

**Stato di avanzamento lavori****Accordo di Programma tra il Ministero della Transizione Ecologica e ENEA****“Programma Mission Innovation”****ENEA****IEMAP – Piattaforma Italiana Accelerata per i Materiali per l’Energia****POA.02**

(Rif. Prot. ENEA/2023/56605/TERIN del 09/08/2023)

<b>Durata progetto (mesi) 42</b>	<b>42</b>
<b>Stato di avanzamento (SAL)</b>	<b>3</b>
<b>Periodo SAL</b>	<b>12/05/2023 – 11/05/2024</b>

<b>Contributo totale ammesso per il progetto</b>	<b>€ 8.542.559,99</b>
<b>Costo preventivato per il SAL</b>	<b>€ 212.129,98</b>
<b>Costo rendicontato per il SAL</b>	<b>€ 234.576,37</b>

<b>Co-beneficiari</b>
<b>ENEA</b> , Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
<b>IIT</b> , Istituto Italiano di Tecnologia
<b>RSE</b> , Ricerca sul Sistema Energetico
<b>CNR</b> , Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Ing. Giulia Monteleone**  
Delegato del Rappresentante Legale

## ABSTRACT

### Scheda: "Abstract generale dei risultati relativi al SAL in corso"

#### Abstract generale WP e LA da rendicontare (max 8.000 caratteri)

Il presente documento descrive le attività di ricerca del progetto "IEMAP – Italian Energy Materials Acceleration Platform" svolte e concluse nel corso del terzo SAL.

La terza annualità di progetto ha visto la conclusione di 3 linee di attività del WP2 "Materiali sostenibili per accumulo elettrochimico dell'energia":

- **LA2.6 - Validazione/qualificazione del processo automatizzabile sviluppato in LA2.4 mediante metodi rapidi di testing automatizzabili eseguiti sul liquido ionico ottenuto.** La LA2.6 ha proposto un processo automatizzabile, per la sintesi di liquidi ionici sviluppati nell'ambito della LA2.4, che è validato mediante un protocollo di test di qualificazione eseguiti sui liquidi ionici ottenuti. Il suddetto protocollo consente l'automatizzazione dell'intera filiera di validazione ed essere eseguito in tempi molto rapidi.
- **LA2.8 - Interazione del laboratorio/testing automatizzabile per la sintesi del liquido ionico con la piattaforma computazionale IEMAP.** La LA2.8 ha come obiettivo il trasferimento di informazioni/dati/parametri di processo, concernenti il protocollo automatizzabile di preparazione dei liquidi ionici sviluppati nella LA2.4 e ottenuti nell'ambito della LA2.6, alla piattaforma IEMAP con la quale si è operato in stretto feed-back.
- **LA2.11 - Recupero sostenibile di materiali da sistemi di accumulo elettrochimico a fine vita – Sviluppo del processo di recupero dei materiali.** È stato proposto un processo idrometallurgico per la valorizzazione di polvere catodica di batterie al litio finalizzato al recupero dei materiali. La qualità dei prodotti ottenuti, potenzialmente utilizzabili per sintetizzare nuovi materiali attivi, è stata verificata mediante caratterizzazione chimica.

Il dettaglio delle LA concluse nella terza annualità è riportato per ciascuna linea nel prosieguo del documento.

Durante la terza annualità sono proseguite le attività delle altre LA che avevano prorogato il loro termine al 31.12.2024. Tutte queste LA hanno concluso le attività previste e raggiunto con successo gli obiettivi tecnico-scientifici.

Nel contesto del **WP1**, ENEA ha sviluppato ulteriormente e completato la piattaforma IEMAP e un sistema avanzato per la gestione e conservazione dei dati di progetto. Questa piattaforma include funzionalità innovative per la raccolta e il riutilizzo dei dati permettendo una gestione efficiente e semplice delle informazioni. Parallelamente, IIT ha creato piattaforme computazionali mirate al design di materiali semiconduttori e molecole leganti per quantum dots. Queste piattaforme, in particolare, consentono di:

1. Interagire con database di materiali, conservare dati sperimentali e computazionali, e utilizzare tali informazioni per addestrare algoritmi di machine learning.
2. Selezionare molecole promettenti da database chimici pubblici per migliorare la passivazione superficiale dei quantum dots.

Per supportare gli esperimenti sui nanomateriali, sono state eseguite simulazioni atomistiche. Sul fronte sperimentale, sono stati realizzati rivestimenti di diversi materiali (ZnSe, InP, e combinazioni con ZnS e Zn(Se,S)) su nanocristalli di InAs. Queste modifiche migliorano le proprietà ottiche dei nanocristalli, rendendoli adatti a dispositivi ad alta efficienza.

Nel **WP2** sono concluse le attività ENEA di sviluppo di una piattaforma prototipale per automatizzare la sintesi di materiali destinati a catodi per batterie a base di litio e sodio. Questa piattaforma include: la validazione della sintesi automatizzata, la progettazione di sistemi di caratterizzazione, l'integrazione del laboratorio automatizzato con strumenti computazionali per accelerare la ricerca sui materiali avanzati

per l'accumulo elettrochimico. Inoltre, nella LA2.9 si è lavorato sull'integrazione tra il laboratorio per la preparazione di materiali anodici e la piattaforma computazionale IEMAP. Le proprietà morfologiche, composizionali e microstrutturali delle polveri a base silicio, ottenute dai pannelli fotovoltaici dismessi nella LA2.5 e caratterizzate nella LA2.6, sono state utilizzate come input per la piattaforma IEMAP, in connessione con il WP1. Contestualmente, sono state apportate migliorie al processo di produzione di queste polveri per ottimizzarne le prestazioni come materiale anodico. L'attività di disseminazione dei risultati è stata intensificata. Infine, nella LA2.15, sono stati realizzati set di metadati e sviluppato una procedura per compilare i metadati da inserire nella piattaforma IEMAP. Questi riguardano una metodologia automatizzabile per la formulazione di inchiostri destinati alla produzione di catodi per batterie al litio tramite stampa rotocalco, metodologia già individuata e validata nelle LA 2.13 e LA2.14.

Nel **WP3**, il CNR nella linea LA3.6 ha raggiunto i target di progetto relativi ai test di durata in modalità galvanostatica a  $2 \text{ A cm}^{-2}$  utilizzando MEA con un basso carico di metalli nobili. In particolare, è stata ottenuta una velocità di degradazione inferiore o uguale a  $20 \mu\text{V/h}$  in cella singola a  $80^\circ\text{C}$ , durante un test di 600 ore su MEA contenenti  $0,2 \text{ mgPt} \cdot \text{cm}^{-2}$ .

Nella linea LA3.9 è stato realizzato un prototipo di stack circolare composto da tre celle con un'area attiva di  $75 \text{ cm}^2$ , progettato per la validazione dei componenti attivi sviluppati nel progetto nelle LA precedenti. Nella LA3.10 la sintesi di materiali perovskitici modificati del tipo  $\text{La}(\text{Sr})\text{Fe}(\text{Co})\text{MO}_{3-\delta}$  ( $\text{M} = \text{Mn, Cu, Ni, Pd}$ ) ha l'obiettivo di migliorare la conducibilità ionica ed elettronica e aumentare la densità di vacanze di ossigeno, favorendo l'attivazione della  $\text{CO}_2$  e la sua riduzione elettrocatalitica. La porosità del materiale catodico è stata ottimizzata attraverso l'impiego di agenti templanti e differenti metodi di sintesi, al fine di migliorare l'assorbimento e la diffusione dei gas di reazione.

Nella linea LA3.13, si è completata la messa a punto della tecnica di ultrafast high temperature sintering (UHS) per la sinterizzazione veloce (poche decine di secondi) dell'elettrolita ceramico a conduzione protonica già scelto. Quindi, preparazione e caratterizzazione funzionale di tutti i materiali elettrodi sviluppati nella LA3.12 per identificare i materiali a conduzione migliore rispetto allo stato dell'arte. Sono quindi stati prodotti e caratterizzati vari materiali a base di titanato di lantanio ( $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ , LTO) drogati con vari elementi (Gd, Ba, Sr, Ca, Y).

Nel **WP4**, nel fotovoltaico, ENEA ha sviluppato diverse tipologie di celle solari planari, incluse quelle semitrasparenti, confrontando tecniche di fabbricazione in soluzione e in vuoto per valutarne efficienza e ripetibilità. Inoltre, ha portato avanti attività innovative per il riciclo dei materiali da pannelli fotovoltaici in silicio cristallino, ottimizzando processi e parametri impiantistici (LA4.5, LA4.6). Sul prototipo PROTEO sono stati condotti test preliminari per perfezionare l'impianto, inclusi esperimenti di delaminazione per il recupero dei singoli strati. Le attività sperimentali hanno inoltre mirato a sviluppare un metodo sostenibile per il recupero dei materiali, con particolare attenzione alla rimozione del backsheet.

Il CNR nelle attività della linea LA4.12 si è concentrato sulla realizzazione e il test di dispositivi integrati a due terminali basati su fotoelettrodi ricaricabili. Questi dispositivi utilizzano materiali innovativi come il  $\text{TiO}_2$  decorato tramite stampa inkjet e sensibilizzato con coloranti specifici, sia sviluppati internamente sia commerciali. Come elemento di accumulo, è stato impiegato il PEDOT, depositato elettrochimicamente. Parallelamente, sono stati sperimentati dispositivi basati su  $\text{WO}_3$  decorato tramite inkjet, combinato con elettrodi di supporto, come PEDOT-MIP (con acido ossalico) e ossido di grafene ridotto, anch'esso depositato elettrochimicamente. Gli elettroliti testati includono sistemi acquosi e gel a base di PEO.

I dispositivi sono stati sottoposti a caratterizzazioni elettrochimiche avanzate, tra cui EIS, per studiare le proprietà delle interfacce, e curve galvanostatiche di carica/scarica, testate a diverse intensità di corrente e condizioni di illuminazione. Per valutarne la stabilità, i dispositivi sono stati sottoposti a cicli di carica/scarica prolungati sotto simulatore solare.

In parallelo, sono stati sviluppati materiali attivi e additivi sostenibili a base carboniosa per celle solari perovskitiche, progettati per migliorare le prestazioni e la stabilità dei dispositivi. Sono stati inoltre

condotti studi spettroelettrochimici per analizzare gli spettri di assorbimento delle specie ossidate, registrando spettri UV-vis-NIR (200-1600 nm) per sei diversi coloranti a potenziali di ossidazione variabili.

RSE, nel WP4, ha definito flussi di processo per la realizzazione di un prototipo di dispositivo fotovoltaico basato su InGaP/Si, in linea con le specifiche della LA4.9. Il dispositivo è stato prodotto per essere caratterizzato elettricamente in condizioni outdoor e, in parallelo, sono state completate le analisi LCA (Life Cycle Assessment) e LCC (Life Cycle Costing), come previsto nel piano operativo.

Il CNR nella LA4.15, ha condotto test sui dispositivi delle LA precedenti per verificarne la compatibilità elettrica. Questi test hanno riguardato grandezze fondamentali come tensione e corrente, valutate in funzione della capacità del sistema di accumulo e della tensione di carica. Infine, nell'ambito della LA4.18, è stata completata la caratterizzazione di dispositivi integrati fotovoltaico-accumulo, forniti dai partner di progetto. In particolare, sono stati testati i dispositivi DSSC (celle solari a colorante sensibilizzato) accoppiati con supercapacitori sviluppati dal CNR-ISSMC di Faenza.

Infine, le attività di disseminazione hanno incluso numerosi articoli scientifici, un corso di formazione online in cui vengono mostrate tutte le nuove tecnologie sviluppate IEMAP e presentati i laboratori che costituiscono la piattaforma ([www.youtube.com/playlist?list=PL79odTR-5I2\\_vvCtsckYtobbQTKLHUuK](http://www.youtube.com/playlist?list=PL79odTR-5I2_vvCtsckYtobbQTKLHUuK)). Un evento finale di progetto a dicembre 2024 ha concluso le attività coinvolgendo la comunità scientifica e i media, e gettando le basi per ulteriori sviluppi post-progetto.

## DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ E DEI RISULTATI RAGGIUNTI

LA 2.6 - Validazione processo automatizzabile per liquidi ionici mediante metodi rapidi automatizzabili			
Responsabile LA: Giovanni Appetecchi (ENEA)			
Costo diretto a preventivo	€ 33.550,00	Costo diretto rendicontato	€ 45.803,91
Mese inizio	13	Mese fine	36
Risultati attesi nel POA			
La linea di attività LA2.6 ha previsto la messa a punto di un protocollo di testing, rapido e automatizzabile, con l'obiettivo di validare i liquidi ionici sintetizzati in LA2.4 mediante processo innovativo <i>one-pot</i> . Il suddetto protocollo è costituito da differenti tecniche di indagine di natura chimico-fisica. Nel corso della 1 <sup>a</sup> annualità, la conducibilità ionica specifica, la densità e il tenore di umidità sono state valutate e comparate con quelle di analoghi liquidi ionici disponibili in commercio. Nel corso della 2 <sup>a</sup> annualità (terminata al SAL3) sono state investigate, valutate e comparate (con analoghi liquidi ionici commerciali) le proprietà termiche (calorimetria a scansione differenziale) e spettroscopiche (spettroscopia infrarosso) dei liquidi ionici sintetizzati. Sono stati investigati differenti tipologie di liquidi ionici al fine di validare la flessibilità del processo <i>one-pot</i> : PYR <sub>14</sub> TFSI (materiale di riferimento), EMITFSI, EMIFSI e N <sub>1114</sub> FSI.			
Risultati ottenuti			
I risultati ottenuti hanno mostrato che i liquidi ionici sintetizzati mediante processo <i>one-pot</i> esibiscono proprietà strutturali e termiche analoghe a quelle riscontrati sugli stessi materiali commerciali, suggerendo elevata flessibilità e versatilità del processo di sintesi <i>one-pot</i> . Il protocollo di testing ha mostrato come i			

materiali preparati possano essere rapidamente qualificati e comparati con gli analoghi materiali commerciali, anche al fine di fornire un veloce feedback per ulteriori ottimizzazioni del processo di sintesi.
<b>Giustificazione scostamenti nei risultati e/o nei costi</b>
<p>Lo scostamento nel costo totale è dovuto principalmente alle seguenti ragioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ammortamento (€ 8031,84) per acquisto attrezzature (calorimetro a scansione differenziale). Tale acquisto era stato preventivato entro il SAL2. Tuttavia, a motivo di numerosi problemi dovuti a funzionamento inizialmente non corretto dello strumento, la fattura è stata inviata nel SAL3 (dopo positivo collaudo finale dello strumento);</li> <li>- acquisto (€ 5645,18) prodotti chimici per sintesi liquidi ionici. I prodotti sono effettivamente arrivati nel SAL2 (entro cui era stato preventivato il suddetto acquisto) ma la relativa fattura non includeva IVA. Pertanto, è stata nuovamente inviata ma è arrivata nel SAL3;</li> <li>- partecipazione (€ 1729,89) alla conferenza GEI2023, interamente focalizzata su materiali per dispositivi elettrochimici. La partecipazione a tale congresso è stata ritenuta importante per la linea LA2.6 riguardante liquidi ionici per batterie al litio e sodio.</li> </ul>
<b>Benefici e prospettive di applicazione per il sistema energetico nazionale</b>
Lo sviluppo di componenti elettrolitici innovativi, quali i liquidi ionici, consente la realizzazione di sistemi di accumulo in grado di combinare elevato livello di sicurezza/affidabilità con ricadute vantaggiose per le applicazioni finali (mobilità sostenibile, accumulo da fonti rinnovabili, elettronica di consumo). Inoltre, permette una penetrazione ancora maggiore della tecnologia litio-ione sul mercato. La possibilità di sintetizzare liquidi ionici mediante procedure innovative, eco-compatibili, meno energivore e automatizzabili permetterà la riduzione sia dei costi che dell'impatto ambientale del dispositivo finale.
<b>Complementarità e/o Integrazione con eventuali attività RdS o di altri finanziamenti</b>
Non ci sono complementarità e/o integrazioni con altre attività RdS o di altri finanziamenti.
<b>Grado di innovazione (argomentare in modo dettagliato il livello di innovazione rispetto alla baseline (letteratura))</b>
<p>Nel corso della LA2.6 è stata ideata e messa a punto una procedura di testing riguardo i liquidi ionici sintetizzati mediante il processo sviluppato nella LA2.4. La suddetta procedura, collocata a valle del processo di sintesi e suscettibile di automazione (i vari test sono eseguiti in serie e/o parallelo), consente di qualificare rapidamente i materiali preparati (nella filiera posta a monte) e validare il processo di sintesi. Inoltre, mediante un continuo feedback con le caratteristiche (contenute in un database) di analoghi materiali, è anche possibile intervenire rapidamente sul processo (in caso di scostamento rispetto le caratteristiche previste) e apportare correzioni/ottimizzazioni.</p> <p>L'integrazione dei sistemi processo-testing consentirebbe, in tempi più rapidi rispetto allo stato dell'arte, sia di preparare i liquidi ionici che avere uno screening esauriente delle proprietà dei materiali. Questo potrebbe ridurre notevolmente, rispetto allo stato dell'arte, i tempi di investigazione riguardo tali materiali e, pertanto, il loro impiego in dispositivi reali.</p>
<b>Attività di divulgazione effettuate</b>
<p>A) G. Maresca, M. Ottaviani, K.M. Ryan, S. Brutti, G.B. Appetecchi, Improved compatibility of <math>\alpha</math>-NaMnO<sub>2</sub> cathodes in ionic liquid electrolytes. 3<sup>rd</sup> Italian Workshop on Energy Storage (IWES 2024), Rome (Italy), February 7-9, 2024.</p> <p>B) E. De Santis, M. Mastrandrea, V. Lombardi, L. Silvestri, G. Maresca, M. Navarra, A. Rinaldi, R. Araneo, G.B. Appetecchi, Performance of LRNM cathodes in ionic liquid electrolytes. 3<sup>rd</sup> Italian Workshop on Energy Storage (IWES 2024), Rome (Italy), February 7-9, 2024. 178).</p>
<b>ALLEGATI (allegare almeno un report per l'attività svolta)</b>
D2.7 - Rapporto tecnico: "Validazione del processo automatizzabile per la sintesi di liquidi ionici mediante testing rapido automatizzabile, rapporto intermedio" [M24]

D2.8 - Rapporto tecnico finale: "Validazione del processo automatizzabile per la sintesi di liquidi ionici mediante testing rapido automatizzabile" [M36].

<b>LA 2.8 – Interazione laboratorio/testing automatizzabile per sintesi liquido ionico con piattaforma computazionale</b>			
<b>Responsabile LA: Giovanni Appetecchi (ENEA)</b>			
<b>Costo diretto a preventivo</b>	€ 16.500,00	<b>Costo diretto rendicontato</b>	€ 11.953,50
<b>Mese inizio</b>	25	<b>Mese fine</b>	36
<b>Risultati attesi nel POA</b>			
Le informazioni/dati di processo, relativi sia al protocollo automatizzabile di sintesi sviluppato nella LA2.4 che il testing eseguito nell'ambito della LA2.6, saranno continuamente forniti alla piattaforma IEMAP. Inoltre, test sperimentali di screening saranno eseguiti al fine di mappare il processo; i risultati ottenuti saranno impiegati come parametri di processo, i quali saranno forniti alla piattaforma IEMAP. La linea di attività LA2.8 riceverà continue informazioni/dati da LA2.4 e LA2.6, operando con esse in stretto feed-back.			
<b>Risultati ottenuti</b>			
Tutte i dati/parametri operativi/risultati sperimentali (relativi sia al processo di sintesi che il protocollo di testing) sono stati riversati sulla piattaforma IEMAP. L'obiettivo è quello di creare un database (relativo sia a parametri/condizioni operative di processo che caratteristiche di natura chimico-fisica ed elettrochimica) dei liquidi ionici per batterie al litio e sodio. La linea di attività LA2.8 ha operato in continuo e stretto feed-back con LA2.6 (a sua volta, strettamente connessa con LA2.4) al fine di una compilazione ottimale del database.			
<b>Giustificazione scostamenti nei risultati e/o nei costi</b>			
Il minore impegno di personale nella LA2.8 è dovuto al minore numero di ore rispetto a quelle stimate grazie ad un più efficiente sistema, per raccogliere, catalogare e importare i dati, rispetto a quello ipotizzato in sede di preventivo. I risultati appena ottenuti vengono subito elaborati (mentre le altre misure erano in corso) consentendo di abbreviare i tempi necessari per l'elaborazione e il caricamento dei dati ottenuti.			
<b>Benefici e prospettive di applicazione per il sistema energetico nazionale</b>			
La piattaforma computazionale IEMAP consente di creare un database riguardo materiali elettrolitici di frontiera indispensabili per la realizzazione di batterie al litio e sodio aventi elevate prestazioni combinate con elevata sicurezza/affidabilità.			
<b>Complementarità e/o Integrazione con eventuali attività RdS o di altri finanziamenti</b>			
Non ci sono complementarità e/o integrazioni con altre attività RdS o di altri finanziamenti.			
<b>Grado di innovazione (argomentare in modo dettagliato il livello di innovazione rispetto alla baseline (letteratura))</b>			
Il grado di innovazione è rappresentato dalla piattaforma computazionale IEMAP, contenente sia i parametri di processo che le caratteristiche dei liquidi ionici sintetizzati mediante procedura innovativa, sostenibile e automatizzabile. Un analogo database non è a tuttora disponibile.			
<b>Attività di divulgazione effettuate</b>			
Nessuna attività divulgativa effettuata.			
<b>ALLEGATI (allegare almeno un report per l'attività svolta)</b>			

D2.10 - Rapporto tecnico "Interazione/integrazione laboratorio/testing automatizzabile con la piattaforma computazionale" [M36].

#### LA 2.11 – Sviluppo del processo di recupero dei materiali

**Responsabile LA: Danilo Fontana (ENEA)**

<b>Costo diretto a preventivo</b>	113.126,90 €	<b>Costo diretto rendicontato</b>	€ 122.685,95
<b>Mese inizio</b>	19	<b>Mese fine</b>	31

#### Risultati attesi nel POA

La linea di attività prevede lo sviluppo di un processo di recupero materiali del materiale catodico sintetico utilizzato generalmente nella produzione di sistemi di accumulo di energia. Il processo, di tipo prevalentemente idrometallurgico, verrà sviluppato secondo un approccio "prodotto-centrico", ossia finalizzato al recupero del maggior numero di materiali secondo i principi dell'economia circolare. La qualità dei prodotti ottenuti, potenzialmente utilizzabili per sintetizzare nuovi materiali attivi, sarà dimostrata mediante caratterizzazione chimica.

Verrà eseguita:

- Analisi comparativa dei processi di lisciviazione e separazione/purificazione degli elementi target.
- Definizione del processo di recupero al variare di parametri operativi quali ad esempio la concentrazione dei reagenti di lisciviazione ed estrazione.
- Caratterizzazione degli output del processo di recupero per la verifica dei bilanci di materia e della purezza

#### Risultati ottenuti

La linea di attività è iniziata a M19, conseguentemente al ritardo della LA2.10 alla quale è strettamente connessa perché incentrata sulla definizione del protocollo analitico delle specie chimiche oggetto del processo di recupero da sviluppare.

Sono state studiate le due matrici maggiormente utilizzate per la produzione di catodi dei sistemi di accumulo al litio: una polvere commerciale di litio ferro fosfato (LFP) ed una polvere sintetica a base di ossidi di nichel, manganese e cobalto (NMC).

I processi di recupero sviluppati sono stati di tipo idrometallurgico con l'obiettivo di recuperare la maggior quantità possibile di materiali. Un processo idrometallurgico prevede la dissoluzione chimica delle matrici (A) e la successiva separazione e purificazione degli elementi di interesse (B):

##### *(A) Dissoluzione della matrice*

Sono state studiate le migliori condizioni di dissoluzione delle matrici variando i vari parametri chimici e chimico-fisici quali ad esempio la natura del lisciviante, la relativa concentrazione, il rapporto solido/liquido e la temperatura operativa.

##### *(B) Separazione e purificazione*

In relazione ai risultati conseguiti nella fase precedente, sono state studiate in scala laboratorio le tecniche di separazione e purificazione più opportune, le relative condizioni operative e la valutazione della loro efficacia. Al termine di ogni processo di separazione e/o purificazione delle specie chimiche di interesse e dei materiali, è stata effettuata la caratterizzazione del prodotto ottenuto al fine di individuarne le caratteristiche e la purezza.

Al termine di questo percorso, sono stati ipotizzati due processi specifici per le due tipologie di matrici.
<b>Giustificazione scostamenti nei risultati e/o nei costi</b>
Non sono stati osservati scostamenti nei risultati e/o nei costi.
<b>Benefici e prospettive di applicazione per il sistema energetico nazionale</b>
<p>Con riferimento alle attività di recupero dei materiali dai sistemi di accumulo a fine vita sviluppate nelle LA 2.10, LA 2.11 (e LA 2.12 in corso), è da evidenziare il loro notevole impatto sull'industria di riferimento in termini di soluzioni atte ad incrementare la disponibilità dei materiali critici e/o strategici quali ad esempio litio e fosforo per mitigare la dipendenza da approvvigionamenti extra-UE o dal rischio di esaurimento dei giacimenti produttivi. Il litio, ad esempio, è un materiale definito "critico" a livello europeo, a causa dell'elevata importanza economica nonché dell'elevato rischio di approvvigionamento (EU, 2023). Visto il suo utilizzo nelle tecnologie strategiche alla base delle transizioni verde e digitale, esso è stato inoltre incluso nel gruppo dei materiali cosiddetti "strategici". Il suo recupero da fonti secondarie è, dunque, di primaria importanza.</p> <p>Visto il considerevole interesse verso la chimica di tipo LFP da parte dei maggiori players internazionali ed i conseguenti considerevoli volumi del fine vita che sono previsti per i prossimi anni, è di fondamentale importanza per il sistema Paese avere tecnologie di valorizzazione disponibili e facilmente implementabili su scala più importante.</p>
<b>Complementarità e/o Integrazione con eventuali attività RdS o di altri finanziamenti</b>
Non ci sono complementarità e/o integrazioni con altre attività RdS o di altri finanziamenti.
<b>Grado di innovazione</b>
<p>Gli studi effettuati hanno portato alla definizione di processi chimici per il recupero dei materiali partendo da materiali catodici generalmente utilizzati nella produzione di LIBs: allo stato attuale c'è un grande interesse della comunità scientifica nel proporre soluzioni al problema del trattamento dei sistemi di accumulo a fine vita; quasi quotidianamente si può riscontrare la pubblicazione di articoli scientifici relativi a questa tematica.</p> <p>L'innovazione risiede nello sviluppo di processi in grado di valorizzare un elevato numero di componenti presenti nel rifiuto (oltre al litio, anche il fosforo viene valorizzato nel caso dei catodi di tipo LFP), così come nella selezione di agenti liscivianti a ridotto impatto ambientale e totalmente riutilizzabili in testa al processo (è il caso, ad esempio, dell'acido acetico nel caso dei catodi NMC), consentendo dunque una riduzione dei consumi e dei reflui prodotti.</p> <p>I processi ipotizzati, fondati sulla selezione di opportune operazioni unitarie, non hanno avuto il solo scopo accademico di dimostrarne la fattibilità chimica, ma, sulla base delle competenze acquisite dal gruppo di ricerca nel corso del tempo su impianti pilota, sono stati progettati contemplando le potenziali problematiche che avrebbero potuto manifestarsi in sede di applicazione in scala industriale.</p>
<b>Attività di divulgazione effettuate</b>
<p>SARDINIA 2023 – 19th International Symposium on Waste Management and Sustainable Landfilling. 9-13 October 2023 FORTE VILLAGE RESORT / CAGLIARI / ITALY</p> <p>PRESENTAZIONE ORALE (con esposizione POSTER): MATERIALS RECOVERY FROM END-OF-LIFE ELECTROCHEMICAL STORAGE SYSTEMS: PRELIMINARY RESULTS FROM THE IEMAP PROJECT. D. Fontana. Sardinia 2023. Cagliari, 12 ottobre 2023. Sessione 09. Proceedings (ISSN: 2282-0027 - ISBN: 9788862650335)</p> <p>NANOINNOVATION 2023. Roma, 21 settembre 2023.</p>



PRESENTAZIONE ORALE: Materials recovery from end-of-life lithium-ion batteries: results and perspectives. F. Forte.

E-MOB 2023. Sessione: LA PIATTAFORMA ITALIANA PER L'ECONOMIA CIRCOLARE (ICESP): ATTIVITÀ, PROGETTI E BUONE PRATICHE PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE. Milano, 20 ottobre 2023.

PRESENTAZIONE ORALE: Recupero di materiali da sistemi di accumulo a fine vita: il progetto IEMAP.

**ALLEGATI (allegare almeno un report per l'attività svolta)**

D2.13 - Rapporto tecnico: "Sviluppo di un processo di recupero materiali da sistemi di accumulo elettrochimico a fine vita"

**Allegato: SCHEDE ECONOMICHE DI RENDICONTO**

SAL	RP3
Progetto	P3 - IEMAP

Etichette di riga	Somma di A Personale A	Somma di B Attrezzature A	Somma di E Infrastrutture A	Somma di C Esercizio A	Somma di D Consulenze A	Somma di Costi Diretti	Somma di F Costi Indiretti A	Somma di Totale A
1 - ENEA	126.732,50	29.303,59	0,00	24.407,27	0,00	180.443,36	54.133,01	234.576,37
Costi Diretti	126.732,50	29.303,59	0,00	24.407,27	0,00	180.443,36	0,00	180.443,36
LA2.11	84.382,00	21.271,75	0,00	17.032,20	0,00	122.685,95	0,00	122.685,95
LA2.6	30.397,00	8.031,84	0,00	7.375,07	0,00	45.803,91	0,00	45.803,91
LA2.8	11.953,50	0,00	0,00	0,00	0,00	11.953,50	0,00	11.953,50
Costi Indiretti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54.133,01	54.133,01
<b>Totale complessivo</b>	<b>126.732,50</b>	<b>29.303,59</b>	<b>0,00</b>	<b>24.407,27</b>	<b>0,00</b>	<b>180.443,36</b>	<b>54.133,01</b>	<b>234.576,37</b>

ENEA/TERIN-STP

[https://eneait.sharepoint.com/sites/TERIN-STG/Documenti condivisi/Area STP/1\\_Contratti Co-Finanziati/02\\_In Corso/MISSION INNOVATION\\_MI\\_2021/22 Gestione Tecnico Economica/01.2 Contabilità di Progetto/MI2124\\_PA\\_Master\\_4.9.xlsx](https://eneait.sharepoint.com/sites/TERIN-STG/Documenti%20condivisi/Area%20STP/1_Contratti%20Co-Finanziati/02_In%20Corso/MISSION%20INNOVATION_MI_2021/22%20Gestione%20Tecnico%20Economica/01.2%20Contabilit%C3%A0%20di%20Progetto/MI2124_PA_Master_4.9.xlsx)

R Avanzamenti

Progetto	P3 - IEMAP
Report Finanziario di Chiusura	RP3

Partner	LA	Descrizione Categoria Costo	Nominativo	Tipo Rendicontazione	Profilo Professionale	Profilo Risorsa Costi Standard	Monte Ore	Costo Annuo	Costo Orario Applicato	Ore lavorative dedicate per LA	Somma di Costo Imputato
1 - ENEA	LA2.11	A.1 Personale dipendente	FONTANA DANILO	Costo Standard	Primo Ricercatore / Tecnologo L2	Alto	(vuoto)	(vuoto)	55,00	339,0	18.645,00
			FORTE FEDERICA	Costo Standard	Ricercatore / Tecnologo L3	Medio	(vuoto)	(vuoto)	33,00	419,0	13.827,00
			PIERGROSSI VALENTINA	Costo Standard	Ricercatore / Tecnologo L3	Medio	(vuoto)	(vuoto)	33,00	300,0	9.900,00
			PIETRANTONIO MASSIMILIANA	Costo Standard	Ricercatore / Tecnologo L3	Medio	(vuoto)	(vuoto)	33,00	419,0	13.827,00
			PUCCIARMATI STEFANO	Costo Standard	Ricercatore / Tecnologo L3	Basso	(vuoto)	(vuoto)	29	602,0	17.458,00
			TAMMARO MARCO	Costo Standard	Ricercatore / Tecnologo L3	Medio	(vuoto)	(vuoto)	33	75,0	2.475,00
	LA2.11 Totale				Ricercatore / Tecnologo L2	Alto	(vuoto)	(vuoto)	55	150,0	8.250,00
	LA2.6	A.1 Personale dipendente	APPETECCHI GIOVANNI BATTISTA	Costo Standard	Ricercatore / Tecnologo L3	Medio	(vuoto)	(vuoto)	33,00	209,0	6.897,00
			GIULIANI CHIARA	Costo Standard	Ricercatore / Tecnologo L3	Medio	(vuoto)	(vuoto)	33,00	150,0	4.950,00
			SIMONETTI ELISABETTA	Costo Standard	Primo Ricercatore / Tecnologo L2	Alto	(vuoto)	(vuoto)	55,00	100,0	5.500,00
		A.2 Personale non dipendente	FAVA ALESSANDRA	Costo Standard	Assegno di Ricerca	Basso	(vuoto)	(vuoto)	29	450,0	13.050,00
	LA2.6 Totale									909,0	30.397,00
	LA2.8	A.1 Personale dipendente	APPETECCHI GIOVANNI BATTISTA	Costo Standard	Ricercatore / Tecnologo L3	Medio	(vuoto)	(vuoto)	33	34,0	1.122,00
		A.2 Personale non dipendente	FAVA ALESSANDRA	Costo Standard	Assegno di Ricerca	Basso	(vuoto)	(vuoto)	29	373,5	10.831,50
	LA2.8 Totale										407,5
1 - ENEA Totale										3620,5	126.732,50
Totale complessivo										3620,5	126.732,50

Report Finanziario di Chiusura	RP3
Progetto	P3 - IEMAP

Partner	LA	Descrizione Categoria Costo	Nr. Inventario	Descrizione	Ragione Sociale Fornitore	Ordine / Impegno di Spesa	Fatture	Pagamenti	Uso Vincolato	Data Inizio Ammortamento	Utilizzo in LA	Ammortamento	Giorni di Utilizzo	Costo di Acquisto	Somma di Costo Imputato
1 - ENEA	LA2.11	B.1 Acquisto strumenti e attrezzature	56957	Spettrofotometro MPAES per attività sperimentale	AGILENT TECHNOLOGIES ITALIA S.P.A.	4530 - 2022	199270520/3780 89/P1 del 24/10/22	Mandato 2023000482 del 27/01/23	NO	24/10/22	100,00%	20,00%	395,0	62.672,32	13.564,69
			56955	Spettrofotometro FTIR per attività sperimentale	SHIMADZU ITALIA S.R.L.	4795 - 2022	3250003307 del 29/11/22	Mandato 2023000832 del 07/02/23	NO	29/11/22	100,00%	20,00%	378,0	37.210,00	7.707,06
	LA2.11 Totale													99.882,32	21.271,75
	LA2.6	B.1 Acquisto strumenti e attrezzature	da acquisire	Acquisto di un calorimetro a scansione differenziale, ad azoto liquido, per misure termiche du liquidi ionici	PERKINELMER SCIENTIFICA ITALIA SRL	2022 - 7062	7223212378 del 21/11/2023	2023013297 del 11/12/2023	NO	21/11/23	100,00%	20,00%	173,0	84.729,00	8.031,84
	LA2.6 Totale													84.729,00	8.031,84
1 - ENEA Totale														184.611,32	29.303,59
Totale complessivo														184.611,32	29.303,59

Report Finanziario di Chiusura	RP3											
Progetto	P3 - IEMAP											
Partner	LA	Descrizione Categoria Costo	Ordine / Impegno di Spesa	Fatture	Pagamenti	Descrizione	Ragione Sociale Fornitore	Prelievo Magazzino / Nuovo di Fabbrica	Unità Misura	Q.tà	Costo Unitario	Somma di Costo Imputato
1 - ENEA	LA2.11	C.1 Materiali, servizi e forniture	2023 - 2428	P-22 del 27/06/2023	2023010279 del 23/10/2023	Acquisto materiale di consumo per attività sperimentale	MVMEDICAL SRL	(vuoto)	(vuoto)	(vuoto)	(vuoto)	14.130,31
	LA2.11 Totale											14.130,31
	LA2.6	C.1 Materiali, servizi e forniture	2023 - 1434	8230658951 del 18/09/2023	2023009948 del 09/10/2023	Reagenti chimici per sintesi di liquidi ionici per batterie al litio	MERCK LIFE SCIENCE S.R.L.	(vuoto)	(vuoto)	(vuoto)	(vuoto)	5.645,18
	LA2.6 Totale											5.645,18
1 - ENEA Totale												19.775,49
Totale complessivo												19.775,49

Progetto	P3 - IEMAP
Report Finanziario di Chiusura	RP3

Partner	LA	Nr. Documento	Nominativo	Descrizione	Luogo	Data Inizio	Data Fine	Pagamenti	Somma di Costo Imputato	
1 - ENEA	LA2.11	2023 - 30142	FONTANA DANILO	IL RICICLO DELLE BATTERIE AL LITIO - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA- INCONTRI PER TECNOLOGIE RECUPERO MATERIALI DA BATTERIE PROGETTO IEMAP WP2. La missione ha avuto lo scopo di partecipare ai lavori ed incontrare vari stakeholders del settore batterie (accademia e industria) in un evento specifico organizzato da università di Brescia, informandoli delle attività relative a IEMAP.	BRESCIA UNIVERSITÀ DEGLI STUDI C/O CSMT	29/03/23	31/03/23	Cedolino del 02-05-23	484,54	
		2023 - 30246	FONTANA DANILO	INNOVATION VILLAGE 2023 NAPOLI - WORKSHOP SUL TEMA TECNOLOGIE INNOVATIVE PER IL RICICLO DI MATERIE PRIME CRITICHE DA PRODOTTI COMPLESSI A FINE VITA A CURA DI ENEA, BATTERIE LITIO IEMAP WP2. ENEA ha organizzato un evento sul riciclo di materie prime da prodotti complessi nell'ambito dell'Innovation Village e la missione ha avuto lo scopo di partecipare ai lavori, incontrare vari stakeholders del settore e di illustrare le attività IEMAP in corso relative alla tematica.	NAPOLI UNIVERSITÀ PARTENOPE	09/05/23	10/05/23	Cedolino del 05-06-23	346,28	
		2023_30507_30	FONTANA DANILO	PRESENTAZIONE RISULTATI PRELIMINARI PROGETTO IEMAP WP2 LA 2.10_ 2.11	CAGLIARI	11/10/23	13/10/23	Cedolino del 01/12/2023	2.071,07	
	LA2.11 Totale								2.901,89	
	LA2.6	2023_30467_30	APPETECCHI GIOVANNI BATTISTA	GEI2023 (GIORNATE DELL'ELETTROCHIMICA ITALIANA)		CEFALÙ	16/09/23	21/09/23	Cedolino del 02/11/2023	1.729,89
	LA2.6 Totale								1.729,89	
	1 - ENEA Totale								4.631,78	
Totale complessivo								4.631,78		