatezza del sistema elettrico. Per compensare l'imprevedibilità della generazione da fonte rinnovabile è fondamentale disporre di una sufficiente quota di flessibilità, realizzando e abilitando nuove risorse e sviluppando gli strumenti necessari al loro utilizzo. In tale contesto, questo

progetto promuove attività di ricerca sul tema della flessibilità del sistema energetico, allo scopo di valutare e migliorare le tecnologie esistenti, sviluppare tecnologie innovative, studiare nuove regole e nuovi modelli di business. Per conseguire questi obiettivi il progetto intende: - sviluppare metodologie per la valutazione delle risorse di flessibilità nella generazione e nella domanda; - valutare nuove opzioni di sistemi di accumulo, tra cui accumuli basati sul pompaggio marino e sistemi di accumulo ibridi; - sviluppare metodi avanzati di previsioni di produzione a breve e brevissimo termine; - promuovere attività di studio e di sperimentazione di laboratorio e in impianti pilota per la valutazione di soluzioni tecniche finalizzate all'aumento della flessibilità delle reti di distribuzione e per lo sviluppo di sistemi multienergetici; - contribuire alla definizione dei piani strategici di ricerca e innovazione, attraverso la partecipazione a iniziative internazionali.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Enrica Micolano

## ➤ L'utente al centro della transizione energetica

**O**biiettivo del progetto è favorire la partecipazione degli utenti finali al percorso di transizione energetica. Il progetto intende analizzare i vincoli e le opportunità relative alla diffusione degli schemi di autoconsumo diffuso, focalizzandosi in particolare sulle potenzialità del settore residenziale e terziario.

RSE intende partecipare attivamente alla promozione, alla diffusione e alla valutazione degli impatti generati dal coinvolgimento degli utenti finali nel processo di transizione energetica, ponendosi come uno degli interlocutori di riferimento per favorire il superamento delle barriere normative e regolatorie in ambito nazionale e regionale riguardanti l'autoconsumo diffuso e le comunità energetiche. Nel presente progetto vengono monitorati lo sviluppo e la diffusione di

questi modelli, quantificando gli impatti da essi determinati. Impatti che ovviamente riguardano il sistema elettrico, ma che, in coerenza con le direttive europee riguardano anche, più generalmente, le comunità locali, i modelli di pianificazione e il territorio. Sono analizzati i meccanismi di supporto attivati da soggetti di governo come le Regioni, ponendo particolare attenzione ai contributi forniti al contrasto alla povertà energetica. Il progetto, infine, intende fornire supporto alla definizione di politiche energetiche in tema di efficientamento e decarbonizzazione del settore civile, con particolare attenzione all'ambito residenziale e terziario, tenendo conto del contesto di mercato e del ruolo dei consumatori, attraverso processi di efficientamento tecnologico e di promozione di comportamenti per l'uso consapevole dell'energia.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Matteo Zulianello



## ➤ Mobilità sostenibile e interazione con il sistema energetico

**O**biiettivo di questo progetto è realizzare studi e soluzioni tecnologiche che favoriscano una transizione più rapida ed efficace del sistema dei trasporti verso una maggiore sostenibilità, a fronte di target nazionali e internazionali particolarmente ambiziosi.

Il progetto “Mobilità sostenibile e interazione con il sistema energetico” affronta alcuni dei principali punti aperti nel processo di transizione del sistema dei trasporti nazionali verso una maggiore sostenibilità. Le attività mirano ad identificare le forme di mobilità passeggeri e merci più sostenibili, tramite una modellazione integrata ed accurata delle diverse opzioni tecnologiche e la valutazione degli effetti trasportistici, energetici ed ambientali della loro introduzione. Le analisi ambientali sono condotte sia con metodologia “Life Cycle Assessment” che tramite modelli di qualità dell’aria. La possibilità di riprodurre tramite strumenti modellistici la

situazione attuale del sistema dei trasporti nazionale ed un set di scenari futuri conseguenti all’adozione di diverse policy rappresenta uno strumento estremamente di valore per i decisori, che potranno così guidare la transizione del settore verso le soluzioni maggiormente efficaci. Il progetto affronta inoltre alcuni aspetti tecnologici in merito all’elettrificazione della mobilità e alla sua interazione con la rete. In particolare, vengono proposte soluzioni e strategie che rappresentino una evoluzione rispetto allo stato dell’arte, con una attenzione specifica verso soluzioni di controllo dinamico della ricarica e l’utilizzo dei veicoli elettrici come risorsa di flessibilità per il sistema elettrico. Viene inoltre affrontato il tema innovativo dell’integrazione del fotovoltaico sulle coperture dei veicoli. Le attività includono infine analisi e studi per valutare la potenziale conversione all’elettrico di forme di trasporto diverse dalle auto, tra le quali il trasporto pesante e il trasporto nautico.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Filippo Colzi

## ➤ Resilienza e Sicurezza del Sistema Energetico

L'obiettivo del progetto è quello di incrementare la sicurezza e la resilienza del sistema energetico a fronte di una maggiore severità delle minacce ambientali dovute al cambiamento climatico, attraverso la messa a punto di strumenti di supporto alle istituzioni e agli operatori e la definizione di un set ottimo di interventi da adottare a tal fine. Il progetto si pone come obiettivo finale lo studio e la ricerca di soluzioni innovative di componenti, materiali e metodi di gestione, mirati al rafforzamento dell'attuale rete energetica, attraverso un incremento della sicurezza e della resilienza del sistema per fare fronte al verificarsi di eventi meteorologici eccezionali e contingenze multiple. Tale obiettivo viene perseguito attraverso attività di ricerca che spaziano dalla individuazione e quantificazione della minaccia, allo studio e

modellazione della vulnerabilità dei componenti, a soluzioni di prevenzione e mitigazione degli effetti delle minacce sul sistema e all'applicazione tecnologie di monitoraggio e diagnostica innovative per la rilevazione dello stato del sistema. Tutti i temi sono affrontati allo scopo di pervenire ad una applicazione del dispositivo e/o componente sviluppato, o della tecnica di misura a livello industriale e/o di sistemi modellistici atti a simulare le minacce, le vulnerabilità e l'efficacia delle misure di mitigazione attiva e passiva del sistema elettro-energetico. Le attività sono svolte in stretta collaborazione con TSO e DSOs, nonché con PMI (costruttrici di componenti e apparati) che partecipano al lavoro, con una particolare attenzione ai risvolti e alla applicabilità delle soluzioni a livello industriale.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Giovanni Pirovano

## ➤ Scenari energetici e supporto alla governance

**F**ornire al governo del sistema energetico, un supporto tecnico basato su modelli e analisi quantitative per rispondere, in modo adeguato e ottimale per il Paese, agli obblighi di pianificazione energia-clima e di definizione di strategie energetiche per la decarbonizzazione. Fornire valutazioni utili per gli investimenti necessari al piano di Transizione Ecologica Nazionale. Il progetto intende sviluppare gli scenari di evoluzione del sistema energetico nazionale in ottica principalmente di decarbonizzazione e perseguendo gli altri obiettivi della governance del sistema energetico, quali, l'attenzione all'ambiente, il miglioramento dell'indipendenza e della sicurezza energetica e lo sviluppo economico del paese. Il progetto prevede di operare anche a diretto contatto con le amministrazioni che si occupano della governance del sistema energetico nazionale mettendo a disposizione studi di scenario, strumenti di modellistica e competenze tecniche per pianificazioni energetiche attese nel triennio, quali ad esempio:

l'applicazione del pacchetto REPowerEU, l'aggiornamento del PNIEC, l'aggiornamento della Long Term Strategy, il decreto Aree idonee, l'eventuale completamento della Strategia Idrogeno e, anche, la partecipazione attiva ai GdL di supporto tecnico al CITE per la Transizione Ecologica. L'attività scenaristica del progetto include approfondimenti sul sistema elettrico nazionale degli scenari energetici, la valutazione degli impatti sull'ambiente degli stessi piani (scenari ambientali e valutazioni LCA), valutazioni sull'economia circolare (inclusi aspetti normativi o di regolamentazione) e le interazioni con l'economia (impatti economici e macroeconomici). L'attività scenaristica è effettuata tramite l'utilizzo di modelli quantitativi e basi dati, è quindi un obiettivo del progetto anche il loro continuo aggiornamento e adeguamento alle necessità delle analisi. In particolare, l'obiettivo di rafforzare la capacità di svolgere scenari anche con l'analisi integrata degli impatti ambientali e degli impatti economici o macro-economici.



Piano Triennale: 2022-2024

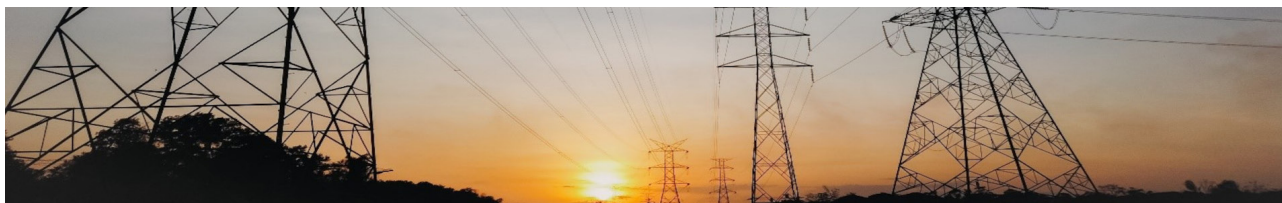
Referente: Dario Siface

## ↳ Supporto alla regolazione: evoluzione dei mercati; innovazione nel disegno e nella gestione delle reti

**I**l Progetto, si pone l'obiettivo di studiare la regolazione dei sistemi energetici presenti e le differenti proposte per una sua evoluzione, per valutarne l'impatto in termini di efficacia rispetto agli obiettivi che si vorrebbero conseguire, in particolare in ottica di decarbonizzazione del sistema energetico stesso.

Il contesto presente vede per il sistema energetico un netto cambio di paradigma tecnologico: dalla predominanza delle tecnologie di generazione dell'energia elettrica da combustibili fossili a quella delle tecnologie da fonti rinnovabili e al coinvolgimento di tutte quelle risorse di taglia ridotta e diffuse ai livelli di tensione più bassi della rete. Questa evoluzione deve essere accompagnata da un altrettanto consistente cambio di paradigma nelle regole che governano il funzionamento del sistema energetico, così da creare il quadro più favorevole possibile al cambiamento auspicato. In questo ambito, il Progetto, proseguendo il percorso già avviato nel precedente triennio di Ricerca di Sistema e considerando anche i risultati della ricerca e delle sperimentazioni internazionali (e.g. progetti finanziati in ambito Horizon), si pone l'obiettivo di studiare

la regolazione dei sistemi energetici presenti e le differenti proposte per una sua evoluzione, per valutarne l'impatto in termini di efficacia rispetto agli obiettivi che tramite esse si vorrebbero conseguire. A tale scopo, il progetto è strutturato come segue. Il WP 1 è dedicato agli studi e alle analisi regolatorie e quantitative atte a: studiare la configurazione presente dei mercati energetici, valutare gli impatti delle proposte di modifica all'attuale configurazione dei mercati, presentare ipotesi di configurazioni innovative e il loro impatto sul sistema energetico, studiare l'interazione tra sistemi energetici (sector coupling) e gli impatti sui mercati. Parte delle attività svolte in questo WP sono a supporto e in affiancamento del Regolatore italiano (ARERA) ed europeo (ACER) e del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). Il WP 2 è incentrato sullo studio: dell'evoluzione della figura e del ruolo del Distributore, delle modalità di partecipazione al sistema energetico delle risorse connesse alla Distribuzione; della possibilità di fornitura di servizi ancillari al sistema elettrico da parte delle risorse di generazione distribuita che sfruttano diversi vettori energetici (GDMES).



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Dario Siface



## Materiali di frontiera per usi energetici

**I**l Progetto “Materiali di Frontiera per usi energetici” ha previsto da una parte lo sviluppo di materiali innovativi, con l’implementazione dei processi di produzione, di tipo termo e piroelettrici e per l’additive manufacturing, e dall’altra la realizzazione di microgeneratori e di dimostratori di interesse per il sistema elettrico, basati sull’utilizzo di questi materiali. Una parte delle attività ha visto lo studio e lo sviluppo di nuovi catalizzatori. L’attività del WP1 si è concentrata sulla progettazione e sullo sviluppo di materiali innovativi ed alternativi ai tellururi (di tipo inorganico e trasparente, silicio e organici ibridi a base di PEDOT:PSS) e di dispositivi TEG, anche operanti in regime dinamico, per l’ottimizzazione della conversione del calore a bassa temperatura in energia elettrica, anche mediante l’accoppiamento dei dispositivi TEG ai materiali a cambiamento di fase (PCM) finalizzato all’incremento del rendimento del sistema di alimentazione del nodo sensore.

Il WP2 ha visto lo sviluppo di materiali e dispositivi piroelettrici e dei relativi metodi di fabbricazione. Sono stati realizzati dispositivi piroelettrici prototipali in grado di recuperare energia dall’ambiente esterno e di accumularla per la produzione di energia pulita per diverse applicazioni. Nei dispositivi piroelettrici sono stati integrati componenti cilindrici a spessore sottile in materiale ceramico a base di Ossido di Zinco (ZnO), realizzati sia mediante pressatura convenzionale che tecnologie additive (AM), in particolare il Digital Light Processing (DLP). Sono stati sviluppati e realizzati dispositivi piroelettrici a film sottile stampati a

base di PVDF. E’ stato progettato e realizzato un dimostratore PENG, utilizzando i materiali piroelettrici prodotti, che consente di estendere l’autonomia di un sistema sensore low power wireless autoalimentato.

All’interno del WP3 e del WP4 sono stati sviluppati materiali metallici, polimerici e ceramici per applicazione nei processi di Additive Manufacturing.

Nel W3, sono stati implementati alcuni componenti per applicazioni nel campo dello scambio termico e della produzione sostenibile di energia. Sono stati infatti progettati e realizzati mediante AM, in un singolo pezzo, scambiatori di calore, per macchine ad assorbimento e in caldaie domestiche. Lo studio ha previsto la riduzione del peso, con conseguente minor consumo di materiale e la progettazione e produzione di una nuova lega ferritica per i processi additivi a letto di polvere (LPBF). Sono state inoltre realizzate, mediante processi additivi EBM, turbine in lega metallica per impianti per la produzione sostenibile di energia di tipo ORC (Organic Rankine Cycle). La tecnologia del plasma termico è stata utilizzata per la produzione di materiali innovativi per processi AM. E’ stata inoltre progettata e realizzata mediante AM una turbina Pelton per la generazione di energia pulita e sostenibile sfruttando piccoli corsi d’acqua e sono stati sviluppati nuove geometrie per realizzazione mediante AM di tubi di calore. Nel WP4 sono state sviluppate la feedstock ceramiche innovative, ottimizzate per processi AM di tipo DLP. E’ stato realizzato un dimostratore di turbina ceramica per impianti MTG, che possono implementare l’efficienza grazie alla maggiori temperature raggiungibili dai materiali ceramici.

La catalisi gioca un importante ruolo sia nella produzione della clean energy (es. celle a combustibile) che in vari processi industriali (es. industria chimica). Nel WP5 sono stati sviluppati elettrocatalizzatori economici e robusti, privi di materie prime critiche alternativi al Pt, per reazioni OER e ORR. Nell’ottica

Piano Triennale: 2022-2024

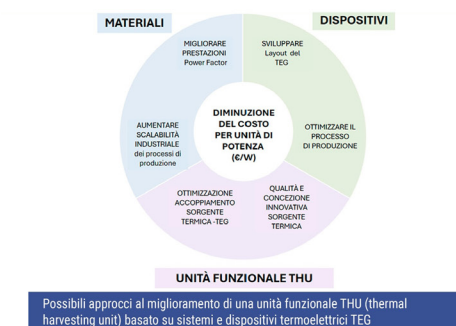
Referente: Daniele Mirabile Gattia  
daniele.mirabile@enea.it



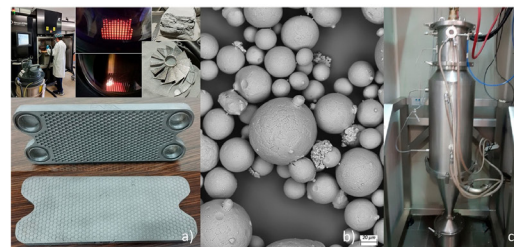
dell'intensificazione dei processi produttivi, che nel caso di quelli chimici industriali, sono costituiti al 90% da reazioni catalizzate, e al fine di ridurne i costi energetici e la sostenibilità sono stati

sviluppati dei catalizzatori Pt-free, con materiali magnetici, che possono essere scaldati mediante induzione elettromagnetica utilizzabile ad esempio in processi di bi-reforming.

Graphical abstract  
dei WP

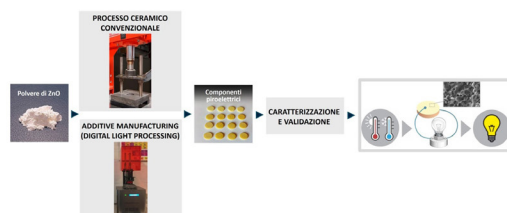


WP1

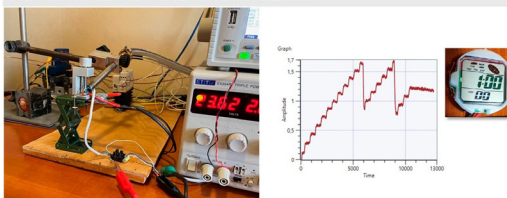


WP3

WP2



SVILUPPO DI COMPONENTI CERAMICI PER DISPOSITIVI PIRELETTICI

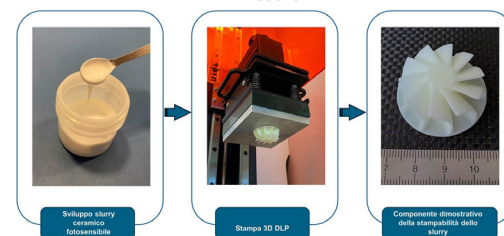


SETUP PER CICLI TERMICI IN CONVEZIONE FORZATA ED UTILIZZO ENERGIA PIRELETTICA



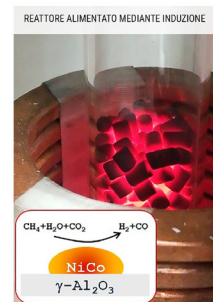
FILM PIRELETTICI STAMPATI CON TECNICA ROTOCALCO

WP4



SVILUPPO DI MISCELE CERAMICHE PER LA STAMPA 3D DI MATERIALI CERAMICI AVANZATI

WP5



Link al progetto:

<https://www.ricercasistematica.enea.it/accordo-di-programma-mase-enea-2022-2024/decarbonizzazione/materiali-di-frontiera-per-usi-energetici.html>

## Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica

**P**ur registrando negli ultimi anni una complessiva riduzione dei consumi legata agli interventi di efficientamento energetico e ai relativi meccanismi incentivanti, il settore civile continua a rappresentare un elemento strategico nel percorso di decarbonizzazione del Paese, in linea con il Clean Energy Package europeo, il PNIEC, il PNRR e con gli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni. Nel solo settore residenziale si concentra infatti oltre un terzo degli obiettivi di riduzione dei consumi finali al 2030, da raggiungere grazie agli interventi di riqualificazione edilizia e all'uso estensivo del vettore elettrico. In questa prospettiva si rende necessario favorire l'integrazione tra sistemi e tecnologie secondo un approccio multi scalare e intersettoriale, che supporti l'evoluzione del sistema energetico verso un assetto distribuito e più flessibile e la diversificazione delle fonti, promuova l'efficienza come strumento per la riduzione dei consumi e della spesa energetica, per la tutela dell'ambiente, la sicurezza e il benessere abitativo. Con l'obiettivo di rendere cittadini, imprese e istituzioni protagonisti e beneficiari della trasformazione energetica, acquista sempre più importanza l'applicazione di soluzioni innovative per l'involucro edilizio e gli impianti, l'integrazione di energie rinnovabili, l'utilizzo di strumenti, metodologie di calcolo e indicatori più accurati per l'analisi del fabbisogno e delle prestazioni energetiche e la diffusione di sistemi orientati ad un maggiore autoconsumo. Si fa in particolare riferimento agli edifici ad elevate prestazioni e all'interazione degli stessi con il contesto urbano, alla valutazione delle relazioni tra il sistema edificio-impianto e il benessere dei suoi occupanti,

allo studio di soluzioni e configurazioni impiantistiche che massimizzino la generazione da fonte rinnovabile e ottimizzino la gestione dei flussi energetici scambiati con le utenze. Ciò consentirà una riduzione dei consumi e un'ottimizzazione del sistema energetico, con particolare riferimento al vettore elettrico e ai conseguenti benefici per il sistema elettrico nazionale.

Diverse delle linee di attività proposte dal progetto hanno riguardato l'analisi di casi studio reali finalizzati ad incrementare la conoscenza delle soluzioni studiate in termini di fattibilità tecnico-economica, replicabilità degli interventi e potenziale di risparmio energetico. In particolare, tali valutazioni sono state effettuate per le attività inerenti allo studio di interventi e soluzioni tecnologiche per l'incremento dell'efficienza energetica e della qualità dell'aria indoor degli edifici, per le tecnologie verdi di involucro (con particolare focus sul potenziale di riduzione dei consumi energetici e di mitigazione dell'isola di calore urbana), per le comunità energetiche e configurazioni di autoconsumo collettivo (con particolare riguardo al sector-coupling, cioè l'utilizzo di energia rinnovabile elettrica in eccesso per usi termici), le reti di teleriscaldamento attivo (con lo sviluppo di un prototipo di sottostazione bidirezionale) e le reti di teleriscaldamento/teleraffrescamento a bassa temperatura.

Altre attività hanno riguardato lo sviluppo di materiali, componenti e sistemi innovativi (materiali innovativi per gli involucri edilizi quali rivestimenti termocromici e sistemi dinamici, piattaforma di monitoraggio ambientale che integra supercapacitori, sensori ecosostenibili e un sistema di recupero energetico, OLED per applicazioni in finestre "intelligenti", pareti multistrato "responsive" che si adattano alle condizioni climatiche) che attraverso varie campagne sperimentali hanno consentito di valutare il potenziale commerciale delle soluzioni studiate, in termini di prestazioni energetiche, economicità ed efficienza.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Giovanni Puglisi  
giovanni.puglisi@enea.it



**Link al progetto:**

<https://www.ricercasistemmaelettrico.enea.it/accordo-di-programma-mase-enea-2022-2024/decarbonizzazione/edifici-ad-alta-efficienza-per-la-transizione-energetica.html>

## Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

**N**egli anni recenti l'intensità energetica dell'industria nazionale è andata progressivamente diminuendo, sia per la delocalizzazione delle produzioni più energy intensive, sia per il costante incremento dell'efficienza energetica. I dati ricavati dall'analisi delle diagnosi energetiche eseguite ai sensi dell'articolo 8 del D.lgs. 102/2014 e le informazioni derivanti dai progetti di efficienza energetica eleggibili ai sensi del meccanismo dei certificati bianchi offrono una panoramica dei possibili interventi di efficientamento del processo produttivo, evidenziando la mole di investimenti attivabili nel settore delle costruzioni e della produzione di componenti e impianti ad alta efficienza, prevalentemente fornita da industrie nazionali. L'attivazione di tali investimenti richiede però ancora, in moltissimi casi, la realizzazione di attività di ricerca e sviluppo preliminari come la predisposizione di adeguate politiche per l'assicurazione dell'efficienza energetica dei prodotti, lo sviluppo di efficaci metodologie di analisi, controllo e gestione per l'efficienza energetica e il perfezionamento di tecnologie più efficienti. Il progetto si inserisce quindi in tale contesto, andando ad arricchire un filone di ricerca nazionale e internazionale molto prolifico negli ultimi anni, come testimoniato dalla grande attenzione rivolta a questi argomenti dalle più recenti call for proposal a livello europeo (Horizon Europe). In particolare, si evidenzia l'interesse sempre più spinto verso l'efficientamento dei processi termici industriali, inteso principalmente come applicazione di tecnologie per l'elettificazione dei processi, recupero e riuso del calore di scarto, lo sviluppo di metodi

e strumenti per l'efficientamento energetico con focus su cluster e filiere d'impresa e sulle PMI, lo sviluppo di tecnologie efficienti per la decarbonizzazione dei settori hard to abate e l'efficientamento della filiera del riutilizzo idrico. Il progetto, in linea con quanto indicato in documenti di indirizzo quali Clean Energy Package, PNIEC, PNRR e negli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni, ha quindi l'obiettivo generale di sviluppare metodi, strumenti e soluzioni per incrementare l'efficacia delle azioni di efficientamento energetico in ambito industriale favorendo un approccio analitico e integrato che vada dal singolo prodotto/macchinario al processo produttivo, distretto industriale, filiera produttiva fino al comparto/settore, con focus specifici sull'efficientamento dei processi termici, delle PMI, delle industrie hard to abate e sulle filiere dell'Off-Site Construction per la riqualificazione del parco immobiliare e del riutilizzo idrico. I risultati del progetto andranno a costituire una "cassetta per gli attrezzi" per le aziende nazionali per aiutarle a rafforzare la leadership industriale, l'autonomia e la resilienza in catene di valore strategiche e in aree di potenziali alleanze industriali, avvicinandole sempre più al paradigma di ecosistemi dinamici di innovazione.

Rispetto allo stato dell'arte e alle attività svolte da ENEA e dai cobeneficiari nell'ambito del PTR 19-21, gli obiettivi scientifici e tecnologici del progetto consentono: (i) di incrementare l'impatto di misure di efficientamento energetico note alla comunità scientifica ma in molti casi poco esplorate da un punto di vista ingegneristico, e che presentano notevoli barriere alla diffusione industriale di tipo conoscitivo, gestionale ed economico; (ii) di sviluppare strumenti che facilitino il trasferimento di conoscenze e competenze relative all'efficienza energetica nei processi industriali e l'adozione di misure di efficientamento energetico note alla comunità scientifica a specifici settori/distretti/catene del valore; (iii) di incrementare il grado di sviluppo/ingegnerizzazione di tecnologie per l'efficienza energetica in ambito industriale.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Miriam Benedetti  
miriam.benedetti@enea.it



**Link al progetto:**

<https://www.ricercasistemmaelettrico.enea.it/accordo-di-programma-mase-enea-2022-2024/decarbonizzazione/efficienza-energetica-dei-prodotti-e-dei-processi-industriali.html>

## ➤ Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Il Progetto 1.7 ha avuto la finalità di favorire la transizione energetica e digitale delle infrastrutture urbane e negli usi finali, verso la decarbonizzazione e la conseguente elettrificazione negli usi finali. Gli ambiti di ricerca hanno riguardato: le Comunità Energetiche sostenibili, le Infrastrutture urbane energivore, le Tecnologie per la mobilità elettrica, le Pompe di Calore e la climatizzazione sostenibile.

Il WP1 Comunità Energetiche sostenibili ha avuto come obiettivo primario il supporto tecnologico alla nascita e allo sviluppo di comunità energetiche per la gestione condivisa dei consumi e della produzione di energia, promuovendo un modello sostenibile e partecipato. Attraverso l'integrazione di tecnologie come IoT, machine learning, Big Data e intelligenza artificiale sono stati sviluppati strumenti digitali a supporto delle CER nelle fasi di avvio, ingaggio utenti, gestione e valutazione delle CER stesse e strumenti di condivisione di beni e servizi non solo energetici. Un portale web, [smartenergycommunity.it](http://smartenergycommunity.it), è stato appositamente realizzato per gli utenti delle CER, sia professionisti che generici, e rappresenta il punto di accesso ai diversi strumenti digitali sviluppati promuovendo al contempo la conoscenza dei benefici energetici, economici e sociali.

Il WP2 Infrastrutture urbane energivore si è posto l'obiettivo di favorire la transizione digitale ed energetica della PA attraverso lo sviluppo di tecnologie per il settore urbano con particolare riferimento alle infrastrutture energetiche pubbliche e alla interoperabilità delle infrastrutture digitali per il monitoraggio di asset pubblici energivori, quali la illuminazione pubblica e

gli edifici, e la condivisione efficiente di dati urbani finalizzata alla creazione di nuova informazione e nuovi servizi: le piattaforme interoperabili sviluppate mirano infatti a superare la frammentazione dei dati e della intera filiera che va dai produttori di tecnologie, ai gestori dei servizi, alle municipalità ma anche ad aumentare la resilienza urbana attraverso il monitoraggio e la predizione del rischio delle infrastrutture critiche.

L'obiettivo del WP3 Tecnologie per la mobilità elettrica è favorire la diffusione di una mobilità elettrica sostenibile: in tal senso ENEA ha sviluppato soluzioni in grado di superare le criticità in termini di autonomia dei veicoli, facilità e rapidità di ricarica, sicurezza, durabilità e possibilità di riuso dei sistemi di accumulo, impatto sulla rete di distribuzione dell'energia elettrica. Inoltre si è occupata anche della modellizzazione della mobilità urbana e della sua pianificazione per la riduzione dell'impatto energetico e ambientale del trasporto nonché



Gli ambiti di ricerca del Progetto 1.7 nei contesti urbani per l'elettrificazione degli usi finali

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Claudia Meloni  
[claudia.meloni@enea.it](mailto:claudia.meloni@enea.it)

della previsione della ricarica della mobilità elettrica nelle aree urbane per l'ottimizzazione delle reti elettriche.

Nel WP4 "Pompe di Calore e climatizzazione sostenibile" sono state svolte attività di sostegno alla prevista, profonda diffusione delle PdC nella climatizzazione residenziale e sviluppate tecniche per risolvere alcune problematiche che ne limitano la diffusione sul mercato. In particolare, sono stati studiati sistemi di climatizzazione avanzati con

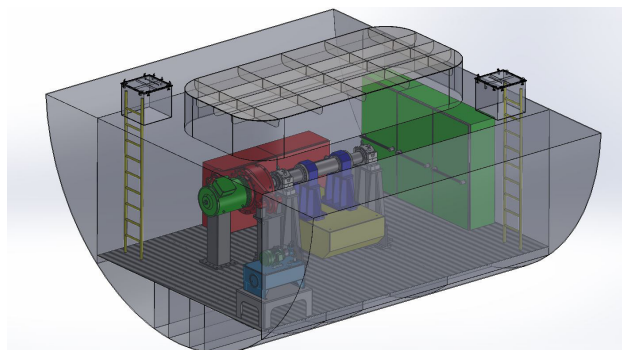
l'obiettivo di ampliare la platea dei possibili utilizzatori, proponendo soluzioni più flessibili per il vettore elettrico e in grado di adattarsi alle diverse esigenze di climatizzazione, come soluzioni combinate PdC/geotermico e PdC/solare e lo studio di accumuli termici innovativi. Inoltre, in previsione di un'ampia diffusione sul territorio, sono stati condotti studi sulla prevenzione dei guasti e sulla minimizzazione delle emissioni sonore.

## ➤ Energia elettrica dal mare

Il progetto “Energia elettrica dal mare”, realizzato da ENEA in collaborazione con il Politecnico di Torino (POLITO), ha l'obiettivo di sviluppare il dispositivo innovativo PeWEC (Pendulum Wave Energy Converter), destinato alla conversione dell'energia delle onde marine in energia elettrica. Attualmente, il dispositivo PeWEC ha raggiunto un livello di maturità tecnologica (TRL) pari a 4, ottenuto attraverso test sperimentali su prototipi in scala ridotta presso strutture specializzate come INSEAN di Roma e l'Università Federico II di Napoli. Il progetto ha previsto diverse attività di ricerca, tra cui lo sviluppo e la manutenzione di sistemi avanzati per la previsione della circolazione marina e del moto ondoso nel Mediterraneo. È stato implementato un modello numerico operativo ad alta risoluzione (MITgcm e WAVEWATCHIII) che fornisce previsioni giornaliere fino a cinque giorni successivi, validate sistematicamente con dati satellitari e osservazioni in situ. Queste attività hanno permesso di produrre dataset previsionali accurati e di facile fruibilità tramite un apposito portale web, rappresentando uno strumento essenziale per la progettazione e l'ottimizzazione del PeWEC. Parallelamente, è stata realizzata una configurazione modellistica specifica ad altissima risoluzione (~100 m) per il sito di installazione previsto, nell'area marina attorno all'isola di Pantelleria. Tale attività ha consentito la caratterizzazione dettagliata delle condizioni locali di corrente e moto ondoso, essenziali per la calibrazione e ottimizzazione del dispositivo. Importanti risultati sono stati ottenuti nell'ambito dell'approvvigionamento permessi, completando con successo

l'iter autorizzativo per l'estensione spaziale e temporale della concessione marittima presso Pantelleria, con tutti i pareri favorevoli delle autorità locali. L'area prescelta rispetta pienamente i vincoli ambientali e ha un impatto limitato sugli habitat protetti, favorendo così una futura installazione sostenibile del dispositivo.

La progettazione preliminare del dispositivo PeWEC ha previsto la definizione e l'ottimizzazione dei sottosistemi principali quali lo scafo, l'unità di conversione del pendolo, il dimensionamento del generatore elettrico, l'elettronica di potenza e il sistema di ormeggio. Ogni componente è stato progettato dettagliatamente e ottimizzato per massimizzare l'efficienza complessiva del dispositivo. L'analisi tecnica ha incluso simulazioni dettagliate basate su modelli numerici complessi per determinare l'efficienza energetica del sistema, la risposta dinamica del pendolo e le prestazioni complessive in termini di potenza e produttività energetica nelle specifiche condizioni ambientali del sito prescelto.



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Gianmaria Sannino  
gianmaria.sannino@enea.it

**I**l Progetto prevede un solo WP, organizzato in 3 tematiche scientifico-applicative.

## **Tematica “Materiali e componenti avanzati per impianti CSP”:**

- Sono stati sviluppati e realizzati (con processi di sputtering d'interesse industriale) 2 prototipi di coating, a elevate prestazioni fototermiche e stabili per vita utile  $\geq 25$  anni, per tubi ricevitori d'impianti micro-PTC a media T e CSP (PTC o LFC) ad alta T.
- E' stata effettuata un'analisi del potenziale applicativo della tecnologia micro-CSP, basata sul prototipo di sistema micro-PTC proposto dall'Università di Firenze, per la generazione distribuita di calore ed elettricità in contesti civili e industriali fortemente antropizzati del territorio italiano; il prototipo di micro-PTC è stato sperimentato presso la stazione testing dell'impianto Fresnel “ENEA-SHIP” del C.R. ENEA di Casaccia, individuandone criticità e soluzioni migliorative oggetto di uno studio progettuale di up-grade.
- Sono stati realizzati (con processi di sputtering e spray HVLV ottimizzati) e testati in campo (su “ENEA-SHIP”) 2 prototipi di specchi solari dotati di rivestimenti autopulenti, idrofobici e trasparenti; sono stati, inoltre, sviluppati prototipi di sensori di sporco/failure, di scala laboratoriale, integrabili nei suddetti rivestimenti.
- Mediante attività di simulazione numerica e sperimentazione in campo, su facility di test del C.R.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Antonio Guglielmo  
antonio.guglielmo@enea.it

ENEA di Trisaia appositamente implementate, di sistemi di accumulo termo-chimico a zeoliti operanti fino a T di 250 °C, sono stati valutati le prestazioni di carica/scarica del calore e il potenziale di tali sistemi per applicazioni termiche distribuite di piccola taglia.

## **Tematica “Ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili”:**

- E' stato progettato e realizzato un prototipo di sistema di accumulo termocline a sali fusi ibridizzato, alimentabile da un campo CSP e da una caldaia elettrica collegata a un impianto PV, dotato di 3 scambiatori elicoidali (2 di carica e 1 di scarica); la sperimentazione, condotta sul dimostratore tecnologico costituito da “ENEA-SHIP” con asservito il prototipo, ha consentito di valutare le prestazioni termiche del prototipo e definire procedure operative di gestione dell'impianto CSP ibridizzato.
- E' stata condotta un'analisi su sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi con resistenze elettriche, a induzione e a microonde, alimentabili da PV o altre FER “elettriche”; è stato progettato, realizzato e testato un dispositivo “proof of concept” della tecnologia di riscaldamento a microonde, che era risultata la più promettente per prestazioni e fattibilità.
- Sono stati sviluppati modelli numerici e una metodologia innovativa per la simulazione e l'ottimizzazione di design e operation d'impianti ibridi CSP/PV/Eolici, considerando anche la scala medio-piccola; è stata effettuata un'analisi tecnico-economica d'impianti ibridi ottimizzati operanti su MGP e MSD, valutandone le potenzialità sul mercato attuale e in scenari futuri (2030 e 2040) con elevata penetrazione di FER.

### **Link al progetto:**

<https://www.ricercasistemadelettrico.enea.it/accordo-di-programma-mase-enea-2022-2024/decarbonizzazione/solare-termodinamico.html>

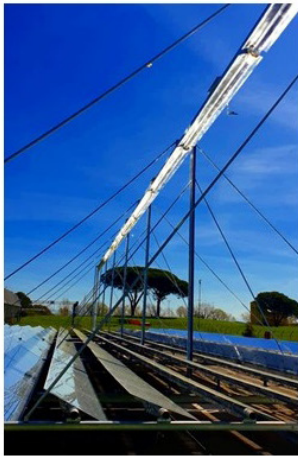
**Tematica “Soluzioni tecniche e procedure operative per il settore industriale del CSP”:**

- Mediante analisi teoriche e simulazioni numeriche, sono state valutate le potenzialità d’impiego delle tecnologie a ultrasuoni per sistemi di rilevazione di occlusioni solide nel piping d’impianti CSP a sali fusi ed è stata resa disponibile la configurazione preliminare di un prototipo di dispositivo di diagnosi.
- Sono stati selezionati 2 miscele di sali bassofondenti (una

quaternaria e una ternaria) per applicazioni a media e alta T, un acciaio al C e 2 austenitici potenzialmente compatibili con le 2 miscele. La sperimentazione condotta sul circuito “MoSE” del C.R. ENEA di Casaccia ha consentito di definire procedure operative per impianti CSP a sali fusi di scala commerciale e di effettuare test di corrosione dinamica tra le miscele di sali e gli acciai selezionati.

Particolare cura è stata riservata all’attività di “comunicazione e disseminazione”.

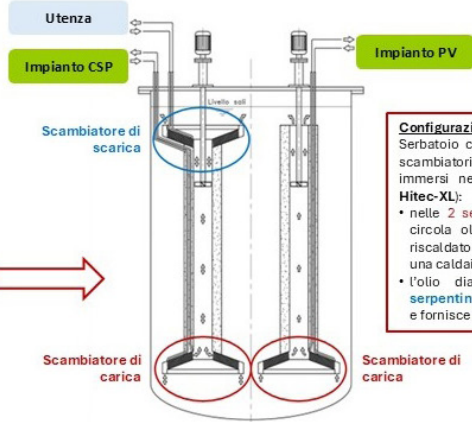
**Impianto sperimentale Fresnel  
“ENEA-SHIP”**



Fluido termovettore	Therminol-66
Lunghezza collettore	≈ 40 m
Superficie riflettente	≈ 330 m <sup>2</sup>
Potenza di picco	≈ 190 kW
T massima operativa	≈ 340 °C



**Prototipo di sistema di accumulo termolino a sali fusi ibridizzato, alimentabile  
sia da solare a concentrazione (CSP) che da fotovoltaico (PV)**



**Configurazione del prototipo →**  
Serbatoio cilindrico verticale dotato di 3 scambiatori elicoidali (serpentine) immersi nei sali fusi (miscela ternaria Hitec-XL):

- nelle 2 serpentine di carica (in rosso) circola olio diatermico (Therminol-66) riscaldato dal campo solare CSP e da una caldaia elettrica alimentabile da PV;
- l'olio diatermico che circola nella serpentina di scarica (in blu) si riscalda e fornisce calore di processo all'utenza.

**Caratteristiche fluidi termovettore e di accumulo:**  
Olio diatermico Therminol-66 →  $T_{max} = 340\text{ °C}$   
Miscela ternaria di sali Hitec-XL → Composizione: 42%  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 43%  $\text{NaNO}_3$ , 15%  $\text{KNO}_3$   
 $T_{fusione} = 130\text{-}140\text{ °C}$  ;  $T_{max} = 450\text{ °C}$  in aria e 530 °C in gas inerte  
**Condizioni di esercizio sistema di accumulo:**  $p_{atm}$  ; T tra 190 °C e 320 °C

Dimostratore tecnologico di un impianto CSP ibridizzato con PV per la produzione di calore solare per processi industriali (Centro Ricerche ENEA di Casaccia)



# **Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche**

**N**egli ultimi anni, le vulnerabilità del sistema elettrico si sono accentuate, a causa della crescente diffusione di fonti rinnovabili non programmabili e dell'aumento degli eventi climatici estremi. Per affrontare efficacemente queste sfide, è fondamentale adottare modelli di pianificazione avanzati, strategie di esercizio innovative e soluzioni tecnologiche all'avanguardia per la gestione delle reti. Tali strumenti devono garantire l'adeguatezza, la sicurezza operativa e la resilienza del sistema elettrico, in un contesto energetico sempre più complesso e dinamico.

Il progetto si è sviluppato con l'obiettivo di rispondere a queste nuove sfide, proponendo metodologie, modelli e soluzioni tecnologiche avanzate per migliorare la pianificazione, la gestione e la resilienza del sistema elettrico. Tra i principali risultati:

- **Modelli avanzati di pianificazione e gestione della rete**, capaci di affrontare in modo integrato aspetti tradizionalmente trattati separatamente, come l'adeguatezza, l'affidabilità e le anomalie di funzionamento dei componenti della rete. Questi modelli consentono una rappresentazione più realistica del comportamento del sistema elettrico, migliorando la capacità di pianificazione.
- **Strumenti per la riconfigurazione ottimale della rete e la formazione di isole autonome**, che aumentano la sicurezza operativa e la resilienza. In situazioni di emergenza, permettono di isolare le aree critiche e

mantenere operative quelle non coinvolte, anche sfruttando al meglio la flessibilità delle risorse locali come rinnovabili, accumuli e carichi controllabili.

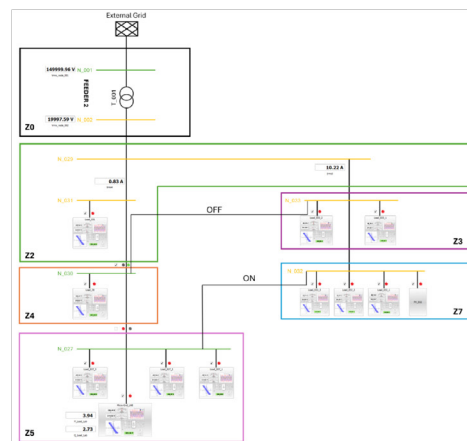
- **Modelli di stima che integrano fattori esterni (climatici, informatici, elettrici)** attraverso matrici di correlazione, utili per stimare l'impatto di tali influenze sul funzionamento e sulla vita utile dei componenti. Questo approccio consente una gestione più robusta e predittiva, sia per reti pubbliche che private.
- **Modelli per la generazione di anomalie e il forecasting**, che migliorano l'accuratezza delle simulazioni e permettono di valutare la risposta del sistema a condizioni anomale, riducendo l'incertezza nella pianificazione e aumentando l'affidabilità delle soluzioni individuate.
- **Strumenti per la simulazione di scenari energetici futuri**, in grado di stimare il fabbisogno di accumulo e la gestione di surplus energetici (es. per la produzione di idrogeno), supportando la pianificazione a lungo termine in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione e sicurezza energetica.
- **Un pre-prototipo di convertitore grid-forming trifase**, progettato per garantire continuità del servizio anche in condizioni critiche. Il dispositivo è in grado di tollerare sovraccarichi temporanei, migliorare la selettività delle protezioni e gestire lo stress termico in modo intelligente, aumentando l'affidabilità e la vita utile dei componenti. Queste caratteristiche lo rendono particolarmente adatto a reti distribuite e ad alta penetrazione di rinnovabili.
- **Un dataset sperimentale** originale sul comportamento reale dei cavi in bassa tensione in funzione di temperatura e umidità. Le curve caratteristiche ottenute, più rappresentative delle condizioni operative reali, migliorano l'accuratezza dei modelli di simulazione, soprattutto in scenari climatici estremi.
- **Un software integrato gratuito** che riunisce in un'unica piattaforma i modelli di pianificazione ed esercizio della

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Maria Valenti  
maria.valenti@enea.it

rete sviluppati nel triennio. Questo strumento supporta la definizione di strategie operative e di lungo termine, rafforzando la resilienza del sistema elettrico rispetto agli impatti del cambiamento climatico.

Tutti i risultati – modelli, software e dataset – sono disponibili in modalità open source attraverso il portale della Ricerca di Sistema Elettrico dell'ENEA, favorendo la condivisione della conoscenza, l'innovazione e l'adozione di soluzioni avanzate da parte di operatori, aziende e centri di ricerca.



ARStool – il tool opensource e gratuito per le valutazioni di adeguatezza, affidabilità e resilienza di sistemi di potenza



**Consiglio  
Nazionale delle  
Ricerche**

## ➤ Materiali di frontiera per usi energetici

Il successo della transizione energetica dipende da un'azione urgente su ampia scala, che vede tra i fattori chiave del cambiamento l'elettrificazione, il miglioramento dell'efficienza, lo sviluppo di energie rinnovabili e di una economia dell'idrogeno.

Lo sviluppo di nuovi materiali, più efficienti, maggiormente sostenibili e/o con nuove funzionalità non solo può portare ad aumentare le performance delle tecnologie attualmente disponibili, ma offre anche la possibilità di nuove applicazioni e tecnologie, che possono rappresentare valide alternative per lo sviluppo e la resilienza della rete energetica nazionale. In questo panorama, quindi, risulta strategica l'identificazione di nuovi materiali e dispositivi, più efficienti e sostenibili. A tale scopo, le attività di questo progetto sono state incentrate su materiali e dispositivi che permettano una migliore penetrazione delle rinnovabili e di nuovi vettori energetici, ed un efficientamento energetico dei processi industriali. In particolare, il progetto ha visto lo sviluppo di:

- membrane per la produzione di Idrogeno da mezzi di stoccaggio alternativi (ammoniaca), sua separazione e successiva conversione in energia o bulk chemicals;
- membrane per la produzione di energia da gradienti salini;
- materiali e dispositivi per il recupero energetico da cascami termici.

In ambito membrane reattive per la conversione e separazione di idrogeno, sono state indagate sia membrane a base

ceramica che metallica. Sono state sviluppate per la prima volta e caratterizzate anche funzionalmente, in collaborazione con l'Università di Bologna, membrane reattive ceramiche a conduzione protonica/elettronica per l'intensificazione degli attuali processi di valorizzazione del metano. È stato sviluppato un protocollo di preparazione di tali membrane reattive che include l'applicazione di uno strato di washcoating nanostrutturato, che ha permesso di incrementare notevolmente la superficie attiva della membrana. Le membrane reattive funzionalizzate con washcoating e Pt come sistema catalitico hanno mostrato una conversione del metano pari al 28%.

In ambito membrane a base metallica, in collaborazione con l'Università di Padova sono stati sviluppati catalizzatori e membrane contenenti i catalizzatori stessi per la conversione di ammoniaca a idrogeno. Sono stati prodotti con successo materiali catalitici di diversa natura, a base di rutenio e nickel, tramite tecniche chimiche, e a base di nitruri di molibdeno via magnetron sputtering. I sistemi preparati sono stati approfonditamente caratterizzati dal punto di vista funzionale. Sono stati inoltre svolti studi per la valutazione degli impatti ambientali del processo, sia in relazione alla produzione delle membrane che rispetto all'impiego di materie prime critiche. In ambito membrane per la conversione energetica di gradienti salini, il CNR, in collaborazione con l'Università della Calabria, ha sintetizzato con successo diversi liquidi ionici polimerizzabili (PIL) a scambio anionico e cationico, che sono stati caratterizzati con tecniche spettroscopiche. I PIL così sintetizzati sono stati impiegati per la preparazione delle corrispondenti membrane a scambio anionico e cationico, attraverso un processo di foto-polimerizzazione neat o pseudo-neat in un unico stadio, rendendo il metodo facilmente scalabile e sostenibile. È stato quindi effettuato lo studio dell'influenza della natura chimica dei PIL sulle proprietà elettrochimiche delle membrane. Tutte le membrane prodotte

Piano Triennale: 2022-2024

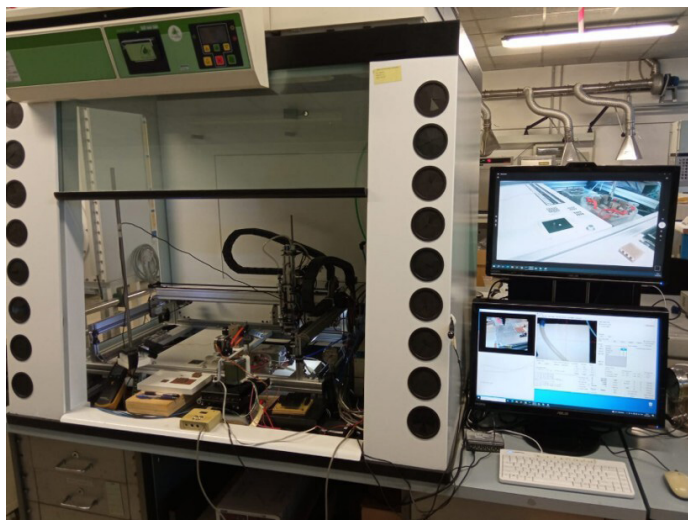
Referente: Lidia Armelao  
lidia.armelao@cnr.it

si sono dimostrate stabili in soluzioni saline, confermando la loro idoneità per applicazioni in elettrodialisi inversa (RED), soddisfacendo il requisito di conducibilità  $> 1 \text{ mS/cm}$  in NaCl 0.5 M a 25°C.

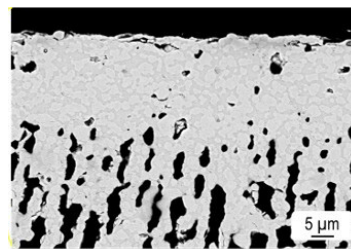
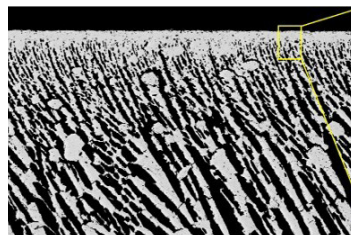
Nell'ambito del recupero energetico si sono concluse con interessanti risultati le attività di sviluppo di materiali e dispositivi termoelettrici operanti su vari range di temperatura, che hanno visto attività in collaborazione con le Università di Torino e di Padova. In particolare, per il recupero di cascami termici nei range medio-alti, è stata progettata e realizzata una stazione automatizzata per assemblare fisicamente moduli termoelettrici per la realizzazione di generatori termoelettrici. È stata quindi effettuata la progettazione e la realizzazione dei generatori termoelettrici che ha richiesto anche lo sviluppo

di tecniche ancillari, quali la tecnica di brasatura basata sul transient liquid-phase (TLP) sintering. È stato definito un protocollo di sintesi per due leghe half Heusler, di tipo “n” e tipo “p”. Materiali e interfacce sono stati caratterizzati anche mediante spettroscopia fotoelettronica XPS.

Nell'ambito del recupero di cascami termici a più bassa temperatura, sono stati realizzati alcuni prototipi di modulo termoelettrico flessibile, nel tentativo di ottenere dei sistemi non vincolati a geometrie specifiche di interfaccia con le sorgenti di calore da valorizzare. Tali dispositivi si sono basati su polidimetilsilossano e termoelementi di calcogenuri prodotti con tecnica open die pressing. I prototipi sono stati testati per la produzione di potenza elettrica applicando una differenza di temperatura in diverse configurazioni.



Stazione automatizzata (sviluppata nel progetto) per l'assemblaggio automatizzato con tecnica pick & place e la brasatura di generatori termoelettrici per il recupero energetico di cascami termici a medio-alte temperature.



Esempio di sezione di membrana ceramica con porosità nanostrutturate per la preparazione di membrane reattive per la conversione/separazione di idrogeno

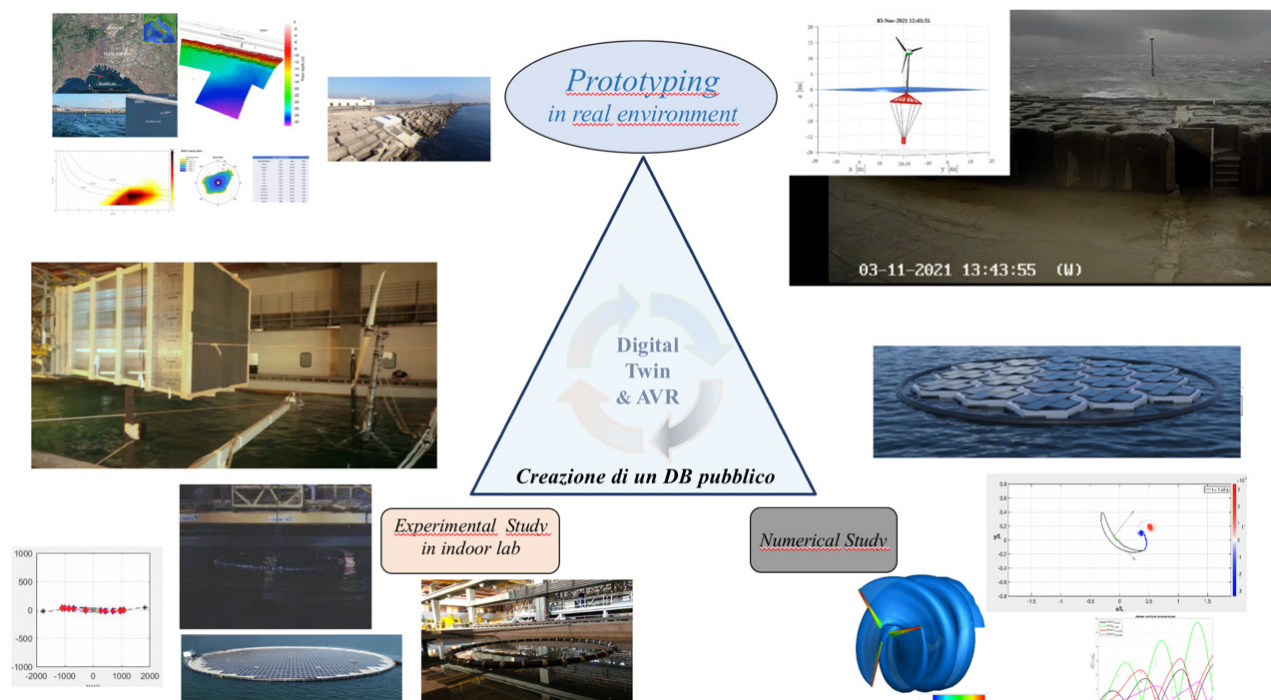
Il progetto di ricerca intende proseguire l'attività scientifica avviata nel PT 2019-2021, con l'obiettivo di incrementare il TRL del concetto di Arcipelago Energetico galleggiante (AEg), una proposta originale del CNR per un uso ecosostenibile dello spazio marittimo. Il sistema AEg è pensato per produrre energia rinnovabile in mare, accumularla sotto forma di energia liquida (metanolo, acqua desalinizzata, idrogeno) e utilizzarla direttamente in mare, ad esempio per il rifornimento di navi a idrogeno e per impianti di acquacoltura. Le principali fonti di energia sono eolico e solare fotovoltaico, le cui tecnologie – già mature su terra – sono state adattate all'ambiente marino nel precedente progetto. Il nuovo programma si concentra sulle sfide e innovazioni nel campo dell'eolico galleggiante (EG) e del solare fotovoltaico galleggiante (SFG), grazie anche alla disponibilità del laboratorio MaRELab, realizzato nel PT 2019-2021, dove è stato installato il primo prototipo di EG nel Mediterraneo, basato su tecnologia italiana Saipem. Questo consente di sviluppare ulteriormente la collaborazione tra ricerca e industria. La disponibilità di un prototipo operativo consente di testare soluzioni innovative in condizioni realistiche, con l'obiettivo di a) ridurre il costo dell'energia marina per l'utente finale e b) minimizzare l'impatto ambientale delle nuove tecnologie. Obiettivi urgenti, in linea con le necessità della transizione energetica.

Il progetto è stato articolato in tre Work Package:

- **WP1 – Digital twin per le energie rinnovabili marine:** seguendo gli sviluppi teorico-numerici del precedente PT, sono stati sviluppati modelli sempre più complessi, considerando fenomeni non lineari e accoppiamenti idro/aerodinamici. L'obiettivo è la definizione di un gemello digitale per l'EG e il SFG, fino a giungere ad un modello in realtà virtuale aumentata, utile anche per l'addestramento del personale.
- **WP2 – Nuove soluzioni tecnologiche:** esperimenti in scala modello. Sono stati proposti set-up sperimentali innovativi per prove su modelli in scala, superando i limiti dei sistemi tradizionali derivati dall'oil & gas. Sono state condotte prove su: - Piattaforma EG innovativa; modello innovativo flessibile di solare PV galleggiante.
- **WP3 – Prototipi reali al laboratorio MaRELab:** elemento chiave per portare rapidamente a scala reale le tecnologie a basso TRL. Il laboratorio ha consentito di testare soluzioni a costi contenuti prima di passare a prototipi su larga scala. Le attività condotte sono state:
  - A) Test su nuove linee di ancoraggio (taut, semi-taut, miste) con materiali sintetici, a basso costo, peso e impatto ambientale rispetto alle catenarie tradizionali.
  - B) Misura dei carichi locali e della potenza prodotta dal sistema OBREC già presente nel MaRELab.
  - C) Prime valutazioni sul rumore aero-idrodinamico generato dalla turbina EG e dalle operazioni di ancoraggio, per valutarne l'impatto ambientale in fase di installazione e funzionamento.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Claudio Lugni, Alessia Lucarelli  
claudio.lugni@unina.it, alessia.lucarelli@cnr.it



Strategia del progetto Energia Elettrica dal Mare per lo sviluppo dell'AEG: visione delle attività svolte nei 3 WP. Approccio numerico per lo sviluppo di un DT, sperimentazione indoor su modello in scala, e sperimentazione outdoor su prototipo a mare.

 **INTEGRATI**



## Progetto Integrato Fotovoltaico ad alta efficienza

Il progetto ha avuto la finalità di 1) studiare materiali, processi e architetture di celle fotovoltaiche (FV) con lo scopo di ottenere dispositivi ad alta efficienza e a costo contenuto, 2) analizzare soluzioni innovative per favorire l'integrazione del fotovoltaico in differenti contesti e 3) sviluppare metodologie per ottimizzare le installazioni FV e le relative prestazioni energetiche.

Sono state studiate **celle a concentrazione solare** (CPV), adottando soluzioni che consentono di ridurre i costi di realizzazione. In particolare, sono state sviluppate nuove strutture di celle a multigiunzione (MJ) basate sui composti III-V e IV a 3 terminali per la media e alta concentrazione ed è stata valutata la possibilità di riciclare il substrato delle celle MJ. Sono state sviluppate **celle e moduli FV** a base di perovskite, sperimentando vari materiali e tecniche di fabbricazione. Gli studi hanno consentito di ottenere moduli FV in perovskite su area di circa 300 cm<sup>2</sup>, con efficienze fino al 18%. Sono state sviluppate celle a eterogiunzione di silicio e con esse sono state realizzate **celle tandem perovskite/Si** che hanno raggiunto efficienza massima del 31%. Sono stati anche condotti studi su celle basate su nitruri, come possibile altro assorbitore da accoppiare al silicio. Gli studi condotti sullo sviluppo di **celle tandem a film sottile perovskite/CIGS** a due terminali ha evidenziato risultati promettente, che hanno anche suggerito un'ulteriore tipologia di integrazione fra questi due materiali.

Piano Triennale: 2022-2024

Referenti:

Paola Delli Veneri (ENEA) - [paola.delliveneri@enea.it](mailto:paola.delliveneri@enea.it)  
Salvatore Guastella (RSE) - [salvatore.guastella@rse-web.it](mailto:salvatore.guastella@rse-web.it)  
Massimo Mazzer (CNR) - [massimo.mazzer@cnr.it](mailto:massimo.mazzer@cnr.it)

Lo studio di soluzioni per una maggiore penetrazione del FV nel sistema elettrico ha coinvolto il tema dell'agrivoltaico e dell'integrazione del FV negli edifici (BIPV).

Sono state condotte attività di monitoraggio della **produzione energetica e agricola di impianti agrivoltaici** sia sui nuovi impianti disponibili nel progetto (è stato ad esempio realizzato un dimostratore agrivoltaico elevato fisso da circa 18kW presso Scalea) che su quelli già esistenti o in fase di realizzazione, coinvolgendo alcuni operatori di settore. Sono state elaborate **Linee guida per la localizzazione e la corretta integrazione dell'Agrivoltaico nel paesaggio e per la sostenibilità ambientale di impianti agrivoltaici** fin dalla fase progettuale, anche mediante studi di LCA. Sono stati, inoltre, sviluppati metodi e strumenti digitali spazialmente basati per l'identificazione delle aree agricole adeguate all'installazione di sistemi agrivoltaici e la valutazione del relativo potenziale agrivoltaico.

Sono proseguiti gli studi sullo sviluppo di celle solari innovative semitrasparenti a film sottile con assorbitore inorganico o organico e la sperimentazione sulla crescita di colture poste sotto la copertura FV di una serra.

Per quanto riguarda il BIPV, è stato sviluppato un **processo per la fabbricazione di moduli FV a base di DSSC** (area attiva totale circa 230 cm<sup>2</sup>) in una linea di produzione prototipale e sono stati sviluppati moduli ibridi CPV/FV in cui vengono utilizzate sia celle standard che a concentrazione.

Per quanto riguarda lo sviluppo di **metodologie e tecnologie avanzate per il monitoraggio e ottimizzazione dell'energia generata da FV** sono stati sviluppati metodi e strumenti avanzati per l'O&M che hanno riguardato il riconoscimento di determinati guasti e degli ombreggiamenti parziali, valutando possibili applicazioni per grandi impianti FV e per impianti residenziali. La validazione dei relativi algoritmi ha utilizzato dati etichettati raccolti presso la Facility Guasti FV di Milano (resi accessibili anche ad altri istituti di ricerca).

---

Sono state effettuate misure della radiazione solare (componenti diretta e diffusa e distribuzione spettrale) in vari siti italiani, così da valutare il potenziale FV per sito di installazione e per tecnologia di cella/modulo. Infine, è

stato completato lo sviluppo di un modello per lo studio dei profili di consumo dei membri della Comunità Energetica del Campus di Parma e di ottimizzazione dell'impianto FV del CNR-IMEM.

Dimostratore agrivoltaico elevato fisso da circa 18kW presso Scalea (CS), in prossimità dell'esistente impianto ad inseguimento solare monoassiale.



## Tecnologie di accumulo elettrochimico e termico

Il progetto mira allo sviluppo di **tecnologie innovative di accumulo elettrochimico e termico**, fondamentali per la transizione energetica e la decarbonizzazione nell'ottica di contribuire al rafforzamento dei diversi segmenti costituenti la catena del valore inerente i sistemi di accumulo di energia in Europa. Coordinato da **CNR**, in collaborazione con **ENEA** e **RSE**, coinvolge oltre 20 università e centri di ricerca italiani.

### WP1 – Materiali Avanzati per Accumulo Elettrochimico

Il WP1 ha sviluppato materiali per batterie al litio e sodio, includendo:

- **Batterie litio-ione:** ottimizzazione degli elettroliti e dei separatori sostenibili. ENEA e RSE hanno collaborato per testare una batteria con i loro migliori materiali.
- **Batterie sodio-fuso, sodio-aria e sodio-ione:** miglioramenti strutturali dei materiali elettrodi ed elettrolitici (es. NaSICON, NaI/AlCl<sub>3</sub>). I tre enti si sono focalizzati su caratterizzazione e ottimizzazione di materiali elettrodi da impiegare in batterie sodio-ione più performanti e sostenibili. Tale caratterizzazione è avvenuta anche attraverso un **Round Robin** test tra i tre enti per la valutazione comparata delle prestazioni.
- Uso di **biomasse** per sviluppare catodi in carbonio per batterie redox a flusso o sodio-ione.
- Attività computazionali per supportare la progettazione e caratterizzazione dei materiali.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Alessandra Di Blasi  
alessandra.diblas@itaecnr.it

### WP2 – Sistemi Innovativi per Accumulo Elettrochimico

Focus su:

- **Batterie litio-ione commerciali:** aging test su batterie a diverso chimismo litio, sviluppo di **digital twin**, diagnostica avanzata e second-life.
- Realizzazione di un **database condiviso** popolato da dataset relativi a test di invecchiamento condotti su batterie litio commerciali, secondo protocolli di invecchiamento comuni. L'accesso al database condiviso è reso possibile anche ad utenti esterni.
- **Sistema ibrido litio + redox a flusso di vanadio**, bidirezionale, per microreti e comunità energetiche (5-10kW, 220V AC).

### WP3 – Analisi Ambientale, Economica e Sociale

- **LCA/LCC** per valutare impatti ambientali ed economici dei sistemi.
- Studio sulla **disponibilità sostenibile** di materiali critici (riciclo, urban mining, fluidi geotermici).
- Analisi socio-economica della filiera batterie in Italia, con casi studio regionali per supportare la pianificazione industriale (es. localizzazione delle giga-factory).

### WP4 – Materiali e Sistemi per Accumulo Termico

- Ricerca su accumuli tra 0–900°C:
- Basse temperature (0–200°C): sistema CO<sub>2</sub> transcritica con moduli di test e materiali a liquidi ionici/sali igroscopici.
- Medie temperature (~300°C): prototipi con materiali ecosostenibili cementizi per power-to-heat e materiali a cambiamento di fase.
- Alte temperature (~900°C): accumulo termochimico con reattori in Inconel a letto fluidizzato, basati su CaO/CaCO<sub>3</sub> e MnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

- Studio di **sistemi ATES** integrati con teleriscaldamento e biomasse.

## WP5 – Diffusione e Supporto Istituzionale

Il WP5 ha curato:

- Partecipazione a tavoli strategici europei (BEPA, ETIP Batteries Europe, Batt4EU) e nazionali (Cluster Energia, Tavolo Materie Prime Critiche).
- Comunicazione e divulgazione:**
  - Eventi: Nanoinnovation, E-Tech Europe, ZeroEmission, workshop a Salina, seminari su Na-ion.
  - Partecipazioni a congressi internazionali (ECS, ISE, Advanced Materials).

- Coinvolgimento del pubblico: Maker Faire, ZeroEmission, corsi per insegnanti, articoli divulgativi (Wired, FIRE), realtà immersiva e social media.

Il progetto ha raggiunto i suoi principali obiettivi, realizzando:

- Soluzioni tecnologiche avanzate per l'accumulo elettrochimico e termico.
- Approcci multidisciplinari tra laboratorio, modellazione e prototipazione.
- Collaborazioni efficaci tra enti pubblici e università, con una forte componente di **sostenibilità, digitalizzazione e scalabilità** industriale.

Il progetto integrato 1.2: panoramica dei suoi punti di forza.



Link al progetto:

<https://www.itae.cnr.it/it/progetto-finanziato/1-2-progetto-integrato-tecnologie-di-accumulo-elettrochimico-e-termico/>

<https://www.ricercasistemmaelettrico.enea.it/accordo-di-programma-mase-enea-2022-2024/decarbonizzazione/tecnologie-di-accumulo-elettrochimico-e-termico.html>

<https://www.rse-web.it/progetti/tecnologie-di-accumulo-elettrochimico-e-termico/>



# Progetto Integrato Tecnologie dell'Idrogeno

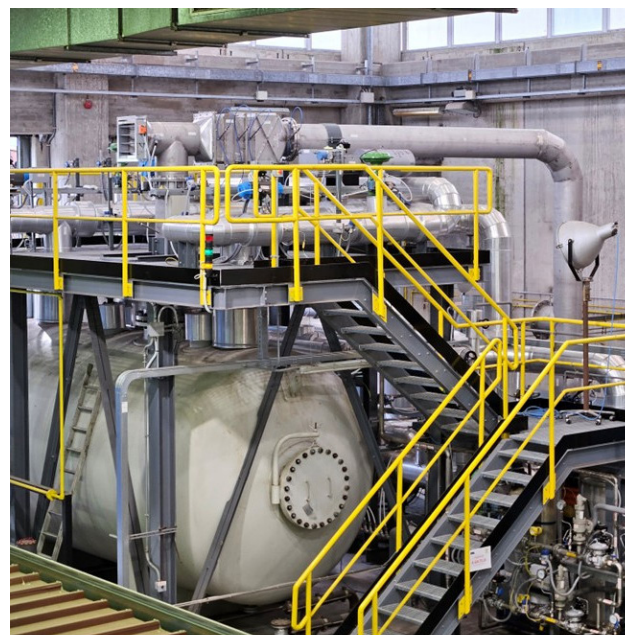
**I**l progetto ha affrontato un vasto e ambizioso programma di ricerca che tratta molteplici tecnologie lungo tutta la catena del valore dell'idrogeno, dalla produzione, al trasporto e accumulo, fino agli usi finali, mirando alla creazione di una filiera nazionale del settore.

Le attività legate alla produzione di idrogeno rinnovabile o low-carbon si sono concentrate sullo sviluppo di processi innovativi, alternativi all'elettrolisi alcalina o PEM. L'attenzione si è focalizzata sul water splitting foto(elettro)catalitico e su processi di gassificazione, pirolisi e deidrogenazione di matrici carboniose rinnovabili o di recupero (biogas, rifiuti agroindustriali, plastiche non riciclabili), cercando di combinare la produzione di idrogeno con la gestione e valorizzazione dei rifiuti o la coproduzione di prodotti commerciabili. Sono stati sviluppati materiali funzionali (catalizzatori, membrane per la separazione di idrogeno) e sistemi per la caratterizzazione sperimentale dei processi su scala di laboratorio o pilota. Analisi tecnico-economiche preliminari condotte su alcuni dei processi hanno mostrato il potenziale per raggiungere costi di produzione intorno ai 3 €/kg.

Ampio spazio è stato dedicato alle tecnologie Power-to-X. È stata creata una piattaforma sperimentale che integra un impianto prototipale di metanazione catalitica (1 Nm<sup>3</sup>/h) con un elettrolizzatore (25 kW), eseguendo test in condizioni operative dinamiche e affrontando le problematiche di interfacciamento con la rete elettrica. Sono stati esplorati anche approcci alternativi come la metanazione biologica in

reattori a gocciolamento e la captazione di CO<sub>2</sub> da emissioni naturali per l'utilizzo in processi di elettrometanogenesi tramite sistemi elettrochimici microbici. È stata considerata anche la conversione dell'idrogeno in vettori liquidi, sviluppando catalizzatori innovativi per la sintesi di DME e metanolo da idrogenazione della CO<sub>2</sub>. È stato inoltre sviluppato e validato un sistema reversibile P2G2P per la produzione di metano sintetico (fino a 1 Nm<sup>3</sup>/h) e l'accumulo/produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e CO<sub>2</sub> catturata.

È stata studiata l'iniezione di idrogeno nelle reti di distribuzione del gas, valutando la preparazione dell'infrastruttura italiana con analisi della compatibilità



Impianto AGATUR

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Luca Turchetti

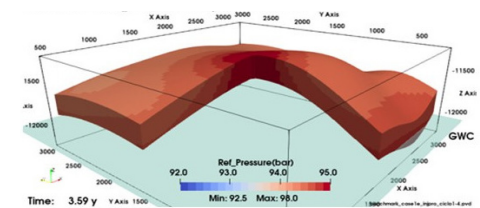
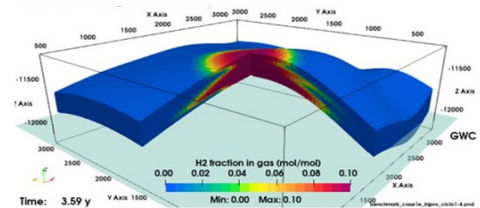
luca.turchetti@enea.it

dei materiali delle tubazioni, test in condizioni rilevanti di esercizio di componenti di rete, e analisi di casi di studio per l'iniezione di idrogeno in due reti cittadine. È stato infine approfondito lo stoccaggio geologico, con test di laboratorio e lo sviluppo di metodologie di calcolo per analizzare il comportamento dei reservoir e le problematiche legate alla potenziale sismicità indotta.

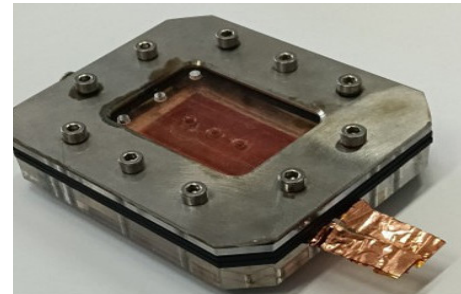
Relativamente agli usi finali, è stata ottimizzata la produzione di piatti bipolari per celle a combustibile PEFC seguendo un approccio "sustainable-by-design", attraverso lo sviluppo di componentistica innovativa (stampa 3D) e sistemi automatizzati di assemblaggio e ispezione. Un altro tema chiave è stata l'alimentazione flessibile di macchine termiche con miscele H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>. In questo ambito, sono state considerate microturbine a gas, arrivando all'implementazione e verifica di tecnologie di combustione capaci di contenere le emissioni di NO<sub>x</sub> operando con miscele con un contenuto di H<sub>2</sub> del 20% (v/v), con un trend tecnologico di oltre il 50%. Sono inoltre state eseguite prove sperimentali di lunga durata su un motore cogenerativo con alimentazioni fino al 12% di H<sub>2</sub>, per valutarne le prestazioni energetico/ambientali e verificare lo stato di usura dei principali componenti d'impianto.

Le attività svolte, innovative e concentrate su livelli di maturità tecnologica medio-bassi, sono state completate da valutazioni di scenari, studi di sicurezza e analisi di ciclo di vita. I risultati ottenuti concorrono al raggiungimento degli obiettivi delineati dal PNIEC per le tre dimensioni della decarbonizzazione, della sicurezza energetica e della ricerca, dell'innovazione e della competitività.

Simulazione  
dello stoccaggio  
geologico di H<sub>2</sub>.



Cella per  
water splitting  
fotoelettrolitico



Prototipo di  
bruciatore  
fuel-flexibile



## ➤ Cybersecurity dei sistemi energetici

Il progetto sulla cybersecurity dei sistemi energetici ha il triplice obiettivo di sviluppare studi, strumenti e metodologie finalizzate a:

- garantire la sicurezza delle tecnologie per le comunicazioni nei sistemi energetici;
- preservare la resilienza del sistema elettrico a fronte di attacchi cyber;
- sfruttare l'intelligenza artificiale per il rilevamento di anomalie cyber in infrastrutture energetiche.

I tre affidatari RSE, ENEA, CNR e i loro co-beneficiari hanno contribuito al raggiungimento degli obiettivi di progetto in un orizzonte triennale coordinato da RSE. Le attività sono state finalizzate alla sperimentazione di tecnologie di cybersecurity considerate mature in casi applicativi significativi per la transizione energetica e allo studio e valutazione di tecnologie e piattaforme innovative.

Il progetto ha prodotto risultati sperimentali significativi sugli standard crittografici utilizzati nel controllo delle infrastrutture energetiche, con particolare attenzione alle loro prestazioni. Sono state indirizzate tecnologie emergenti come la Quantum Key Distribution, primitive crittografiche implementate su logiche programmabili, modelli innovativi di Public Key Infrastructure basati su blockchain, interfacce di comunicazione per microreti resilienti basate su Power Line Communication. È stato implementato un osservatorio online che offre una serie di servizi utili alle PMI per comprendere l'evoluzione delle minacce cyber.

Al fine di preservare la resilienza del sistema elettrico a fronte di anomalie provocate da attacchi cyber, il progetto ha realizzato un prototipo di dispositivo di protezione cibernetica-elettrica e verificato la conformità agli standard di cybersecurity di dispositivi e prodotti commerciali utilizzati nelle microreti energetiche, quali gateway IoT e reti 5G, fornendo indicazioni utili ai loro produttori. I risultati di questi test e l'analisi dei test indipendenti previsti dalle certificazioni di cybersecurity ISA/IEC 62443-4-2 rispondono specificamente ai requisiti di certificazione dei prodotti riferiti dalla legislazione in vigore (Direttiva NIS2, Cyber Resilience Act e Codice di Rete sulla Cybersecurity).

Grazie all'utilizzo di strumenti di IA generativa, il progetto ha messo a punto uno strumento per il rilevamento automatico di vulnerabilità di dispositivi IoT per il controllo energetico accessibili pubblicamente su Internet. Le piattaforme di rilevamento di anomalie cyber basate su modelli di apprendimento automatico quali quelle sviluppate nel progetto diventeranno sempre più indispensabili per identificare e contrastare tempestivamente eventuali possibili minacce. I risultati regolatori e normativi sulla cybersecurity hanno contribuito concretamente a migliorare la cybersecurity del settore energetico nazionale. Grazie alla norma CEI 0-16 e al supporto fornito da RSE i fornitori di dispositivi sono riusciti a mettere a disposizione del mercato controllori per impianti di generazione distribuita dotati di standard di sicurezza certificati che ora sono integrati negli impianti di taglia uguale o superiore al megawatt già connessi alle reti in media tensione, proteggendo i dati per

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Giovanna Dondossola  
giovanna.dondossola@rse-web.it

---

l'osservabilità della rete elettrica nazionale da attacchi cyber. Per lo sviluppo di servizi di flessibilità forniti dalle infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici RSE ha messo a disposizione dei fornitori un'architettura di test delle funzioni di smart charging conformi alla CEI PAS 57-127 che permette di integrare le funzioni di gestione delle chiavi crittografiche e dei certificati digitali utilizzati dai controllori dell'infrastruttura di ricarica.

Le numerose azioni di diffusione effettuate dagli affidatari e dai co-beneficiari hanno messo a disposizione della comunità scientifica, degli operatori, dei fornitori di dispositivi e servizi e dei decisori istituzionali i risultati dell'attività di ricerca del progetto integrato, ponendo le basi per sviluppi futuri in un settore sempre più strategico.



 **BANDO A**

# ↘ CANVAS: dalla ricerca di frontiera alla rivoluzione dell'energia solare nell'ambiente costruito

La visione è quella di una città in cui ogni facciata, ogni finestra o tetto, anche in edifici storici o di pregio, possa diventare una sorgente di energia pulita. Un luogo dove i pannelli fotovoltaici non sono più soltanto elementi funzionali ma si integrano armoniosamente nell'architettura, diventando parte stessa dell'identità e dell'estetica degli edifici. Questa visione è al cuore di CANVAS, progetto coordinato dal CNR e finanziato nell'ambito del bando-A di RdS, che si propone di rivoluzionare il fotovoltaico integrato nell'ambiente costruito (IPV). Al progetto partecipano anche RSE, EURAC Research, Università Bicocca, Università e Politecnico di Torino e CESI

## Un approccio multidimensionale al fotovoltaico integrato

CANVAS è articolato in 6 work-package (WP), ognuno pensato per rispondere a esigenze reali del futuro mercato IPV. L'obiettivo è sviluppare tecnologie e materiali di nuova generazione, capaci di superare limiti estetici, funzionali e di efficienza che ancora oggi frenano la diffusione del fotovoltaico negli spazi urbani.

### *Dal vetro trasparente all'energia "invisibile"*

Il WP1, dedicato alle celle solari trasparenti, apre la strada a finestre e facciate fotovoltaiche che forniscano energia e illuminazione naturale lasciando spazio alla creatività del design. Questo rappresenta un cambio di paradigma rispetto

ai tradizionali pannelli solari, che spesso impattano in modo significativo sull'aspetto degli edifici.

### *Flessibilità e integrazione: la rivoluzione dei materiali*

Nel WP2 la sfida è integrare la generazione solare in elementi architettonici flessibili, grazie a materiali innovativi a film sottile come i piezo-fotovoltaici. In questi moduli, la curvatura delle superfici di installazione può diventare un amplificatore di efficienza invece che uno svantaggio. La produzione di energia può andare a braccetto con la creatività architettonica.

### *Colore ed estetica: il fotovoltaico che si adatta alla città*

Il WP3 si concentra sui moduli colorati, pensati per rispettare i vincoli estetici e paesaggistici che spesso limitano l'adozione del fotovoltaico in contesti storici o di pregio. Con le tecnologie sviluppate in CANVAS, il colore non implica un compromesso al ribasso con l'efficienza fotovoltaica e ogni applicazione è studiata per valorizzare paesaggio ed estetica.

### *Efficienza e innovazione: verso moduli ibridi e intelligenti*

Se l'obiettivo è l'alta efficienza, il WP4 è dedicato allo sviluppo di moduli che combinano le performance delle celle solari a concentrazione con tecnologie tradizionali, mentre il WP5 porta l'innovazione nella gestione intelligente dell'energia, ibridando celle fotovoltaiche e sistemi di accumulo avanzati. Questo significa non solo produrre energia, ma anche conservarla e utilizzarla in modo ottimale, rispondendo alle esigenze variabili dell'edificio e dei suoi abitanti.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Massimo Mazzer  
massimo.mazzer@cnr.it

### *La progettazione del futuro in realtà aumentata*

Infine, il WP6 introduce strumenti di progettazione basati sulla realtà aumentata e virtuale. A partire dal “gemello digitale” di un edificio, questo strumento permette di simulare e visualizzare l'integrazione del fotovoltaico (compresi i futuri prodotti che nasceranno da CANVAS) ancora prima della progettazione. Progettisti e committenti potranno co-ottimizzare sia l'estetica che la funzionalità degli impianti da realizzare.

### **Ricerca di frontiera per una nuova filiera industriale**

Il vero potenziale di CANVAS, però, si coglie guardando oltre la singola innovazione tecnologica. Pur collocandosi ai primi gradini della scala del “Technology Readiness Level”, è un progetto che può innescare nuove traiettorie di sviluppo e di competitività dell'industria fotovoltaica italiana ed europea. La transizione da un modello industriale basato su economie di scala a uno fondato su specializzazione e competenze avanzate è terreno fertile per una nuova generazione di imprese, filiere e professioni.



## Materiali di nuova generazione per celle fotovoltaiche tandem

**I**l progetto GoPV, iniziato a luglio 2024 con una durata prevista di 36 mesi, è focalizzato sullo studio di materiali di nuova generazione (assorbitori e contatti selettivi) per celle solari a eterogiunzione di silicio (SHJ) e a base di perovskite, con l'obiettivo di progettare e realizzare dispositivi tandem perovskite/silicio e perovskite/perovskite, affrontando le criticità che possono limitare lo sviluppo di tali tecnologie emergenti. Per quanto riguarda la perovskite, attualmente film ibridi organico-inorganici sono utilizzati in celle solari a singola giunzione e in configurazione tandem con prestazioni, che sono migliorate in maniera impressionante negli ultimi anni. In vista di un'applicazione su larga scala di questa tecnologia, è, tuttavia, necessario dissipare i dubbi relativi all'uso di piombo o di gruppi organici che potrebbero avere possibili effetti rispettivamente sulla salute umana e sulla stabilità dei dispositivi nel tempo. Bisogna, inoltre, valutare strategie che possano in generale migliorare le prestazioni in condizioni operative delle celle in perovskite con le varie formulazioni utilizzate per le differenti architetture di dispositivo, migliorando ad esempio le interfacce tra i vari strati delle celle. Nel progetto vengono sviluppati film di perovskiti inorganiche, perovskiti senza o con ridotto contenuto di piombo e, più in generale, film di perovskiti con diversi bandgap e sono studiati materiali e strategie per migliorare la stabilità dei dispositivi. Inoltre, per quanto riguarda le celle solari SHJ, si stanno valutando materiali per i contatti selettivi di elettroni e lacune altamente trasparenti, con l'obiettivo di minimizzare l'assorbimento ottico parassita nella cella e valutare tecniche di deposizione meno costose e con minori problemi di sicurezza

del processo. Si stanno inoltre valutando materiali trasparenti e conduttivi per il contatto frontale dei dispositivi, con l'obiettivo di ridurre l'uso di elementi rari, come l'indio contenuto nell'ossido di indio-stagno comunemente utilizzato, e materiali incapsulanti trasparenti e laminabili a bassa temperatura per le celle in fase di sviluppo. Gli studi sperimentali sono poi accompagnati da simulazioni e modeling con l'obiettivo di definire le formulazioni ottimali di perovskite e comprendere le problematiche alle interfacce tra i vari strati che possono condizionare fortemente le prestazioni dei dispositivi.

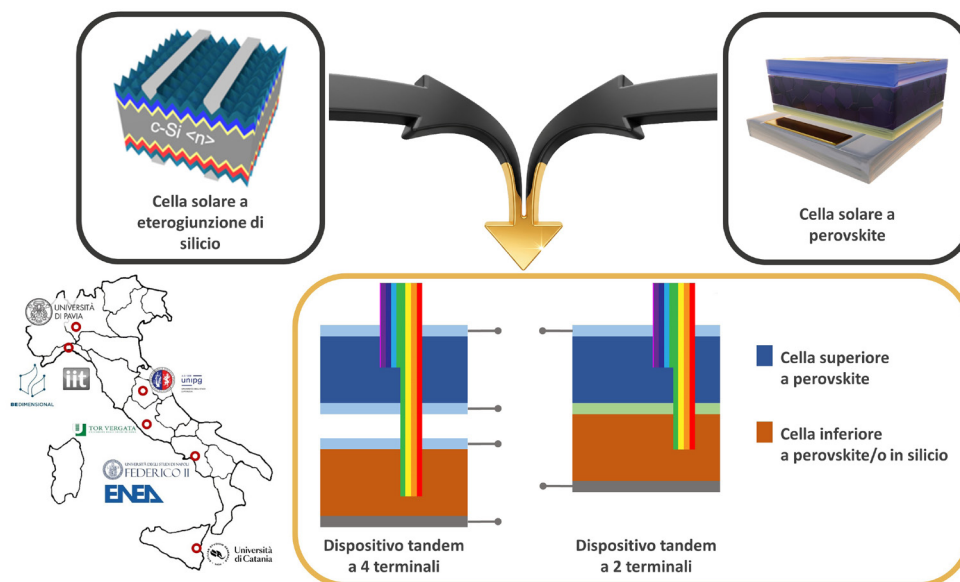
Nelle prime due annualità del progetto sono state realizzate celle senza o con ridotto contenuto di piombo, ottenendo efficienze pari a circa il 10% e il 18% rispettivamente. Sono state poi realizzate celle con perovskite inorganica con efficienze fino al 16%, mentre con film di perovskite ad alta gap sono stati ottenuti risultati di grande rilevanza: con bandgap di 1,77 eV è stata ottenuta un'efficienza di conversione di potenza (PCE) del 20,34% (le celle mantengono circa il 95% della PCE iniziale dopo 1000 ore di illuminazione), mentre con bandgap di 1,83 eV si è misurata una PCE di circa il 19% con Voc di 1,36 V, risultati questi di assoluto rilievo internazionale per un bandgap così ampio. Inoltre, si stanno sviluppando perovskiti a bassa dimensionalità a bandgap variabile (1.7 eV - 2.4 eV), con le quali sono stati fabbricati dispositivi con Voc > 1.4 eV. Per quanto riguarda le celle a eterogiunzione di silicio sono stati sviluppati materiali per contatti selettivi alternativi a quelli standard, realizzando celle solari cosiddette dopant-free, dispositivi, cioè, che non utilizzano i film sottili di silicio drogati di tipo n e di tipo p tipicamente utilizzati nei processi attuali di produzione delle celle solari SHJ, che hanno evidenziato prestazioni promettenti con processi realizzativi semplificati. Con i materiali e dispositivi finora sviluppati sono state, infine, realizzate celle tandem perovskite/Si e perovskite/perovskite a 4 terminali ottenendo efficienze maggiori del 20%.

**Link al progetto:** <https://www.gopv.it/>

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Paola Delli Veneri (ENEA)  
[paola.delliveneri@enea.it](mailto:paola.delliveneri@enea.it)

Schema dei dispositivi FV, a singola giunzione o tandem, realizzati con i materiali sviluppati nel progetto. A sinistra è mostrata la localizzazione geografica dei differenti partner del progetto GoPV

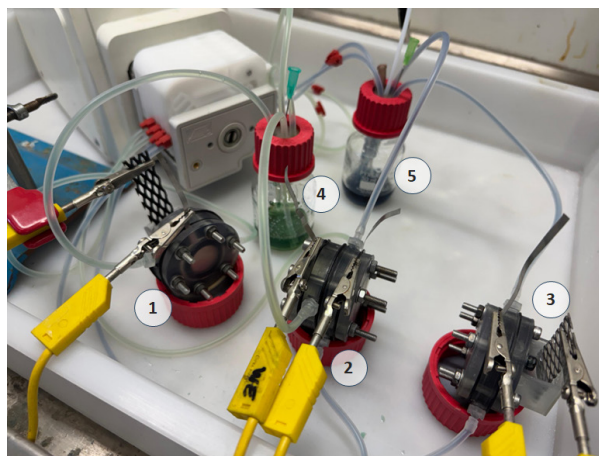


## Materiali Innovativi per Sistemi di Accumulo Ibrido

L'obiettivo di MIAMI è quello di realizzare un prototipo su scala di laboratorio di un sistema di accumulo ibrido, basato sull'integrazione di batterie redox a flusso e sistemi Power-to-X, tramite un approccio integrato che mira allo sviluppo di materiali innovativi per la realizzazione di sistemi elettrochimici di accumulo dell'energia ad elevate prestazioni, promuovendone allo stesso tempo sostenibilità e circolarità. In particolare, le attività sono dedicate allo sviluppo di materiali elettrodi e membrane separatrici polimeriche innovative per

batterie a flusso al vanadio. Il progetto include lo sviluppo di catalizzatori per l'evoluzione di idrogeno e per la metanazione di CO<sub>2</sub> allo scopo di promuovere l'efficienza di conversione di sistemi Power-to-X e per estendere la capacità di accumulo del sistema. L'integrazione della batteria a flusso con una cella per la produzione di idrogeno permetterà inoltre la produzione controllata di idrogeno per la successiva reazione catalitica di metanazione, al fine di generare un sistema di accumulo ibrido.

Esempio di integrazione di batteria a flusso al vanadio con celle per la produzione di idrogeno e ossigeno alla scala di laboratorio



1. O<sub>2</sub> / V<sup>4+/5+</sup> cell
2. V<sup>4+/5+</sup> / V<sup>3+/2+</sup> cell
3. V<sup>3+/2+</sup> / H<sub>2</sub> cell
4. V<sup>4+/5+</sup> electrolyte reservoir
5. V<sup>3+/2+</sup> electrolyte reservoir

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Luca Magagnin (Politecnico di Milano)  
luca.magagnin@polimi.it

Link al progetto: [www.miami.chem.polimi.it](http://www.miami.chem.polimi.it)

# Organics for Green Electrochemical Energy Storage

L'attività di progetto è focalizzata sulla sintesi, caratterizzazione e validazione di materiali innovativi, eco-sostenibili e a basso costo per sistemi di accumulo elettrochimico (SAE), come batterie e supercondensatori (SC). L'obiettivo è sviluppare materiali sia ibridi (inorganico/organico) sia puramente organici, privilegiando quelli derivati da composti di scarto (ad esempio biomasse), per incrementare progressivamente il livello di sostenibilità ambientale delle soluzioni proposte, a beneficio delle tecnologie di accumulo nel medio-lungo periodo. Si tratta di una ricerca fondamentale che punta a validare materiali non solo in termini di prestazioni elettrochimiche, ma anche di impatto ambientale, attraverso attività di scouting, sintesi e caratterizzazione orientate a ridurre sempre più la quota di componente inorganica. Il progetto è condotto dai principali enti di ricerca italiani attivi nel settore SAE – CNR, ENEA, RSE, IIT e INSTM – che costituiscono un prestigioso collettore di competenze nella ricerca e sviluppo di materiali avanzati. A questa rete si affianca una azienda italiana specializzata nella micro- e nano-strutturazione delle superfici, che metterà a disposizione il proprio know-how per sviluppare pattern funzionali sui componenti di un SAE, migliorandone potenzialmente processi produttivi e prestazioni. Punto di forza del progetto è la massiccia attività di scouting su materiali ancora poco esplorati per i SAE, affiancata dall'azione complementare del partner industriale sui trattamenti superficiali. Questa sinergia favorirà innovazione, sostenibilità e l'apertura a nuovi mercati emergenti, promuovendo anche futuri sviluppi di business.

Il progetto è strutturato in 5 Work Package (WP):

- WP1: studio di composti organici ed inorganici per ottenere componenti ibridi, con l'obiettivo di ridurre i costi mantenendo prestazioni elettrochimiche comparabili agli standard attuali.
- WP2: analisi di diverse tipologie di composti organici come potenziali sostituti di materiali tradizionali nei SAE, per validare soluzioni in grado di avvicinare le prestazioni dei sistemi convenzionali riducendone l'impatto ambientale lungo l'intero ciclo di vita.
- WP3: sviluppo di materiali organici derivati dal riutilizzo di scarti ed economie circolari, per individuare soluzioni green basate su composti facilmente reperibili e a basso costo.
- WP4: attività di supporto ai processi di selezione e validazione, comprendenti simulazioni computazionali, analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment), e test di texturing funzionale realizzati dal partner industriale.
- WP5: azioni di divulgazione e disseminazione, tra cui un sito internet dedicato, aggiornamenti periodici e canali multimediali per diffondere i risultati più significativi.

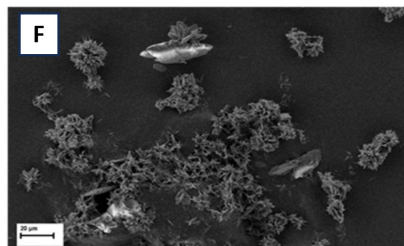
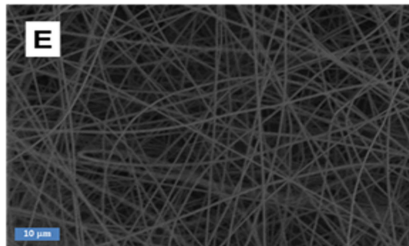
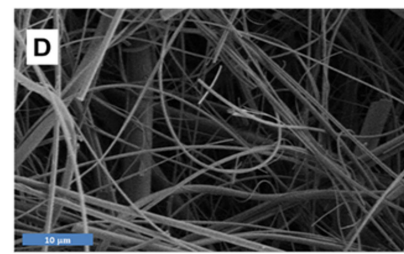
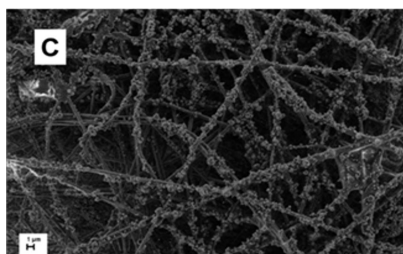
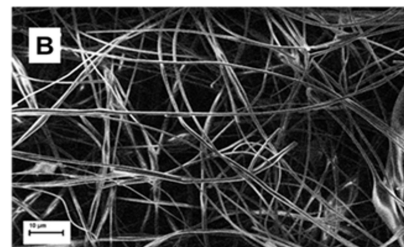
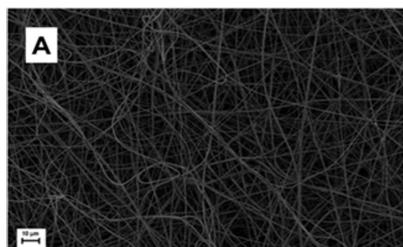
Le attività, ormai avviate nel II anno di progetto, stanno beneficiando in modo significativo dell'approccio integrato adottato e della stretta collaborazione con il partner industriale. Questa sinergia sta generando spunti scientifici di grande valore reciproco, favorendo lo scambio di conoscenze e competenze e contribuendo in maniera concreta al progressivo raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Alessandra Di Blasi  
diblas@ita.e.cnr.it

Link al progetto: <https://www.oranges.it/>

Immagini SEM dei campioni PAN/PCL 70:30 (a e lignina (b) fabbricati tramite elettrofilatura, di PAN/PCL 70:30 funzionalizzato con lignina spray (c e di un separatore commerciale a base di fibra di vetro (d, e).







**BANDO B**

## Dab converter with would Core Transformer for fast charge

**C**on il progressivo aumento della diffusione dei veicoli elettrici peraltro con sempre maggiore autonomia, si rende necessaria una infrastruttura di ricarica con “colonnine” in grado di erogare potenze dell’ordine di centinaia di kW mediante un vettore in corrente continua e, possibilmente, anche bidirezionali, rispetto al flusso di potenza, in modo da poter esercire il V2G per erogare servizi alla rete pubblica dell’energia elettrica.

In tale ambito, il progetto DOCTORATE ha perseguito l’obiettivo di sviluppare e validare un dimostratore con potenza 200kWdi sistema di conversione DC/DC bidirezionale ad elevate prestazioni, basato sull’architettura Dual Active Bridge (DAB), integrato con un trasformatore ad alta frequenza a nucleo amorfo avvolto e inverter realizzati con dispositivi in carburo di silicio (SiC).

L’attività progettuale e sperimentale ha condotto alla realizzazione di un dimostratore (TRL7) in grado di raggiungere 98% di efficienza in condizioni operative nominali. Tale risultato è stato reso possibile grazie all’impiego di semiconduttori wide-bandgap (SiC), che consentono una drastica riduzione delle perdite di commutazione e l’aumento della frequenza operativa oltre allo sviluppo di un trasformatore a nucleo magnetico in materiale amorfo (METGLAS 2605SA1), progettato per operare alla frequenza di 30 kHz (e testato fino a 50kHz).

Il materiale selezionato per il nucleo del trasformatore è stato scelto a seguito di un’accurata indagine tecnica

sulle prestazioni magnetiche e meccaniche dei materiali commerciali e verificate nei laboratori delle Università (di Pisa e Firenze). Le proprietà magnetiche di questi materiali commerciali (alta permeabilità, basse perdite per isteresi) e una consistente attività di ricerca sperimentale volta a definire l’isolamento elettrico tra i vari strati di materiale e la ricottura sotto campo magnetico ad alta temperatura, necessaria per migliorare la struttura cristallina del materiale, ha consentito di realizzare un dispositivo a bassissime perdite nel “ferro” (2,5 per mille) e di alta potenza specifica (2,6 kW/kg). Inoltre gli avvolgimenti, realizzati in filo Litz, sono stati ottimizzati, dal punto di vista geometrico, nella loro posizione spaziale ottenendo un’ulteriore riduzione delle perdite nel rame fino all’80% rispetto alla soluzione standard per questo tipo di avvolgimenti. Peraltro è stata sviluppata e realizzata (presso la società NEWTON) una linea produttiva dimostrativa del trasformatore composta una stazione di avvolgimento automatico del nastro di ferro amorfo (che ha consentito di evitare i giunti magnetici), una stazione per il trattamento termico e una stazione di collaudo di fine linea, per la validazione delle proprietà elettriche e dielettriche dei trasformatori prodotti. I test di produzione hanno dimostrato l’affidabilità del processo e la possibilità di estendere la produzione su scala industriale.

Le prestazioni del sistema DAB sono state verificate attraverso test funzionali su un dimostratore da 200 kW (realizzato dalla società E2C), installato in laboratorio in configurazione con ricircolo di potenza. I test sperimentali hanno confermato l’efficienza energetica prevista dal progetto e hanno dimostrato che il sistema può gestire con efficacia le transizioni di potenza tra le due porte DC, anche in condizioni di regolazione rapida e presenza di disturbi.

Il progetto DOCTORATE ha, quindi, permesso lo sviluppo e la dimostrazione sperimentale di un sistema avanzato per la ricarica rapida in corrente continua, integrando innovazioni

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Guglielmo Montagnani

[guglielmo.montagnani@newtontrasformatori.it](mailto:guglielmo.montagnani@newtontrasformatori.it)

nei materiali magnetici, nell'elettronica di potenza, nel controllo e nella produzione. Il sistema si caratterizza per l'elevata efficienza, la compattezza, la sostenibilità ambientale (si riducono notevolmente i materiali strategici

impiegati) e la scalabilità industriale, offrendo una soluzione concreta per il potenziamento delle infrastrutture di ricarica, ma anche per tutte le applicazioni nelle reti in DC a più livelli di tensione.

(a) Prototipo del convertitore DAB. (b) Stazione di avvolgimento del nucleo in ferro amorfo. (c) Stazione di collaudo del trasformatore.



## Fanghi, Energia e scarti industriali per economia circolare e sostenibilità

---

**I**l progetto FENICS propone una soluzione innovativa, efficiente e sostenibile per la gestione e la valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione prodotti dal trattamento dei reflui di origine industriale, con particolare riferimento al settore alimentare. Questo settore, di punta per il paese, si trova a dover gestire contemporaneamente gli elevati consumi di energia, legati ai diversi processi di trasformazione e conservazione degli alimenti, e la produzione di scarti derivanti dagli stessi processi di trasformazione della materia prima. La valorizzazione energetica dei fanghi, con autoproduzione di energia e recupero dagli scarti di produzione, consente di ottenere un duplice beneficio che ha importanti risvolti sia economici che ambientali: permette di ridurre i costi economici e l'impatto ambientale legati all'approvvigionamento di energia e allo smaltimento dei fanghi. La soluzione tecnologica prevede l'essiccamento e la valorizzazione energetica mediante gassificazione dei fanghi di depurazione prodotti nell'ambito industriale, con particolare riferimento a quello delle produzioni alimentari. Nel dettaglio, il sistema sarà composto da un impianto prototipale basato sull'integrazione funzionale di un essiccatore a nastro con un impianto di gassificazione a letto fluidizzato. Come caso studio reale si prenderà in esame uno stabilimento industriale che lavora nel settore della produzione alimentare. Le attività condotte consentiranno in primo luogo di dimostrare l'utilizzo della tecnologia in ambiente operativo, valutando l'effettivo recupero energetico dai fanghi, nonché di determinare le

condizioni operative ottimali del sistema e definire le linee guida per la sua corretta gestione ed esportabilità ad altre industrie del settore alimentare e non solo. La tecnologia proposta, se opportunamente validata, potrebbe determinare una notevole diminuzione della quantità di fanghi da avviare ad impianti di recupero/smaltimento da parte degli stabilimenti produttivi interessati. Nello specifico si stima che il solo essiccatore a nastro sia in grado di ridurre il 75% dei fanghi e che, in combinazione con il gassificatore a letto fluidizzato, tale percentuale possa aumentare fino al 90%. In ottica di economia circolare, la riduzione dei fanghi si accompagna, inoltre, alla produzione di un combustibile, il syngas, trattato e pronto ad essere utilizzato sia per la produzione di energia termica che elettrica, a notevole beneficio della riduzione dei costi di gestione dei fanghi. È stata completata la fase di progettazione preliminare e si è in attesa di ricevere dalla Regione Lazio l'autorizzazione necessaria alla realizzazione dell'impianto pilota nell'area prescelta. In particolare, sulla scorta dei dati raccolti ed elaborati durante la caratterizzazione energetica del sito prescelto come caso studio reale e grazie ai risultati dell'analisi riguardante i residui derivanti dal trattamento dei reflui, è stata individuata la soluzione più idonea per il gassificatore, che sarà del tipo a letto bollente. Per quanto riguarda l'essiccatore a nastro, esso si inquadra nella famiglia dei sistemi di essiccamento convettivi ed è una tecnologia estremamente efficiente di essiccamento fanghi, che trova nelle basse emissioni, assenza di polveri, flessibilità di operazione e basso consumo energetico i propri punti di forza. Sono stati quindi individuati i fornitori dei principali componenti, compresi tutti i componenti ancillari di cui si comporrà l'impianto. Inoltre, UniParthenope e CNR-STEMS hanno portato avanti le attività per la valorizzazione dei risultati della ricerca tramite la preparazione di contributi da sottoporre a conferenze scientifiche del settore.

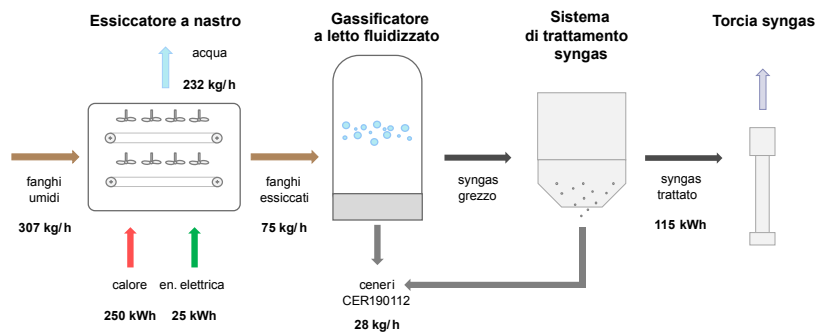
Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Gianfranco Milani  
gianfranco.milani@grastim.it

Schema di flusso impianto prototipale – Il fango umido viene essiccato tramite aria calda ottenuta con un bruciatore a gasolio. Il fango secco alimenta il gassificatore, dove verrà prodotto il syngas.

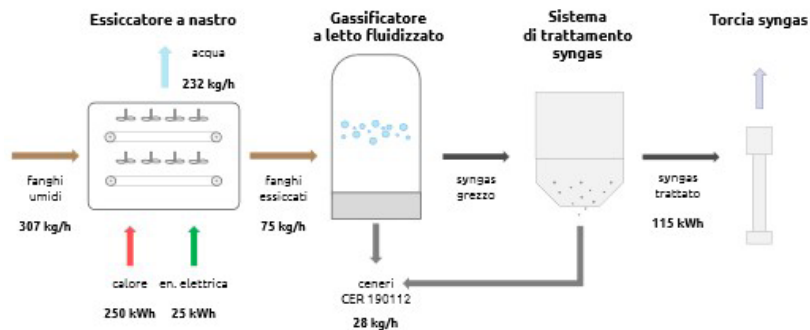
### Progetto FENICS

Schema impianto



### Progetto FENICS

Schema impianto



# **Fotovoltaico efficiente in facciata per il futuro prossimo della rete elettrica**

Il progetto FOURIER (Fotovoltaico efficiente in facciata per il futuro prossimo della rete elettrica) Rappresenta un passo significativo nello sviluppo del fotovoltaico integrato negli edifici e nella transizione verso un'energia sostenibile. Il progetto ha coinvolto importanti realtà industriali e accademiche, concentrandosi sulla progettazione e realizzazione di celle fotovoltaiche ad alta efficienza integrate nelle facciate degli edifici. L'obiettivo era quello di coniugare elevati standard tecnici ed estetici con un'elevata applicabilità su larga scala, contribuendo così allo sviluppo di soluzioni energetiche avanzate e sostenibili.


Il successo di FOURIER è stato reso possibile da una visione progettuale integrata che ha ottimizzato ogni fase dello sviluppo di nuovi moduli fotovoltaici, consentendo di combinare in modo equilibrato i requisiti estetici, fondamentali per una facciata vetrata, con quelli tecnologici legati all'efficienza energetica. La ricerca si è concentrata sulla creazione di un prodotto che rispondesse alle esigenze del mercato, con particolare attenzione all'estetica, alla sostenibilità, alla manutenzione e alla possibilità di industrializzazione. Una delle primissime attività del progetto ha riguardato l'identificazione, insieme agli architetti e progettisti della facciata, dei requisiti sia tecnici che estetici del prodotto integrato. Questo ha permesso di sviluppare dei moduli fotovoltaici che avessero già alcune caratteristiche specifiche, come la colorazione del vetro frontale, per nascondere le celle fotovoltaiche, e alcune lavorazioni dei vetri per facilitare l'alloggiamento dei componenti tecnici e dei cablaggi, che garantissero una facile

integrazione nel sistema di facciata e il soddisfacimento dei requisiti estetici necessari per l'utilizzo in architettura. Dal punto di vista tecnologico, il progetto ha introdotto innovazioni significative, tra cui: la realizzazione di celle solari tramite tecniche innovative, attività svolta dal laboratorio congiunto "Σnergy lab" di IMEM, in collaborazione con


**FOURIER**

FOTOVOLTAICO EFFICIENTE IN  
FACCIATA PER IL FUTURO PROSSIMO  
DELLA RETE ELETTRICA

Una nuova filiera ibrida delle costruzioni, focalizzata su un sistema fotovoltaico  
tecnologico integrato nelle facciate degli edifici.



FOURIER è il progetto innovativo nella filiera edilizia-energia, che promuove prodotti  
sostenibili e accessibili per la ristrutturazione e la transizione alle energie rinnovabili.



Inchiostro  
P.ink

Produzione  
cella solare

Cella pronta

Integrazione  
in facciata

CONCLUSIONI

- Moduli fotovoltaici funzionali e visivamente integrati nelle facciate vetrate
- Prodotto industrializzabile e sostenibile
- Equilibrio tra efficienza energetica e requisiti estetici
- Processo collaborativo che unisce design architettonico e tecnologia

Elenco dei partners (a cui si aggiunge Applied Materials) e facciata finale

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: L. Ascari

[l.ascari@henesis.eu](mailto:l.ascari@henesis.eu)

Camlin Italy. Non esistono processi analoghi sul mercato. La produzione di un inchiostro stabile del materiale assorbitore (calcogenuro, P.ink) consente di realizzare le celle solari mediante diverse tecniche di deposizione da fase liquida e ridurre drasticamente la necessità di investimenti in macchinari di deposizione fisica in vuoto tipiche dei processi di produzione di celle solari inorganiche a film sottile tradizionali. L'impiego della tecnologia "shingling" permette di ottenere stringhe fotovoltaiche dalla resa estetica superiore, per effetto dell'assenza delle interconnessioni frontali, una maggiore flessibilità in termini di dimensione rispetto alle stringhe standard e migliore affidabilità e durata, grazie all'incollaggio per mezzo di adesivo conduttivo. L'integrazione di stringhe fotovoltaiche in una facciata permette di rendere l'edificio energeticamente autonomo o

comunque di ridurre la dipendenza energetica da fonti fossili. Nello specifico, la facciata Fourier rappresenta un'eccellenza in termini di integrazione estetica e di efficienza. Con il completamento del progetto, la filiera italiana è pronta a espandere il mercato del fotovoltaico integrato negli edifici (BIPV), offrendo soluzioni innovative per nuove costruzioni e ristrutturazioni. La soluzione sviluppata nel progetto FOURIER ha il potenziale per essere ulteriormente analizzata e portata avanti. Gli sviluppi futuri si dovranno concentrare principalmente sull'ottimizzazione del rendimento energetico e sull'ampliamento delle possibilità di personalizzazione estetica, due aspetti fondamentali per consentire un utilizzo su larga scala. Sarà inoltre importante approfondire ulteriormente la scalabilità industriale della soluzione, con l'obiettivo di renderla competitiva e accessibile al mercato globale.

Ciclo di produzione che porta dall'inchiostro alla realizzazione della cella solare integrata poi in facciata



Link al progetto: <https://fouriersolar.eu/>



## Pompa di calore innovativa per il recupero di cascami termici in applicazioni industriali a media e alta temperatura

L'obiettivo principale del progetto è realizzare un dimostratore tecnologico costituito da un trasformatore di calore ad adsorbimento in scala pilota asservita ad un'utenza industriale alimentata da calore residuo da processi industriali e conseguente valorizzazione dell'energia termica generata in applicazioni a media e alta temperatura. Esso intende affrontare il tema della valorizzazione del calore di scarto consentendo una sensibile riduzione dell'utilizzo di fonti fossili per la generazione di calore di processo utilizzato in diversi settori industriali.

Nel dettaglio il progetto punta a incrementare la potenza termica trasferita per unità di volume, mediante il fluido termovettore, tra il reattore (costituito da scambiatore, letto adsorbente e fase gassosa dell'adsorbato integrati in un casing metallico sottovuoto) e le sorgenti in bassa e alta temperatura. Tale obiettivo è stato perseguito tramite:

- a) Indagine e caratterizzazione di working pair adsorbente/adsorbato tali da ottimizzare la dinamica di adsorbimento relativamente al ciclo termodinamico di riferimento; in particolare è stato sviluppato in ambiente multifisico Comsol un modello di simulazione dinamica applicata all'intero trasformatore per una valutazione della resa energetica ottenibile e della potenza scambiata in funzioni delle varie

geometrie scambianti ipotizzate; successivamente è stato progettato ed implementato un set up strumentale per la verifica sperimentale del modello numerico e la validazione della coppia di lavoro ottimale e della relativa granulometria da utilizzarsi nel dimostratore tecnologico.

- b) Indagine e analisi della superficie scambiante tale da massimizzare la potenza scambiata e design concettuale e costruttivo del letto adsorbente integrato del vessel di reazione; in particolare è stato selezionato uno scambiatore a pacco lamellare da testare con diverse granulometrie di adsorbato.
- c) Sviluppo di un modello di controllo tale da regolare la dinamica di scambio termico all'interno del reattore (agendo sull'evaporazione e condensazione e quindi sulla pressione all'interno del reattore).

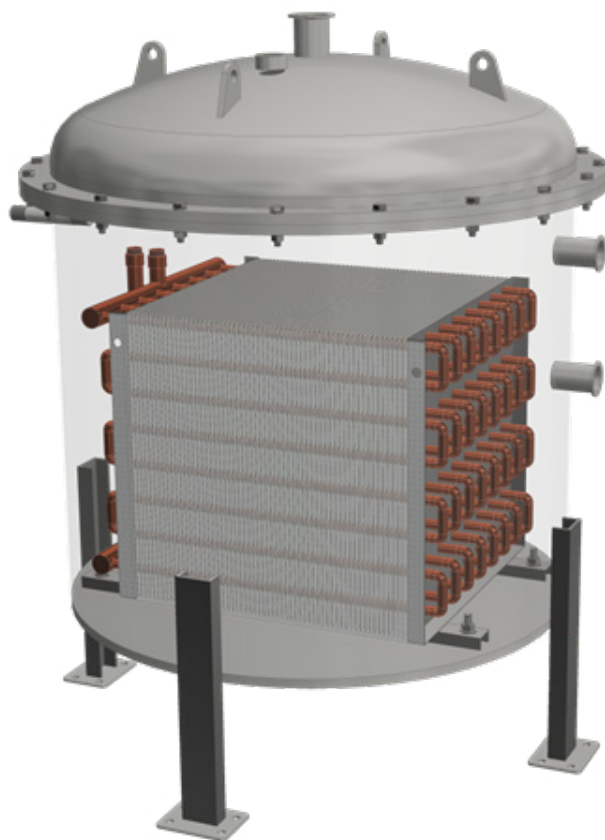
Alla luce dei risultati ottenuti si procede dunque alla progettazione impiantistica e alla realizzazione di un set up sperimentale in scala ridotta con volume di reazione pari a 100 l. I valori sperimentali saranno utilizzati per la validazione del modello multifisico e forniranno le indicazioni progettuali per lo sviluppo e la realizzazione in un prototipo di scala industriale fattibile, robusto e affidabile che farà da dimostratore tecnologico.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Michele Di Foggia  
michele.difoggia@emaht.com



Vessel di reazione con  
scambiatore integrato  
(volume di reazione pari  
a 100 l)



# Intelligent energy management of Smart grids based on IoT and edge/cloud Technologies

**I**l progetto INSITE – Intelligent energy management of Smart grids based on IoT and edge/cloud Technologies nasce con l'obiettivo di potenziare il controllo e la gestione delle Smart Grid attraverso l'ottimizzazione dei processi gestionali, tipicamente affidati a sistemi SCADA fisici. INSITE propone un livello di automazione ed astrazione tramite un Energy Management System (EMS), basato su tecnologia Edge/Cloud Computing, capace di supportare SCADA fisici/virtuali nella pianificazione di strategie ottimali che impattano sull'esercizio della Smart Grid dal punto di vista operativo ed economico, evitando al contempo condizioni che possano compromettere la stabilità della rete. Ciò è possibile grazie all'integrazione di algoritmi di ottimizzazione e AI, applicati al dispacciamento ex-ante e online nel rispetto dei vincoli statici e dinamici della rete. Inoltre, INSITE affronta le sfide di CyberSecurity nelle Smart Grid al fine di proteggere l'infrastruttura di sistema in tutte le sue componenti, garantendo riservatezza, integrità e disponibilità dei dati. L'innovatività del progetto, sul piano scientifico, verte su diversi studi approfonditi. In primis, l'identificazione di modelli dinamici e statici di carichi e generatori nelle Smart Grid. Successivamente, la caratterizzazione dei disturbi introdotti dalle microreti nelle reti di distribuzione. Sono stati studiati i fenomeni dinamici legati a variazioni rapide di carico e generazione, e sviluppate strategie di controllo avanzate per mitigarne gli effetti: un controllore deterministico per ridurre le perturbazioni e un approccio di dispacciamento economico

per ottimizzare le risorse mantenendo la qualità di fornitura dell'energia elettrica. Infine, è stata sviluppata una strategia avanzata per gestire le fluttuazioni di potenza nelle microreti alimentate da fonti rinnovabili. La strategia integra sistemi di accumulo energetico e risorse distribuite come microturbine e cogeneratori.

Sul piano tecnologico, la soluzione proposta è composta da tre principali prototipi software:

- Virtual Demand Side Manager (vDSM): simula il comportamento di un distributore energetico, abilitando funzioni di Demand Side Management;
- IoT-EMS: dispositivo IoT operante in Edge, dotata di modelli di Digital Twin per la gestione di Smart Grid. È in grado di raccogliere ed elaborare le misurazioni energetiche dagli asset energetici, comunicare con il vDSM e il Cloud, eseguire algoritmi avanzati per la previsione del consumo energetico, risposta agli sbilanciamenti e ottimizzazione online dei flussi di potenza;
- InSite-Cloud: soluzione in Cloud che offre servizi di Data Management per gestire il ciclo di vita dei dati — dalla raccolta dall'IoT-EMS e fonti esterne (quali stazioni meteo, mercato energetico), fino all'elaborazione e archiviazione; Analytics, con piattaforma per il monitoraggio, l'analisi storica e l'esecuzione di algoritmi di dispacciamento ex-ante e stabilizzazione; Security, per la protezione dei dati a riposo e dell'infrastruttura. Per la protezione dei dati in transito, si avvale di IDS (Intrusion Detection System).

I risultati hanno confermato la stabilità della rete, in termini di riduzione dei disturbi, e la sua efficacia, ottimizzando la gestione delle potenze e riducendo i costi operativi. La validazione è stata eseguita su Smart Grid in scala reale presso il PrInCE del Politecnico di Bari, maturando un TRL 7. Sono state prodotte 18 pubblicazioni.

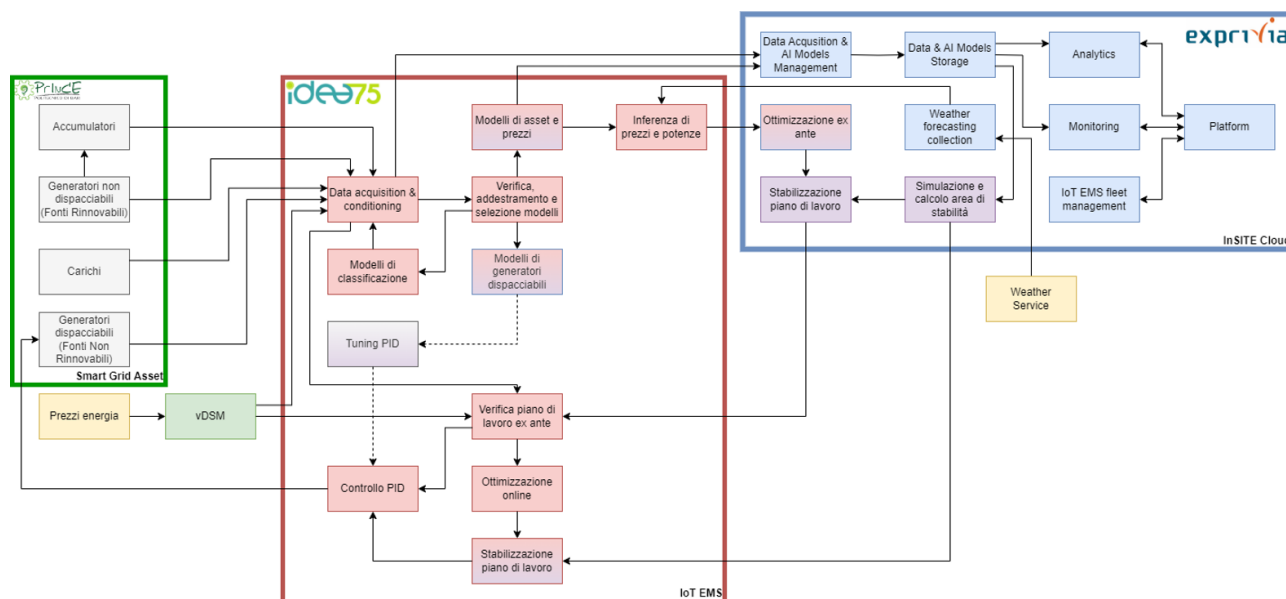
Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Giovanni Melone  
giovanni.melone@exprivia.com

Link al progetto: <https://www.princelab.it/it/i-partner.aspx>

In conclusione, INSITE mira a superare le attuali limitazioni degli EMS operanti in condizioni deterministiche, affrontando il problema dell'ottimizzazione delle performance, della resilienza e della sicurezza di una Smart Grid. Sfruttando le potenzialità

del Edge/Cloud Computing si è in grado di (i) ridurre il costo dell'energia per l'utente; (ii) aumentare la resilienza e la sicurezza della rete elettrica; (iii) incoraggiare e ottimizzare l'uso di fonti rinnovabili e sistemi di accumulo per la produzione di energia.



Soluzione tecnologica: MicroGrid, vDSM per demand response, IoT-EMS per ottimizzazione on Edge, infrastruttura Cloud per gestione dati e modelli AI, ottimizzazione in Cloud, monitoraggio e analytics.

## Model of Saving Electric Energy from organic waste fermentation

**I**l progetto MODSEN (Model of Saving Electric Energy from organic waste fermentation) è focalizzato sulla valorizzazione energetica di rifiuti organici e reflui mediante la loro conversione biologica in idrogeno, attraverso l'ottimizzazione dei processi di *dark fermentation*. L'iniziativa è stata promossa da Veritas S.p.A., in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica dell'Università Ca' Foscari di Venezia e il Dipartimento di Ingegneria industriale dell'Università degli Studi di Padova.

L'idrogeno è infatti ampiamente riconosciuto come un promettente vettore energetico, in grado di contrastare il cambiamento climatico offrendo un'alternativa sostenibile ai combustibili fossili tradizionali. Tuttavia, la sua produzione si basa ad oggi quasi esclusivamente sulla conversione di fonti fossili, un processo che comporta elevate emissioni di carbonio in atmosfera. Ripensare i modelli di produzione dell'idrogeno è quindi un passaggio fondamentale affinché questo possa contribuire concretamente alla transizione verso una società a zero emissioni. I processi biologici stanno attirando un crescente interesse nella comunità scientifica, in quanto consentono la conversione a idrogeno di rifiuti organici, tramite processi a basso consumo energetico e a basse emissioni nette di gas serra. Nella prima fase del progetto è stata valutata la produzione di idrogeno tramite *dark fermentation* a partire da una miscela di rifiuti alimentari e fanghi biologici di supero. La scalabilità del processo è stata studiata su impianti a scala da laboratorio (5 L), pilota (70 L), e pre-industriale (440 L), su prototipi impiantistici progettati e realizzati da Veritas tramite revamping

di digestori e fermentatori. A seguito di criticità riscontrate nella tenuta dell'idrogeno nel reattore a scala pre-industriale, le prove di *dark fermentation* sono state condotte sul reattore pilota da 70 L, mentre il reattore di dimensioni maggiori è stato utilizzato per accoppiare al processo una fase di digestione anaerobica, con l'intento di massimizzare il recupero energetico dai rifiuti alimentati e promuovere così la sostenibilità ambientale ed economica del processo.

Le rese di produzione migliori sono state ottenute trattando una miscela di rifiuti alimentari e fanghi di supero in rapporto volumetrico 1:4 (1:1 su base dei solidi volatili totali TVS alimentati), lavorando in condizioni di carico semi continuo ad un OLR di 12 kgTVS/m<sup>3</sup>d e un HRT di 3 d. In queste condizioni operative, sia a scala da laboratorio che pilota, sono state ottenute produzioni specifiche di idrogeno pari a 55 – 60 L/kgTVS e produttività massime di 0,65 – 0,80 L/L<sub>reattore</sub>d. In una fase successiva, Veritas ha progettato e assemblato l'impianto di separazione e accumulo dell'idrogeno, a valle del processo di fermentazione, collegandolo al sistema di celle a combustibile PEM già installato e operativo. Parallelamente, è stata implementata una cella a ossidi solidi (SOFC), in grado di funzionare anche con idrogeno non purificato, ampliando così la flessibilità dell'intero sistema di conversione energetica. Sono stati condotti dei test preliminari sulla tecnologia SOFC utilizzando idrogeno puro e miscele di idrogeno e CO<sub>2</sub>, senza significative riduzioni delle prestazioni.

È stata inoltre realizzata una linea sperimentale per il pretrattamento e la separazione dei gas di fermentazione, con test di sonicazione per la rimozione delle polveri, valutazione di diverse membrane e sviluppo di un sistema di accumulo su idruri metallici. Il progetto prevede anche la realizzazione di un modello per la stima delle prestazioni energetiche del sistema proposto e lo svolgimento di una LCA con particolare attenzione alle emissioni di gas serra ed ai consumi energetici ed idrici. È attualmente in corso la valutazione della ripetibilità della tecnologia su altre multiutilities nazionali.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: G. Tassinato  
g.tassinato@gruppoveritas.it

Nell'immagine è visibile il fermentatore da 440 litri durante un'operazione di avvio test. Si notano anche il gas counter, utilizzato per monitorare la quantità di gas prodotto, e la tanica contenente NaOH, impiegata per il controllo del pH.



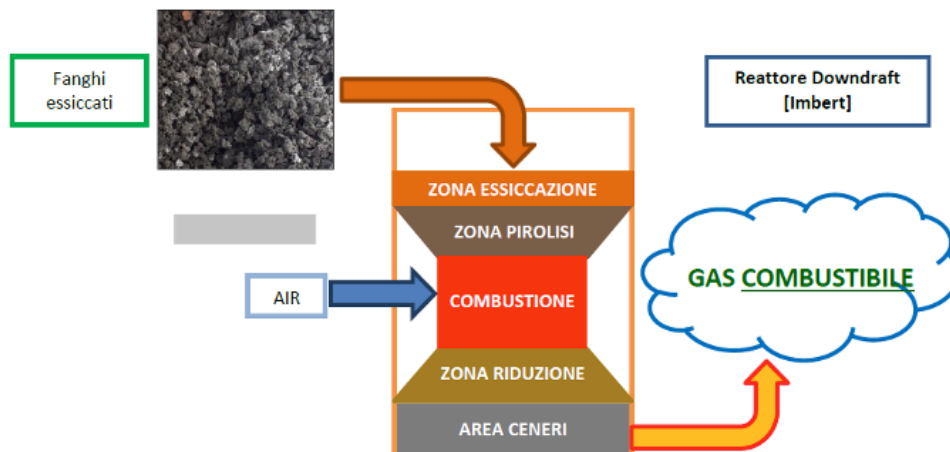
## Valorizzazione energetica di materiali residuali provenienti dall'industria agroalimentare attraverso syngas da gassificazione

Il progetto RECOVERY mira a sviluppare un sistema integrato per la valorizzazione energetica di materiali residuali provenienti dall'industria agroalimentare, in particolare dal settore di trasformazione del pomodoro. L'iniziativa si propone di convertire scarti organici in syngas mediante gassificazione, promuovendo un modello di economia circolare e contribuendo alla riduzione del carico sul sistema energetico nazionale. Durante i primi tre semestri, **CMD** ha completato la progettazione di un sistema di essiccazione a basso impatto energetico, capace di recuperare calore dai reflu termici del processo cogenerativo per trattare materiali ad alta umidità. Questo sistema consente un significativo miglioramento dell'efficienza complessiva, evitando l'uso di energia primaria per l'essiccazione. In parallelo, **CMD** ha finalizzato

la progettazione del reattore di gassificazione downdraft per biomasse ad alto contenuto di ceneri (>15%), spesso problematiche per questa tecnologia. I primi test hanno dimostrato una buona stabilità operativa e resa energetica.

**ENEA** ha supportato il progetto con un'estesa attività di caratterizzazione chimico-fisica delle matrici selezionate (bucce, semi, foglie, fanghi), determinandone composizione elementare, umidità, potere calorifico, contenuto di ceneri e fusibilità. Questi dati sono stati utilizzati per definire miscele ottimali e per sviluppare modelli termodinamici e cinetici del processo. È stato inoltre progettato un prototipo in scala laboratorio e avviata la sperimentazione sui trattamenti HTC (Hydrothermal Carbonization). Sono stati anche impostati i modelli LCA per valutare gli impatti ambientali dell'intero sistema.

Schema semplificato del processo di conversione termochimica operato dal sistema Recovery



Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Luciano Soviero

luciano.soviero@cmdengine.com

Link al progetto: <https://www.cmdengine.com/gruppo-cmd/progetti-innovativi/progetto-recovery/>

---

**Giaguaro S.p.A.**, partner industriale, ha censito 10 diverse biomasse, individuando in BIOM 1 (bucce e semi) e BIOM 7 (foglie e sterpaglie) le più adatte alla gassificazione. Ha condotto un'analisi qualitativa e quantitativa sulla produzione annua degli scarti (oltre 5.000 ton/anno), ne ha definito i flussi logistici e ha supportato la caratterizzazione con laboratori accreditati. Inoltre, ha studiato l'integrazione del sistema prototipale nel proprio ciclo produttivo, con focus su interfaccia

elettrica, recupero di calore, tracciabilità degli scarti e autorizzazioni normative.

Il progetto, nel suo complesso, ha portato alla progettazione e prima validazione di un sistema innovativo di conversione termochimica per materiali residuali di difficile gestione. Le attività proseguiranno con test sperimentali su scala pilota, validazione ambientale e ottimizzazione impiantistica, in vista di una futura applicazione industriale.

# ➤ Stoccaggio di energia con batterie ad acqua di mare

## Il progetto

La strategia energetica dell'Unione Europea mira alla completa decarbonizzazione entro il 2050, puntando su fonti rinnovabili non programmabili. Per raggiungere questo obiettivo, è essenziale sviluppare sistemi di accumulo energetico innovativi, efficienti ed ecosostenibili, capaci di affiancare o sostituire le tecnologie attualmente in uso.

In questo contesto si inserisce il progetto **SBAM**, che propone una soluzione rivoluzionaria: un sistema di accumulo elettrochimico basato sull'intercalazione di ioni sodio e sull'utilizzo dell'acqua di mare come vettore fornito al catodo del componente attivo. Questa tecnologia offre numerosi vantaggi, quali: possibilità di realizzare accumulo esterno (sotto forma di sodio metallico) della specie attiva, facilità di scalabilità, compatibilità ambientale, utilizzo di materie prime non critiche, ottimale integrazione con impianti rinnovabili off-shore.

La cella NSB (Na Seawater Battery) è composta da: anodo, elettrolita liquido non acquoso, elettrolita allo stato solido (funge da separatore e conduttore di ioni  $\text{Na}^+$ ), acqua marina (flusso continuo che alimenta la reazione), Collettore di carica catodico in carbonio. Durante la carica, gli ioni  $\text{Na}^+$ , prodotti dalla dissociazione del  $\text{NaCl}$  contenuto nell'acqua di mare, vengono ridotti a sodio metallico all'anodo, mentre al catodo avviene l'ossidazione con produzione di gas come  $\text{Cl}_2$  e  $\text{O}_2$ . Durante la scarica, il sodio metallico viene ossidato all'anodo,

gli elettroni fluiscono verso il catodo attraverso il circuito esterno, mentre gli ioni  $\text{Na}^+$  attraversano l'elettrolita solido. Nel comparto catodico gli ioni  $\text{Na}^+$  reagiscono con gli ioni  $\text{OH}^-$ , generati all'elettrodo positivo in presenza di acqua e ossigeno ivi disciolto, formando  $\text{NaOH}$ .

## Obiettivi raggiunti

Grazie alle attività del progetto è stata definita l'architettura del sistema di accumulo SBAM, insieme alle condizioni operative e allo scenario energetico, economico e normativo in cui il prodotto industrializzato si inserisce.

Sono state sviluppate le tecnologie fondamentali alla base delle batterie, con attività di ricerca mirate sulle diverse componenti della batteria per migliorarne le prestazioni che hanno permesso di raggiungere il livello TRL4. Sono state condotte ricerche sul materiale Nasicon in scala coin cell, ottimizzandone le proprietà, e sul materiale carbonioso. È stata completata la produzione su scala di laboratorio del materiale catalitico e definita una procedura scalabile per l'additivazione sul carbonio. Sono state valutate quattro tipologie di NASICON con diversi metodi di sintesi e preparazione dei pellet, analizzate mediante XRD e SEM-EDS. L'anolita, fondamentale per la configurazione "metal-free anode" della NSB, è stato studiato per garantire la deposizione e la reversibilità del sodio metallico durante il funzionamento della batteria. Sono state analizzate formulazioni a base di Na-bifenile e solventi eterici, selezionando le più promettenti per la costruzione di batterie senza anodo di sodio preformato. È stato inoltre progettato e realizzato un dimostratore di un reattore per la cattura della  $\text{CO}_2$ , studiato per essere integrato con batterie

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Alessandro Ventura  
aventura@mtu-group.com

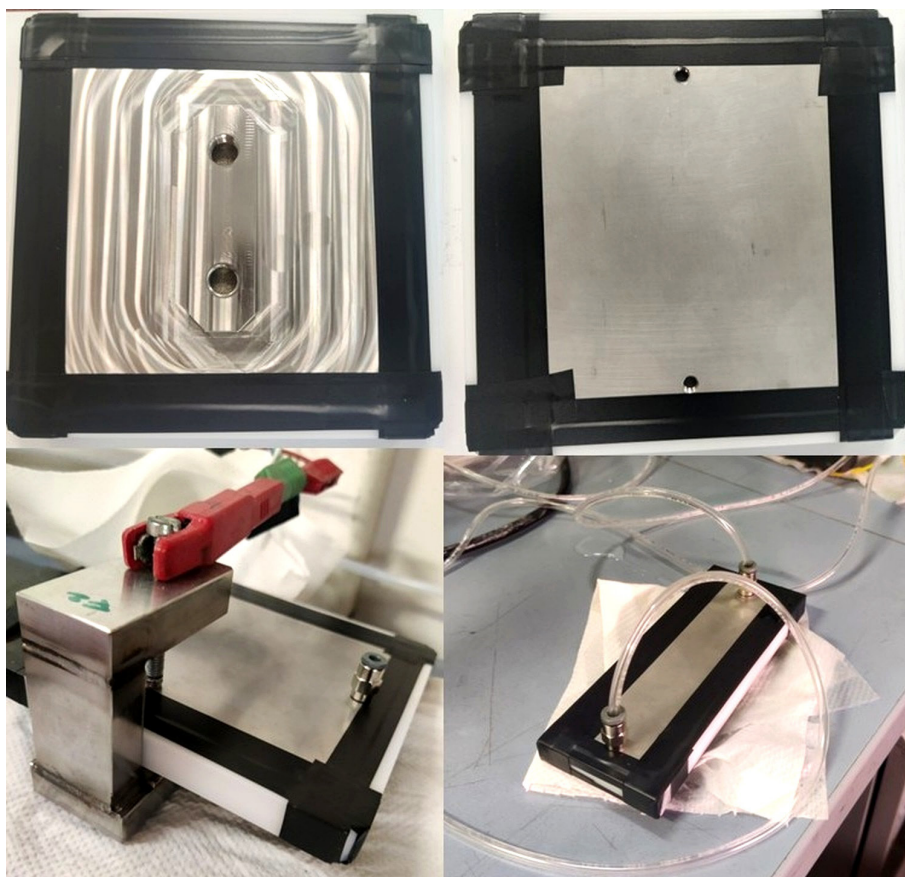
Link al progetto: <https://www.linkedin.com/company/108792220/>



sodio-acqua di mare. Sono stati numerosi i test eseguiti sul prototipo di monocella. In particolare, sono stati modificati progressivamente diversi aspetti: geometria, materiali, sistemi di incollaggio e guarnizione, le tipologie di frame e i piani di montaggio. Al termine di questa ottimizzazione, è stata realizzata e testata una cella in scala prototipo (sezione

quadrata 10×10 cm). I test condotti hanno permesso di verificare il funzionamento durante cicli di carica-scarica con flussaggio di acqua di mare al catodo. Parallelamente sono state identificate le attrezzature più adatte alla produzione del componente in Nasicon, garantendo precisione nei parametri di lavorazione e riproducibilità su scala industriale.

Test in laboratorio delle diverse configurazioni di batterie ad acqua di mare con e senza flussaggio dell'acqua marina.



## Sistema Energetico Evoluto per Monitoraggio, Ottimizzazione e Ripartizione Energetica

---

**I**l progetto ha l'obiettivo di sviluppare un sistema hardware e software per applicazioni industriali dedicato alla misura e regolazione dei fluidi di processo capace di abilitare funzioni evolute di monitoraggio, controllo ottimo e analisi energetica. Il sistema punta a integrare dati dai diversi sistemi e software gestionali di fabbrica, misuratori e valvole di regolazione intelligenti distribuiti nell'impianto e software avanzati di monitoraggio, analisi e contabilizzazione creando un prodotto applicabile a diversi processi industriali. Un prodotto che combina le funzioni avanzate di alcuni sistemi EMS integrati con MES presenti in commercio, potenziati grazie ad algoritmi di ML, con un focus particolare sulla gestione dei vettori di energia termica, anche in ottica di riutilizzo degli scarti sia internamente che all'esterno del sito produttivo. L'EMS di Enersem è un software web per il monitoraggio, analisi e ottimizzazione dei consumi energetici, il supporto alle decisioni, la misura e verifica degli interventi di efficienza energetica realizzati. Il sistema si configura come una soluzione per le imprese che intendono implementare funzioni 4.0 per una gestione organica e ottimizzata del processo produttivo, senza necessità di installare e implementare una grande quantità di misuratori e sistemi di controllo indipendenti e di difficile gestione. Il sistema punta a conciliare le esigenze produttive di elevata flessibilità con il risparmio energetico. Nel progetto sono state studiate e sviluppate diverse soluzioni hardware per la regolazione e la misura dei flussi di aria compressa e di acqua calda e fredda da integrare in impianti industriali e applicazioni software per erogare le funzioni

di analisi energetica e di controllo ottimale dell'impianto. Nel progetto sono state realizzate tre applicazioni pilota per sperimentare e dimostrare in contesti reali i benefici applicativi. La prima applicazione ha riguardato la gestione dell'aria compressa industriale per dimostrare la capacità del sistema di monitorare e regolare l'erogazione dell'aria compressa nei punti di prelievo e di riconoscere condizioni di perdite in tali punti per evitare sprechi. È stato sviluppato un misuratore di portata prototipo che ha rispettato le specifiche prestazionali attese ed è stata dimostrata la capacità del sistema di riconoscere le perdite e ridurre i consumi parassiti. Sono in corso ulteriori sviluppi per riconoscere anche portate e perdite molto limitate. In tale applicazione, sono stati integrati nell'EMS i dati di monitoraggio in tempo reale dell'impianto di aria compressa per quantificare l'entità delle perdite e identificare opportunità di efficientamento energetico.

La seconda applicazione ha riguardato un impianto industriale di trattamento galvanico che Cimberio ha realizzato ex novo nel corso del progetto secondo standard estremamente avanzati di efficienza energetica e di circolarità nella gestione dei fluidi e dei reflui. In tale contesto, è stato realizzato un sistema di gestione e controllo dell'acqua di termoregolazione dei bagni molto avanzato, che utilizza 20 valvole intelligenti Knolval prodotte dalla Cimberio. La sperimentazione ha dimostrato la capacità del sistema di erogare le funzioni di gestione energetica e di minimizzare i consumi.

La terza applicazione ha riguardato la gestione termica di forni a induzione magnetica delle industrie orafe, che utilizzano acqua per raffreddare gli stampi e regolare la temperatura di processo. La configurazione sperimentale ha previsto l'installazione di due valvole intelligenti Knolval e sono state sperimentate diverse strategie di risparmio energetico. La sperimentazione ha dimostrato la capacità del sistema di erogare le funzioni di gestione energetica e di minimizzare i consumi.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Tiziano Guidetti  
tguidetti@cimberio.it



Galvanica AGP vista di insieme



Galvanica AGP immagine Knolval

## Processi innovativi per una linea di produzione di celle solari TANDEM ad alta efficienza

---

**I**l Progetto TANDEM si propone di realizzare una innovativa linea di produzione per celle fotovoltaiche tandem in silicio e perovskite ad alta efficienza ( $> 29\%$ ) ed a costi più contenuti dello stato dell'arte attuale. Le innovazioni tecnologiche risiedono nella sostituzione delle attuali linee di contattatura elettrica, da screen printing o plating elettrochimico, con un più versatile sistema di contattatura localizzata basata su un sistema Liquido a Menisco Dinamico da una parte e, dall'altra, con la sostituzione delle apparecchiature per la deposizione di multistrati sottili, che attualmente impiegano deposizioni da fase vapore assistite da plasma (PECVD), con un nuovo sistema più flessibile basato sulla Evaporazione Termica Multi-sorgente Multi-camera. La linea prototipo realizza il concetto della TANDEM definito da un insieme di sistemi posti in sequenza ognuno dei quali effettua una singola operazione sul substrato di partenza: trattamento chimico o deposizione di film sottile. L'obiettivo del progetto è di realizzare una linea prototipo preindustriale di fabbricazione di celle solari tandem in cui due materiali assorbitori (perovskite e silicio), depositati in modo opportuno, concorrono su differenti porzioni dello spettro della radiazione solare andranno a sommarsi fra loro per rendere l'efficienza di conversione fotovoltaica della tandem maggiore di quella della cella realizzata a partire dal singolo materiale assorbitore.

In tal senso la realizzazione di una linea prototipo preindustriale flessibile permetterebbe di mettere a punto un processo di produzione che poi possa essere scalato facilmente e trasferito a livello industriale. Nel

progetto verranno introdotti elementi di innovazione rivolti ad ottimizzare i processi di fabbricazione delle celle fotovoltaiche riducendo al contempo l'impatto ambientale della manifattura. Il Progetto TANDEM prevede quindi la realizzazione di sistemi che eseguano singoli passi di processo e siano fra loro connessi meccanicamente in modo che i substrati, possano trasferirsi da un sistema al successivo rimanendo confinati in un ambiente controllato (alto vuoto) al fine di evitare contaminazioni che rappresentano l'elemento critico per ottenere efficienza alta stabilità nel tempo. Il sistema TANDEM consentirà di ridurre la carbon footprint fino al 70%. La proposta mira a realizzare un prototipo preindustriale di Evaporatore Termico Multisorgente per celle tandem su larga area ad alta efficienza.

Allo stato attuale il progetto sta procedendo parallelamente sulla parte relativa alla ricerca sperimentale dei materiali e della configurazione della cella e sulla parte relativa alla progettazione dei prototipi che compongono le sezioni della linea. La configurazione della cella tandem riguarda la selezione dei materiali che compongono gli strati della cella e l'ottimizzazione delle tecniche di deposizione che vengono poi sviluppate nel prototipo. La ricerca sulla perovskite, in particolare, ha come obiettivo trovare la metodologia migliore a livello di prestazioni e di applicabilità industriale, spaziando dalla deposizione per co-evaporazione (lenta ma più precisa) ad un approccio ibrido che prevede l'evaporazione dei precursori inorganici e il completamento del processo con processo wet.

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Sarvia Sergio  
sergio.sarvia@olivotto.it

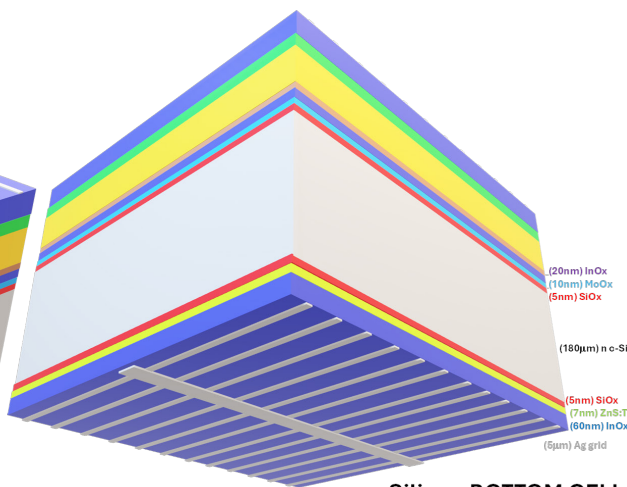
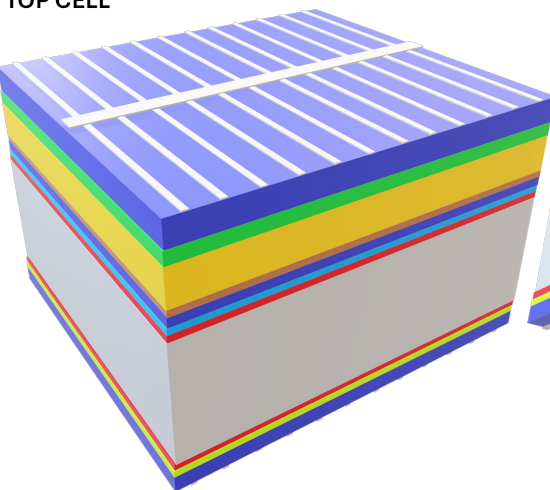


Per la parte industriale oltre allo sviluppo della tecnologia del Menisco Dinamico per etching, texturing e contattatura, è stata completata la progettazione della sezione modulare per la deposizione con evaporazione termica. La progettazione è di tipo modulare: ogni modulo gestisce un singolo processo di deposizione separatamente per evitare contaminazioni tra

materiali diversi. Ogni modulo, oltre allo stage di deposizione include il sistema di vuoto con pompa primaria e turbo molecolare, il sistema di refill delle sorgenti evaporative senza interruzione del processo, il sistema di trasporto e tutti i componenti di controllo e regolazione del processo (pressione, temperatura e flusso di evaporazione).

### Perovskite TOP CELL

Ag grid (5μm)  
ITO/AZO (120nm)  
PCBM (20nm)  
Perovskite (500nm)  
Meo 2PACz (10nm)  
InOx (20nm)



### Silicon BOTTOM CELL

Nell'immagine è riportato il layout della cella Tandem. Sulla sinistra si evidenziano layers e materiali della Top Cell di Perovskite, mentre sulla destra quelli della Bottom Cell in Silicio (HJT).

# ➤ StorInPlus: Energia intelligente per una rete più stabile - Innovazione al servizio della rete elettrica

Il Sistema Elettrico Nazionale sta attraversando una profonda trasformazione a causa dell'aumento della generazione distribuita da IAFR (Impianti Alimentati da Fonti Rinnovabili) e dalla progressiva dismissione del parco di generazione convenzionale rotante. Questo nuovo assetto richiederà, nel prossimo futuro, una gestione del sistema che impieghi nuove risorse per garantire adeguati livelli di sicurezza e stabilità. Tra queste risorse, i **Sistemi di Accumulo (SdA) elettrochimico rivestiranno un ruolo di primaria importanza**. Tali SdA possono raggiungere performance elevate in termini di rapidità di risposta e modulazione dell'immissione/prelievo di potenza in modo proporzionale alla variazione della frequenza di rete. In tale contesto, nell'ambito del progetto **ViStoFaRe**, è stato sviluppato lo **StorInPlus**, un convertitore da **100 kW** che integra funzionalità avanzate di supporto alla rete elettrica, migliorandone la stabilità e la resilienza. Grazie agli algoritmi di **Fast Reserve e Inerzia Virtuale**, StorInPlus contribuisce attivamente alla regolazione della frequenza di rete, reagendo rapidamente alle variazioni improvvise e fornendo un supporto dinamico e affidabile.

Funzionalità avanzate:

- Fast Reserve: risposta immediata alle variazioni di frequenza, secondo le specifiche Terna
- Inerzia Virtuale: supporto grid-following per la stabilizzazione della rete
- Peak Shaving & Load Levelling: ottimizzazione dei consumi e gestione dei carichi
- Time-shifting: utilizzo intelligente dell'energia immagazzinata

Piano Triennale: 2022-2024

Referente: Sarvia Sergio  
sergio.sarvia@olivotto.it

## Un ecosistema intelligente

Il progetto ViStoFare ha realizzato un **Dimostratore** costituito da tre unità **StorInPlus**, integrate in un ambiente di test remoto e gestite dalla piattaforma cloud ViSto.

Questa piattaforma permette il controllo aggregato dei sistemi di accumulo (**Virtual Storage**), ottimizzando l'erogazione dei servizi alla rete tramite protocolli affidabili come **Modbus e MQTT**.

## Il progetto ha coinvolto:

**SIEL**: sviluppo dello StorInPlus e del Dimostratore

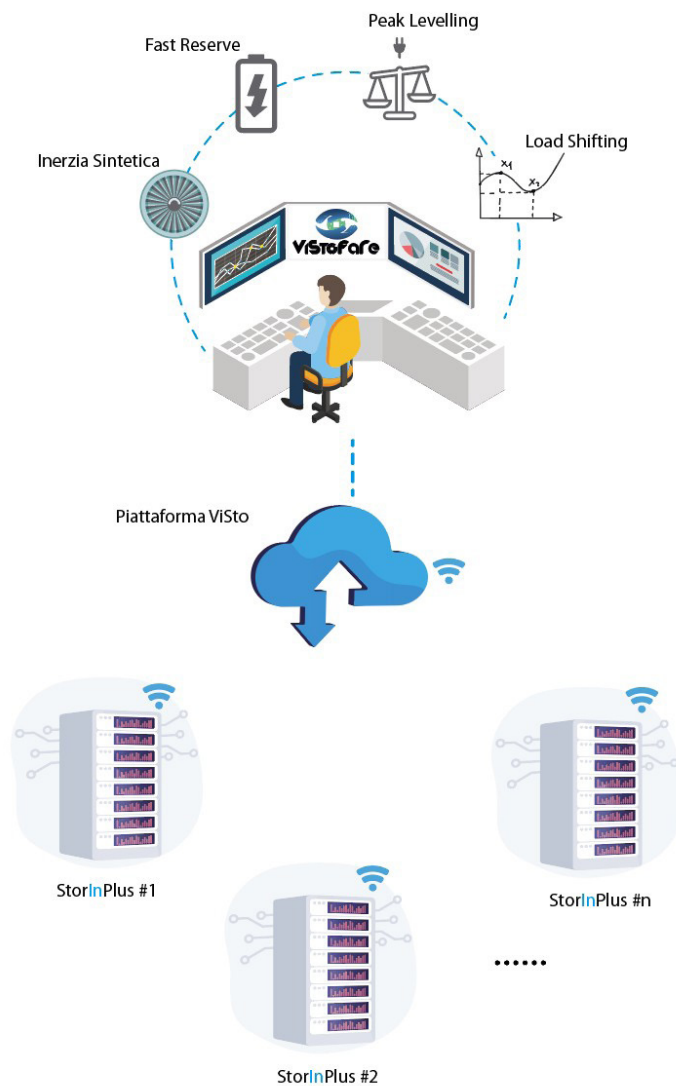
**UNICAL**: progettazione dei servizi di controllo distribuito basato su logiche multi-agente e sviluppo del prototipo trifase da 15 kW

**UNIGE**: sviluppo e validazione degli algoritmi di controllo avanzato per inerzia sintetica e Fast Reserve

**CretaES**: sviluppo della piattaforma cloud ViSto per la gestione aggregata dei Sistemi di Accumulo (SdA) come Virtual Storage e dei gateway di comunicazione

## Verso la rete del futuro

Lo **StorInPlus** e la piattaforma **ViSto** rappresentano una soluzione concreta per il futuro della **transizione energetica**, supportando le reti elettriche nella gestione intelligente delle energie rinnovabili e contribuendo a un sistema energetico più stabile, efficiente e sostenibile.








Pubblicazione a cura dell'Area Programmi di Ricerca  
della Cassa per i Servizi Energetici ed Ambientali.

I testi e le immagini per la descrizione dei singoli progetti  
sono stati forniti dagli Affidatari (RSE S.p.A., ENEA e CNR)  
e dagli Assegnatari dei progetti dei Bandi.



Eleonora Petrolati (Responsabile)  
Nicola Cannone  
Aurora Landi  
Alessandro Montagna  
Francesca Peschiaroli  
Eleonora De Crescenzo  
Sirio Moricocchi

Per maggiori informazioni:  
[ricercadisistema@csea.it](mailto:ricercadisistema@csea.it)  
[www.csea.it/ricerca-di-sistema](http://www.csea.it/ricerca-di-sistema)



A word cloud shaped like the map of Africa, composed of various terms related to renewable energy and sustainable development. The words are arranged in a way that they fit the geographical outline of the continent. The most prominent words, shown in larger, bolder fonts, include 'RICERCA', 'H2', 'SISTEMA', 'EFFICIENZA', 'ENERGIA', 'CO<sub>2</sub> kWh', 'GRID', 'RETE', 'SISTEMA', 'EFFICIENZA', 'ENERGIA', 'CO<sub>2</sub> kWh', 'RICERCA', 'H2', 'SISTEMA', 'EFFICIENZA', 'ENERGIA', 'CO<sub>2</sub> kWh'. Other words include 'AMBIENTE', 'IMPIANTO', 'SMART', 'UTENTE', 'CONSUMO', 'SVILUPPO', 'EOLICO', 'SOSTENIBILITA', 'ACCUMULO', 'RISPARMIO', 'IMPATTO', 'FOTOVOLTAICO', 'GENERAZIONE', and 'TECNOLOGIA'. The words are in various shades of gray, with some being significantly larger and bolder than others, indicating their relative importance or frequency in the context of the word cloud.

AMBIENTE  
IMPIANTO SMART  
UTENTE GRID  
CONSUMO SVILUPPO RETE  
**RICERCA** EOLICO  
H<sub>2</sub> **SISTEMA**  
SOSTENIBILITA  
ACCUMULO  
BIOMASSA **EFFICIENZA**  
RISPARMIO  
IMPATTO  
**ENERGIA**  
FOTOVOLTAICO  
GENERAZIONE  
TECNOLOGIA  
CO<sub>2</sub> kWh

