

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-24 - RICERCA DI SISTEMA
ELETTRICO NAZIONALE**
Progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000

AFFIDATARIO ENEA

Tema - Titolo del progetto: 1.2 Progetto Integrato Tecnologie di Accumulo elettrochimico e termico.

Durata: 36 mesi

Semestre n. 4 – Periodo attività: 01/07/2023 – 31/12/2023

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

Il progetto è organizzato in 5 diversi WP (**WP1 Accumulo elettrochimico: materiali avanzati; WP2 Accumulo elettrochimico: sistemi innovativi; WP3 Accumulo elettrochimico: aspetti ambientali economici e sociali; WP4 Accumulo termico: materiali e sistemi innovativi; WP5 Diffusione dei risultati**): i primi 3 coprono diversi aspetti della catena del valore delle batterie, il WP4 riguarda l'accumulo termico e il WP5 le attività di coordinamento e disseminazione.

L'attività condotta all'interno del WP1 è rivolta verso la sintesi e la caratterizzazione di materiali sostenibili nonché verso studi di processo a ridotto impatto ambientale per sistemi di accumulo elettrochimico sia più maturi o innovativi (es. Li-ione, Li-metallico, Na-ione e batterie redox a flusso) che di frontiera (es. Na-fuso, Metallo-aria). L'attività è finalizzata all'individuazione di soluzioni che siano migliorative della prestazione di cella sia a livello tecnologico che ambientale, nell'intento di contribuire a sviluppare la batteria sostenibile del futuro attraverso scelte più consapevoli nel rispetto di una economia circolare. Nell'ambito della tematica dello sviluppo delle batterie a ioni sodio i tre gruppi affidatari svolgeranno un'attività congiunta rivolta alla selezione dei materiali anodici e catodici più validi sviluppati all'interno delle rispettive LA e alla definizione di un protocollo condiviso di assemblaggio e test di detti materiali in semicelle. Nello specifico, i materiali condivisi sotto forma di polveri o stese saranno sottoposti a caratterizzazioni elettrochimiche presso i laboratori dei tre enti (Round Robin test). In questo semestre sono iniziate le LA 1.12, 1.15, 1.17 e 1.19 che proseguono e ottimizzano quanto fatto nella prima metà del progetto. Sono inoltre iniziate le LA dei co-beneficiari universitari (LA 1.13, LA 1.20, LA 1.21, LA 1.22, LA 1.23, LA 1.24, LA 1.25, LA 1.26, LA 1.27) che vanno ad aggiungersi a quelle di enea riguardo l'esplorazione di nuovi materiali per le Li-ione e post Li-ione.

I principali obiettivi delle attività proposte all'interno del WP2 riguardano attività sia di tipo sperimentale che di modeling per diversi scopi applicativi in ambito stazionario. In particolare, un primo obiettivo riguarda lo sviluppo di un database condiviso dai partner di progetto contenente diversi dataset sia di letteratura che sperimentali, provenienti da test di invecchiamento condotti su batterie litio in diverse condizioni operative / fattori di stress (C-rate, T ecc.) durante la first- e la second-life ed ancora, dataset provenienti da test rappresentativi dell'uso dei sistemi di accumulo in diversi servizi di rete. Un ulteriore obiettivo riguarda i sistemi energetici ibridi come la

modellazione di soluzioni ibride di accumulo termico/elettrochimico per uso stazionario per l'integrazione efficiente di fonti rinnovabili. Su quest'ultimo argomento si concentra l'attività della LA 2.15 portata avanti da un co-beneficiario di ENEA che è iniziata questo semestre.

Il WP3 tratta gli aspetti legati alla sostenibilità ambientale, economica e sociale dei sistemi di accumulo elettrochimico trattati nei due WP tecnici (WP1 e WP2) con analisi che rispondono ai seguenti tre obiettivi generali: 1) analisi di Life Cycle Assessment (LCA) e Life Cycle Costing (LCC); 2) analisi di un approvvigionamento sostenibile di materiali critici per le tecnologie della transizione energetica, con focus sulla filiera delle batterie; 3) analisi socio-economica della filiera di produzione di batterie in Italia. Da M18 a M24 la LA 3.5 ha ripreso i risultati della 3.4 e ha prodotto risultati con i modelli in serie, cambiando le ipotesi sugli scenari di decarbonizzazione per valutare il potenziale delle tecnologie di accumulo. Inoltre, sono stati elaborati i primi risultati LCA sulla caratterizzazione in termini di carbon footprint delle principali tecnologie di accumulo considerate. In questo semestre ha avuto inizio anche l'attività 3.6 di un cobeneficiario di ENEA con un'analisi approfondita dello stato dell'arte dei processi di riciclo.

Riguardo all'accumulo termico WP4 si è conclusa la definizione di primo tentativo della strategia di controllo per la regolazione di potenza del ciclo, è iniziata la procedura di acquisto degli scambiatori di calore e la definizione della MTO (Material Take Off) di dettaglio per l'acquisizione dei componenti del circuito idraulico della test-facility, ed inoltre è proseguita l'analisi bi-dimensionale delle turbomacchine, da parte di UniRM3, prendendo in considerazione la casistica completa delle condizioni operative del ciclo di potenza a bassa temperatura. Per la media temperatura ENEA ed UniPG hanno effettuato la caratterizzazione fisica dei provini realizzati nel precedente semestre ed è stato assegnato l'appalto di fornitura dei componenti per l'aggiornamento dell'impianto Solteca3 con il quale accoppiare i moduli di accumulo cementizio e a cambiamento di fase. UniPD, relativamente al solutore transitorio del modello cementizio per il SW, ha realizzato le basi della libreria numerica per risolvere il problema di accoppiamento di diversi elementi a parametri concentrati, mentre UniFG si è impegnata nella realizzazione di una subroutine in grado di predire il sistema a cambiamento di fase nelle sue caratteristiche principali che verrà integrata all'interno del software complessivo comprendente anche i moduli a calore sensibile. L'analisi economica in carico ad UniBA si è concentrata sui settori di mercato, tipologia di domanda energetica e caratteristiche degli utilizzatori finali che rendono maggiormente interessante l'integrazione di sistemi di accumulo termico. Sull'alta temperatura, ENEA coadiuvata da UniRM1 per la parte modellistica e da UniRM2 per quella sperimentale ha concluso le attività propedeutiche per l'assemblaggio e collaudo del circuito sperimentale comprendente il reattore a letto fluidizzato anche con l'individuazione delle condizioni ottimali di fluidizzazione e del sistema di pellettizzazione delle polveri.

Il WP5 ha due principali obiettivi che si esplicano durante tutta la durata del progetto attraverso la LA5.2:

1. Fornire supporto a istituzioni e stakeholder nazionali in tutte le iniziative internazionali, europee e nazionali che riguardano lo sviluppo tecnologico dei sistemi di accumulo elettrochimico e termico;

2. Sviluppare concreti strumenti di comunicazione per diffondere i risultati della ricerca e per coinvolgere stakeholder e istituzioni in possibili scelte decisionali del progetto sfruttando i canali di comunicazione di ciascun ente e di CSEA.

ATTIVITA' SVOLTE

<i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i>	<i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i>
<p>ENEA</p>	<p>WP1</p> <p>LA1.12: Questa linea di attività riguarda lo studio e l'ottimizzazione di materiali avanzati per le batterie Li-ione. Durante il quarto semestre, l'attività sui catodi lamellari Li-rich si è focalizzata su un metodo di sintesi alternativo alla combustione. In particolare, è stato studiato un metodo solvotermale utilizzando come reagenti di partenza gli acetati dei metalli corrispondenti, acido ossalico come agente complessante e precipitante e come solvente di reazione una miscela di acqua ed etanolo in diverse proporzioni. Ne è stato valutato, quindi, l'impatto del solvente di reazione sulle proprietà chimico-fisiche (tramite diffrazione dei raggi X, spettroscopia Raman e microscopia elettronica) ed elettrochimiche (tramite ciclazioni galvanostatiche) dei materiali ottenuti.</p> <p>Per quanto riguarda i materiali carboniosi a base di grafene sviluppati nei semestri precedenti sono stati applicati come anodi attraverso la ricopertura con nanoparticelle di silicio e come catodi mediante la ricopertura di particelle di zolfo.</p> <p>Anodi e catodi sono stati testati elettrochimicamente per valutare i valori di capacità specifica mediante ciclazioni galvanostatiche.</p> <p>Nell'ambito dell'attività di crescita di nanofili di silicio sono stati ottenuti ulteriori miglioramenti della deposizione CVD di carbonio da acetilene per la copertura dei nanofili di silicio. Sono state eseguite sia la preparazione di nanofili di silicio decorati con nano particelle di rame metallico che la caratterizzazione elettrochimica.</p> <p>Nell'ambito della produzione degli elettrodi si è continuato con la caratterizzazione delle polveri commerciali per riuscire a far funzionare i materiali catodi commerciali. Si sono testate le celle LFP da rotocalco "large area". Rispetto alla stampa rotocalco è stato effettuato lo studio di inchiostri a base di ossido misto di Litio (Litio Nichel Manganese Cobalto Ossido) ad elevate prestazioni, utilizzando come legante PVDF e come solvente principale cicloesanone. Gli inchiostri prodotti sono stati caratterizzati dal punto di vista reologico per individuare, anche attraverso il metodo del Capillary Number, i parametri migliori per effettuare le stampe rotocalco di nastri catodici.</p> <p>LA 1.15: Al fine di migliorare le prestazioni degli Hard Carbon sono stati individuati trattamenti di sintesi e post sintesi: sono stati sintetizzati Hard Carbon in presenza di agenti dopanti come il SiCl₄ durante la pirolisi,</p>

sono stati testati gli hard carbon ottenuti nei semestri precedenti dopo averli presodiati per via elettrochimica inserendo un “elettrodo sacrificale”.

Per i materiali catodici sono stati sintetizzati e caratterizzati ossidi lamellari di stechiometria $\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.1}\text{Ni}_{0.27}\text{Mn}_{0.63}\text{O}_2$ in cui il litio viene sostituito dal potassio. Le caratterizzazioni includono analisi morfologiche tramite SEM, analisi strutturali tramite XRD, caratterizzazioni elettrochimiche tramite ciclazioni galvanostatiche. Nell’ottimizzazione degli elettrodi anodici si è iniziato a testare gli Hard Carbon commerciali con diverse percentuali e/o tipologie di carbone. Per quanto riguarda il manufacturing, le polveri catodiche commerciali hanno richiesto ulteriore ottimizzazione per massimizzare la capacità specifica e avvicinarsi a quella teorica dichiarata dal produttore. Per quanto riguarda la stampa rotocalco, usando come materiale attivo l’Hard Carbon commerciale BHC-300, è stato effettuato uno studio sugli inchiostri compatibili con la stampa rotocalco, utilizzando come legante CMC, come conduttore elettrico carbone Super P e come solvente una miscela di acqua e isopropanolo (90-10 wt%/wt%). Gli inchiostri prodotti sono stati studiati dal punto di vista reologico, per comprendere quale fosse il più adeguato alla tecnica rotocalco, e per determinare, anche attraverso il metodo del Capillary number, i migliori parametri per effettuare la stampa dei nastri anodici.

LA1.17: Sono proseguite le attività di caratterizzazione di campioni di materiali prodotti nell’ambito del Progetto e di aggiornamento della strumentazione. Si sono svolte riunioni anche con la partecipazione di colleghi coinvolti nella sintesi dei materiali allo scopo di favorire il confronto e valutare i risultati sperimentali.

LA1.19: Questa attività riguarda l’indagine delle proprietà ottiche delle nanogabbie BN con alogeni (quali Cl e Br) e calcogeni (quali O, S e Se) incapsulati, utilizzando la teoria del funzionale della densità dipendente dal tempo (TD-DFT). Nella prima fase è stato eseguito uno studio sistematico della letteratura pertinente, sono stati eseguiti i test di convergenza dei calcoli ottici, e sono stati eseguiti ed esaminati i calcoli per i fullereni BN. Queste indagini saranno utili per individuare e discriminare le strutture geometriche coinvolte, e saranno una importante guida per gli sperimentali per caratterizzare mediante spettroscopia ottica la crescita di nanogabbie con ioni incapsulati al loro interno.

WP3

LA3.5: Questa linea di attività è dedicata alla costruzione di un modello di unit commitment and economic dispatch (UED) del sistema elettrico italiano, per poter individuare il potenziale ruolo che possono svolgere le tecnologie di accumulo. Un altro aspetto rilevante, al fine di valutare il potenziale tecnico-economico degli stoccaggi in un’ottica di sistema energetico, riguarda l’integrazione (mediante soft-link) tra il modello del dispacciamento e un modello dell’intero sistema energetico italiano sviluppato da ENEA (TIMES-Italia). Inoltre, la stessa LA si pone l’obiettivo di fare una valutazione di massima della sostenibilità ambientale, in termini di carbon footprint, delle stesse tecnologie di accumulo prese in considerazione nella suite modellistica sopra citata. Da M18 a M24 i modelli sono stati fatti girare in serie, cambiando le ipotesi sugli scenari di decarbonizzazione del sistema energetico italiano e la loro

implementazione nel sistema di dispacciamento per valutare il potenziale delle tecnologie di accumulo. Inoltre, sono stati elaborati i primi risultati LCA sulla caratterizzazione in termini di carbon footprint delle principali tecnologie di accumulo considerate.

WP4

LA4.3: si è conclusa la definizione di primo tentativo della strategia di controllo per la regolazione di potenza del ciclo. La strategia identificata rappresenta il primo passo di un processo iterativo che prevede la validazione della stessa rispetto alle curve caratteristiche delle turbomacchine che definiscono, in ultima istanza, i limiti dell'involuppo operativo del ciclo di potenza. L'iterazione prevede informazioni in input alla progettazione delle turbomacchine con conseguenti output sui vincoli che definiscono la strategia di controllo.

LA4.4: sono state avviate le trattative e l'iter amministrativo per l'acquisizione degli scambiatori di calore PCHE. È iniziata la definizione della MTO (Material Take Off) di dettaglio per l'acquisizione dei componenti del circuito idraulico della test-facility. È in corso di definizione il P&ID della test-facility e la specifica dei componenti del circuito servizi ad aria compressa.

LA4.7: È stata effettuata, in collaborazione con UniPG, la caratterizzazione fisica dei provini realizzati nel precedente semestre. Essi hanno evidenziato una conducibilità termica compresa tra 1.16 ed 1.68 [W/m·K] , con risultati più elevati per le miscele ad alto contenuto di aggregati e minor quantità di acqua, e capacità termica tra i 671 e i 774 [J/kg] con risultati più elevati per le miscele ad alto contenuto di acqua, ma con la presenza materiale a cambiamento di fase micro-incapsulato.

È iniziata la messa a punto del sistema di caratterizzazione fisica preliminare a temperatura dei suddetti provini. Il sistema individuato per la realizzazione di tali prove è l'Hot Disk, che è uno strumento che utilizza il principio denominato Transient Plate Source (TPS), alla base della metodica ISO / DIS 22007-2 per rilevare la conducibilità termica del materiale.

Il cuore del sistema è costituito da una spirale in nickel dello spessore di pochi micron che agisce sia da elemento riscaldante che da sonda di temperatura. Il setup è stato effettuato componendo due strati di campione (con le superfici identiche accostate) inframezzati da uno tra i sensori disponibili. Durante il test deve essere applicata una corrente, per un tempo esattamente predeterminato, per rilevare il transiente di riscaldamento del sensore, dipendente dalla capacità dissipante dei due pezzi di campione che lo racchiudono. In questo modo viene determinata la conducibilità termica, che è correlata alla quantità di calore che viene sottratta al sensore e che, conseguentemente, subisce un aumento minore della sua temperatura.

Riguardo alle prove di caratterizzazione termica del sistema sensibile/latente (SH/LH TES), è stato assegnato l'appalto di fornitura dei componenti per l'aggiornamento dell'impianto Solteca3, necessario alla circolazione, riscaldamento e raffreddamento del fluido termico che funge da vettore per il carico e scarico di energia termica dei moduli di accumulo. La ditta ha iniziato la realizzazione dello scambiatore elicoidale ove dovrà passare internamente il fluido termovettore. Si è altresì provveduto all'assegnazione dell'appalto per la fornitura

dell'alimentatore da 630 A e 40 V, per garantire un riscaldamento per effetto Joule della parete metallica dello scambiatore stesso e conseguentemente del fluido termico. Detto alimentatore servirà anche per il riscaldamento dei provini TEES, che saranno posizionati nell'impianto denominato ATES.

LA4.8: Attività propedeutiche per la realizzazione dei seguenti obiettivi previsti: assemblaggio e collaudo del circuito sperimentale comprendente il reattore a letto fluidizzato; individuazione delle condizioni ottimali di fluidizzazione. In particolare, è stato consegnato, a dicembre 2023, il generatore di azoto Pneumatech. Lo strumento è stato installato, calibrato, collaudato ed è stata seguita la relativa formazione. Sono state installate e collaudate le linee di distribuzione dei gas azoto e aria, per alimentare il processo di fluidizzazione.

Sono stati pubblicati o presentati i seguenti lavori: 1) carbonation reaction of the CaO-mayenite system: kinetic analysis at different CO₂ partial pressures. AIP Conference Proceedings 2815, 160006 (Ottobre 2023) 2) thermochemical heat storage through CaO-Mayenite/CaCO₃ system: thermal performances comparison for two synthesis methods. Journal of Energy Storage 72, 108386 (Novembre 2023) 3) CaO-Mayenite/CaCO₃ high temperature (600-900°C) thermochemical storage system. Presentazione orale conferenza Nanoinnovation 2023, Roma.

WP5

LA5.2:

Nel quarto semestre di progetto le attività riguardanti il supporto a istituzioni e stakeholder in tutte le iniziative del settore sono andate avanti, sempre attraverso la partecipazione attiva a meeting, discussioni e lavori delle numerose iniziative riguardanti i sistemi d'accumulo (la piattaforma ETIP BatteRIES Europe, le partnership Batt4EU, il Joint Programme Energy Storage di EERA, il TCP Energy Storage di IEA, e l'iniziativa Battery 2030).

Le riunioni di coordinamento tra i tre enti sono proseguite sia in presenza (luglio 2023 presso il CNR-ITAE di Messina), sia in modalità ibrida, e sono stati organizzati dei workshop tematici per la diffusione dei primi risultati durante Nanoinnovation 2023 nel mese di settembre a Roma.

Nel mese di ottobre sono state presentate alcune tematiche di questo progetto al Congresso Internazionale Zero Emission presso la Fiera di Roma mediante una presentazione dal titolo: "New frontiers of research and innovation in the thermal energy storage sector". Nello stesso mese, il progetto 1.2 ha preso parte alla fiera Maker Fair a Roma, nel boot gestito dalla CSEA.

Sempre nel mese di novembre, è stata tenuta una lezione/seminario, alla quale hanno partecipato circa 90 studenti, di 3 ore in lingua inglese nell'ambito del corso Advanced Energy Conversion Systems, corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica, presso la Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale, Università La Sapienza di Roma, introducendo le tematiche dell'accumulo termico trattate in questo WP.

	<p>In questo semestre sono iniziate le riunioni bilaterali in presenza tra ENEA e i suoi co-beneficiari per discutere i primi risultati, le prospettive future, come rafforzare le collaborazioni e il flusso di dati e, non ultimo, per conoscere le facilities e tutto il personale coinvolto nel progetto. Questa attività ha portato un notevole miglioramento nella integrazione del progetto perché in molti casi si sono trovate attività da svolgere in sinergia che non erano state contemplate in preventivo. L'attività proseguirà nel prossimo semestre e sfocerà in un evento in Casaccia dove verranno ospitati i rappresentanti dei vari gruppi universitari per discutere l'andamento del progetto e le attività degli ultimi mesi.</p>
UNIRM1 SBAI SC - WP1	<p>LA1.13: Questa linea di attività riguarda riguardante la sintesi e caratterizzazione di materiali elettrodi micro e nanostrutturati, da ottenere anche a partire da fonti di scarto e da utilizzare come elettrodi per applicazioni in batterie Li-ione e supercapacitori. Nei primi sei mesi è stata messa a punto una strategia sintetica per ottenere degli aerogel microstrutturati dalla lolla di riso. I materiali ottenuti, tutti puramente carboniosi, sono stati caratterizzati dal punto di vista morfologico e strutturale tramite microscopia SEM-EDX, XRPD, BET, spettroscopia Raman.</p>
UNIRM2 DIF PL - WP1	<p>LA1.20: Questa attività di ricerca riguarda lo studio <i>ab initio</i> delle proprietà strutturali ed elettroniche di ossidi misti non stechiometrici del manganese come materiali catodici per le batterie agli ioni di sodio. Nei primi sei mesi è stata costruita la supercella, è stata ottimizzata geometricamente la struttura cristallina ed è stata calcolata la struttura a bande di NaMnO₂ drogato con Ni ad un livello di teoria GGA+U, con il parametro di Hubbard U per Mn ed Ni calcolato in modo autoconsistente. È alle prime fasi lo studio dell'ossido lamellare ottenuto per co-drogaggio con Ni e Fe.</p>
UNINA DISCH PV - WP1	<p>LA1.21: Simulazioni multiscala di interfacce eterogenee elettrodo-elettrolita in batterie di terza generazione. L'attività svolta da UniNA ha riguardato due interfacce del litio metallo con elettroliti: (1) abbiamo studiato un elettrolita organico usato come additivo per la formazione di SEI artificiale (carbonato di vinilene, VC) e la sua interazione con il litio metallico, includendo nella simulazione più molecole di VC in modo sequenziale, al fine di ottenere un modello per la formazione del poli-VC; (2) abbiamo inoltre iniziato a studiare l'interazione di un polimero usato come elettrolita (PEO) con il litio metallico, in questa fase sono state iniziate le simulazioni di dinamica molecolare ab initio al fine di trovare le configurazioni più stabili del PEO su Litio metallo, e costituire una banca data di traiettorie utili al fine di ottenere campi di forza di meccanica molecolare per simulazioni a larga scala.</p>
POLITO DISAT LE - WP1	<p>LA1.22: Questa linea di attività riguarda lo studio e l'ottimizzazione dei sistemi a base polimerica (fotoreticolati e non) tramite aggiunta di additivi specifici che garantiscano buone proprietà meccaniche, interfacce stabili con i materiali elettrodi ed elevate conducibilità ioniche (≥ 0.1 mS/cm a 20 °C) e compatibilità all'interfaccia con catodi ad alto voltaggio (≈ 4.3 V) e anodi ad alligazione o a litio metallico. Nei primi sei mesi sono iniziati i primi test di compositi a base di ossido di polietilene (PEO) e</p>

	<p>policarbonati (PC), con i primi test per valutare la conducibilità ionica (≥ 0.05 mS/cm a 20 °C) dei sistemi sviluppati e la loro stabilità elettrochimica (≈ 4.3 V). Le attività future si focalizzeranno sul miglioramento delle prestazioni ottenute mediante l'utilizzo di plasticizzanti. I materiali ottenuti verranno testati in celle elettrochimiche in scala da laboratorio.</p>
<p>UNIBO DICH RB – WP1</p>	<p>LA1.23: Questa linea di attività è suddivisa in tre parti e nei primi sei mesi l'attività si è concentrata principalmente sul proseguimento/completamento attività dello scorso triennio su Elettroliti a base di carbonati organici con additivi. È stato eseguito lo studio di additivi a base di sali di ammonio e alchilammonio, utilizzando la tecnica Raman operando per correlare il comportamento elettrochimico con la composizione del solid electrolyte interface (SEI) e la sua evoluzione nel tempo. La parte relativa ai Separatori sostenibili è iniziata con la selezione di polimeri che possano essere utilizzati con il chitosano. La parte relativa agli Elettroliti polimerici gel è iniziata con la realizzazione di un elettrolita polimerico a base di poliacrilonitrile, ottenuto per inversione di fase. Tale elettrolita solido è stato poi modificato mediante la polimerizzazione in situ del polidiossolano, con una conducibilità a temperatura ambiente ca. 10^{-5} S cm⁻¹ e con spessore < 100 μm. È stato anche preparato un polimero gel a base di polivinilidene difluoruro – tetraglyme e LiTFSI, con una conducibilità a temperatura ambiente ca. 10^{-3} S cm⁻¹ e con spessore < 100 μm.</p>
<p>UNIRM1 DICH BR – WP1</p>	<p>LA1.24: Questa attività riguarda lo studio e l'ottimizzazione di elettrodi anodeless. Nel primo semestre di attività, sono state svolte indagini sperimentali volte all'ottimizzazione dei parametri di manifattura per elettrodi anodeless per celle al litio metallico al fine di consentire la produzione di materiali L3ME basati sulla tecnica LIPSS e coating chimici. Nello specifico sono state investigate delle formulazioni innovative di film di passivazione artificiali basati sull'uso dell'ossido di zinco.</p>
<p>UNICAM SSTCH NB – WP1</p>	<p>LA1.25: Questa linea di attività riguarda lo studio di catodi a base di Analoghi di Blu di Prussia (PBA) per batterie Na-ione tramite ottimizzazione del processo di sintesi e della struttura cristallina. Nei primi sei mesi sono stati condotti studi sulle metodologie di sintesi e il possibile impiego di agenti chelanti per favorire la co-precipitazione dei materiali. Un Bianco di Prussia (PW) a base di Fe/Mn è stato sintetizzato e sono state effettuate caratterizzazioni preliminari su polvere e in cella elettrochimica.</p>
<p>POLITO DISAT FR – WP1</p>	<p>LA 1.26: Preparazione di elettroliti gel polimerici da fonti biorinnovabili per batterie Li aria. Questa linea di ricerca riguarda lo sviluppo di organo-gel (OG) tramite fotopolimerizzazione UV a partire da sostanze bio e rinnovabili per applicazioni nelle celle litio aria. Nei primi sei mesi di attività si sono effettuate le prime prove di sintesi degli organo-gel al fine dell'ottimizzazione di tutti i parametri di sintesi. Inoltre, è stata effettuata una caratterizzazione preliminare dei materiali prodotti.</p>
<p>UNIRM1 HYECO NV – WP1</p>	<p>LA1.27: Elettroliti innovativi a base di liquidi ionici green . Nei primi sei mesi di attività è stato approfondito lo stato dell'arte nella letteratura scientifica internazionale riguardante l'uso dei liquidi ionici in batterie litio-ione, con particolare riguardo ai metodi sintetici adottati per la loro produzione. È inoltre stata individuata la natura chimica più</p>

	<p>adeguata dei liquidi ionici che verranno utilizzati con catodi ad alto potenziale in celle al litio. La scelta è ricaduta sul catione N-etossietil-N-metilpiperidinio, contenente un gruppo etere funzionale, da combinare con anioni borato. Per la preparazione del catione precursore, si è preliminarmente indagata la possibilità di condurre una sintesi innovativa in acqua, evitando l'impiego di solventi organici convenzionali, tossici e di difficile smaltimento o recupero.</p>
UNIRM2 DIII ML – WP2	<p>LA2.15 «Progetto integrato tecnologie di accumulo elettrochimico e termico» Questa linea di attività prevede lo studio di sistemi stazionari ibridi per lo stoccaggio – elettrochimico e termico – per l'integrazione efficiente delle fonti rinnovabili. Nei primi sei mesi si è lavorato alla profilazione dei carichi elettrici e termici di utenze residenziali, e alla rappresentazione modellistica dei sistemi di accumulo elettrici e termici, in modo da poter proseguire il lavoro in termini di implementazione del modello complessivo e strategie di controllo relative.</p>
UNIBO DICH SV – WP3	<p>LA3.6: Questa linea di attività riguarda lo sviluppo di processi produttivi di catodi di LIB disegnati per il “direct recycling”. Nei primi sei mesi è stata condotta un'analisi approfondita dello stato dell'arte dei processi di riciclo (che ha portato alla pubblicazione: D. Marchese, Batteries 2024, 10(1), 27; https://doi.org/10.3390/batteries10010027) ed è stata avviata la progettazione della produzione di elettrodi a base di leganti che permettono il recupero diretto delle polveri tramite trattamento con acqua come pullulano e PEDOT:PSS . Nell'ambito delle caratterizzazioni necessarie per la valutazione degli stati di ossidazione dei metalli da frazioni di riciclo, si sono cominciati a registrare degli spettri XANES di riferimento, utili in una fase successiva.</p>
UNIPG WP4	<p>LA4.10: sintetizzati PCM migliorati (Nano Enhanced PCM) con l'utilizzo di nanocariche. Tra le formulazioni esperite, le più efficaci sono risultate quelle a base di miscele di ossidi metallici e semimetallici (SiAl) e quelle costituite da nanostrutture metallorganiche (MOF). I test calorimetrici hanno mostrato miglioramenti dei NEPCM in termini di capacità termica e di range di temperatura di applicazione. Confermata l'efficacia dei nuovi PCM nanostrutturati, è stato effettuato il processo di incapsulamento sui NEPCM e ne sono state misurate le proprietà termiche e di stabilità. L'analisi di calorimetria differenziale (DSC) ha mostrato ottima stabilità dei NEPCM più performanti a ripetuti cicli termici. Inoltre, mePCM ottenuti con i NEPCM hanno mostrato proprietà calorimetriche migliorate rispetto ai mePCM precedentemente sviluppati. In particolare, sia i meNEPCM contenenti SiAl ed, in misura maggiore quelli contenenti MOF (CATAS), hanno mostrato un aumento dell'entalpia di fusione dei Sali Solari incapsulati rispetto ai SS standard ad indicare sia le migliori performances termiche dei NEPCM che il buon processo di incapsulamento rispetto ai mePCM standard. Inoltre, è stato effettuato il reperimento delle cariche ritenute utili per le formulazioni delle malte auto-riscaldanti (SHM) per applicazioni power to heat. Sono state prodotte 15 formulazioni preliminari di SHM utilizzando diversi filler carboniosi (nanotubi di carbonio MWCNT, fibra di carbonio, grafite, nerofumo) con diverse caratteristiche. I fillers selezionati sono stati utilizzati singolarmente utilizzando diversi processi di dispersione e diversi additivi compatibilizzanti, oppure in</p>

	<p>miscele ibride. Sono stati prodotti provini a forma di parallelepipedo di 4x4x16 cm in cui sono state immerse delle reti metalliche opportunamente distanziate per realizzare gli elettrodi conduttivi. Dopo 28 gg di maturazione i provini sono stati sottoposti a test di conducibilità elettrica ed a test di riscaldamento dissipativo. I risultati hanno mostrato conducibilità elettrica di due ordini di grandezza superiori rispetto alla referenza ($S_{ref}=6 \cdot 10^{-4}$ W m; $S_{3CNT}=5 \cdot 10^{-2}$ W m) e gradienti termici di alcuni gradi ora anche con bassi consumi elettrici. Questa attività continuerà con la sperimentazione di formulazioni di malte conduttive/dissipative ibride ottimizzate.</p>
UNIPD WP4	<p>LA4.11: Nel secondo semestre, relativamente al solutore transitorio, sono state realizzate le basi della libreria numerica per risolvere il problema di accoppiamento di diversi elementi a parametri concentrati. Nello specifico, sono state definite le principali classi che comporranno il codice:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Classe ELEM che conterrà i modelli a parametri concentrati: in CLS SHTES (sviluppati dall'università di Padova) e in PCM LHTES (sviluppati dall'Università di Foggia). • Classe LINE è la classe in grado di connettere in serie i diversi elementi per ottenere una linea mista realizzata di diverse tipologie di elementi. • Classe EMOD è la classe in grado di collegare diverse linee in parallelo per realizzare un modulo di accumulo. • Classe TRANSIENT per la definizione del solutore transitorio in grado di valutare il ciclo termico ottenuto considerando un numero arbitrario di moduli connessi in serie. <p>Grazie al solutore sarà possibile di analizzare il comportamento termico di sistemi misti SH-LH/TES. Il codice potrà essere utilizzato per la simulazione di un insieme di elementi di accumulo di diversa natura, all'interno di un codice comprensivo di varie tipologie di analisi.</p>
UniFG WP4	<p>LA4.13: Sulla base del modello semplificato a parametri concentrati di un LHTES di tipo "tube&shell", è stata impegnata nella realizzazione di un codice di calcolo in grado di predire il sistema nelle sue caratteristiche principali.</p> <p>Detto modulo verrà validato sulla base dei risultati sia numerici sia sperimentali per applicazioni a media temperatura, che utilizzano sali come mezzo di accumulo. Saranno predisposte simulazioni numeriche CFD come benchmark con i quali confrontare e mettere a punto il modello numerico semplificato. Verranno analizzati i parametri di ingresso e di uscita dal modulo e dal singolo monotubo in termini di livello di carica e potenza termica scambiata. Insieme ai confronti con le simulazioni CFD predisposte ad hoc, potranno essere utilizzati i risultati di lavori pubblicati su riviste internazionali. In collaborazione con UNIPD si sta predisponendo la subroutine che verrà infine integrata all'interno del software complessivo comprendente anche i moduli a calore sensibile.</p>
UNIBA WP4	<p>LA4.14: in questo semestre l'attività di studio si è concentrata sui settori di mercato, tipologia di domanda energetica e caratteristiche degli utilizzatori finali che rendono maggiormente interessante l'integrazione di sistemi di accumulo termico. lo studio si è focalizzato principalmente sulle applicazioni in ambito agroalimentare ed agroindustriale, con domanda di calore a media temperatura (150-250 gradi) e sui fattori</p>

	<p>determinanti per garantire la fattibilità tecnico-economica dell'investimento. A tal riguardo, gli elementi di maggiore interesse, oggetto di approfondimento, sono stati i costi di fornitura di elettricità e calore (in particolare rapporto tra costo elettricità e gas naturale), presenza di cascami termici recuperabili, presenza di generazione da fonte rinnovabile non dispacciabile, disponibilità di spazi per integrazione di accumulo ed eventuali impatti sulle produzioni industriali.</p>
<p>UNIROMA1 WP4</p>	<p>LA4.15: sulla base dei risultati ottenuti nella prima parte del lavoro, durante questo semestre sono stati valutati i principali parametri di performance – in termini di capacità di accumulo di energia - dei due processi analizzati. È stato poi sviluppato un modello semplificato in grado di descrivere il comportamento del reattore con un basso costo computazionale e un adeguato grado di accuratezza. I risultati di questa analisi hanno permesso di individuare le condizioni operative più favorevoli per i processi studiati.</p>
<p>UNIROMA2 WP4</p>	<p>LA4.20: il Centro Interdipartimentale Nanoscienze, Nanotecnologie e Strumentazione Avanzata (NAST) dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" (UniRM2), nell'ambito di questa linea di attività, che si configura come la prosecuzione della precedente linea LA4.16, ha collaborato alla preparazione delle prove sperimentali sui sistemi redox in esame da effettuare nel reattore a letto fluidizzato che verrà realizzato da ENEA (LA 4.8).</p> <p>In particolare, per studiare la stabilità chimica e morfologica dei sistemi termochimici ottimizzati, ha partecipato con ENEA alla messa a punto del sistema di pellettizzazione delle polveri precedentemente preparate nella LA 4.16.</p> <p>Inoltre, nell'ambito delle attività di disseminazione del progetto, a settembre 2023 ha partecipato alla conferenza NanoInnovation 2023, presentando il suo lavoro di ottimizzazione della sintesi e caratterizzazione dell'ossido di manganese per cicli termochimici ad alta temperatura dal titolo: "Study and characterization of promising HT thermal energy storage materials".</p>
<p>UNIRM3 WP4</p>	<p>LA4.9: è proseguita l'analisi bi-dimensionale delle turbomacchine prendendo in considerazione la casistica completa delle condizioni operative del ciclo di potenza fornita dall'ENEA. Nello specifico, lo studio si è focalizzato sulla verifica delle turbomacchine alla condizione operativa ritenuta al momento più vincolante, con l'obiettivo di verificare successivamente la compatibilità con le altre condizioni operative.</p>