

**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. 3 – Periodo attività: 01/01/2023 – 30/06/2023

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. Nel terzo semestre sono arrivate a conclusione le quattro linee di attività che riguardano i materiali avanzati per le Li-ione e Na-ione (LA 1.11 e LA 1.14), studi computazionali sull'elettronica di alcuni materiali (LA1.18) e la linea di attività dedicata alla razionalizzazione e messa a punto delle tecniche di caratterizzazione dedicate ai materiali avanzati per le batterie (LA1.16). Per ognuna non si evidenziano particolari discostamenti da quanto previsto.

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. La LA3.4 si è conclusa nel terzo semestre ottenendo alcuni risultati preliminari grazie alla messa a punto della metodologia di soft-link tra il modello di dispacciamento e il modello dell'intero sistema energetico. Sono state inoltre identificate le tecnologie più promettenti in ottica LCA.

Relativamente al WP4 sono iniziate le attività di tutti i co-beneficiari coinvolti: UniPG sui materiali di frontiera per l'accumulo a media temperatura, UniBA sulle analisi economiche sulle applicazioni

a processi industriali, UniRM3 sull'architettura di massima per l'impianto a bassa temperatura e UniRM1 sulla modellistica di sistemi termochimici ad alta temperatura. Sono state inoltre interamente realizzate le attività LA4.12 (Sviluppo e messa a punto di un modello numerico semplificato a parametri concentrati del comportamento di un LHTES di tipo "tube&shell") ed LA4.16 (Sviluppo di metodi di sintesi ottimizzati e studio delle caratteristiche morfologiche e termofisiche di sistemi termochimici basati su ossidi misti ad alta temperatura), rispettivamente in capo ad UniFG e UniRM2, con la finalizzazione dei relativi rapporti tecnici.

Sono anche terminate, con ultimazione dei relativi rapporti tecnici da parte di ENEA le LA4.5 (Accumulo a media temperatura: analisi e progettazione di sistemi ibridi di accumulo) e LA4.6 (Analisi teorica preliminare delle prestazioni di sistemi termochimici ad alta temperatura basati su carbonati e ossidi misti in reattori a letto fluidizzato).

Parallelamente sono iniziate da parte di ENEA le LA4.7 e LA4.8, che riguardano rispettivamente: la realizzazione e installazione di prototipi TEES in calcestruzzo e del sistema sensibile/latente (SH/LH TES) e prove sperimentali di caratterizzazione termica, e la valutazione sperimentale delle prestazioni dei sistemi termochimici ad alta temperatura in reattore a letto fluidizzato.

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 style="text-align: center;">ENEA</p>	<p>WP1 LA1.11: Questa linea di attività riguarda lo studio e l'ottimizzazione di materiali avanzati per le batterie Li-ione. Per quanto riguarda l'attività sui materiali catodici di tipo Li-rich è stata sintetizzata un'ulteriore serie di Li-rich la cui stechiometria è stata variata mediante aggiunta progressiva di ferro ($\text{Li}_{1.24}\text{Mn}_{0.62-x}\text{Ni}_{0.14}\text{Fe}_x\text{O}_2$, $x=0, 0.01, 0.02$ e 0.03) ed è stata caratterizzata mediante diffrazione di raggi X, spettroscopia Raman e ciclazioni galvanostatiche. Rispetto alle attività su elettrodi compositi e nanocompositi basati sul grafene sono stati effettuati alcuni test in celle a bottone degli elettrodi per</p>

impiego come anodi. Si è poi valutata la possibilità di utilizzare la stessa nanostruttura di carbonio e geometria di elettrodo per fabbricare catodi per batterie LiS (Litio-Zolfo) e sono stati effettuate alcune deposizioni di prova dello Zolfo.

Per quanto riguarda l'attività di crescita dei nanofili di silicio per CVD, gli elettrodi a base di nanofili di silicio coperti da carbonio sono stati caratterizzati elettrochimicamente in cella a litio mediante ciclazione galvanostatica.

Riguardo all'attività sui separatori sono state prodotte 18 membrane polimeriche mediante tecnologia di elettrofilatura dal processamento di tre mix binari di PAN e PCL (dallo 0% al 50% di PCL). È stato introdotto un nuovo "step" di lavorazione per "roll pressing" a freddo, allo scopo di controllare lo spessore finale del separatore (60-40-20 micron). Sono stati effettuati sui nuovi campioni test di permeabilità, di microtrazione e analisi microstrutturali (SEM).

Nell'ambito della produzione di elettrodi sono state verificate le caratteristiche elettrochimiche delle polveri catodiche commerciali individuate nel S1 e parzialmente ottimizzata la procedura di miscelazione per massimizzare la capacità specifica. Si è proseguita l'attività di ottimizzazione degli inchiostri catodici iniziata nel semestre precedente.

Per quanto riguarda la stampa rotocalco, è stato individuato il miglior inchiostro a base di NaLiNiMnO_2 . Per realizzare i nastri catodici sono state fatte prove di stampa seguendo il modello del Capillary number per determinare le migliori condizioni. Gli elettrodi stampati sono stati caratterizzati dal punto di vista morfologico attraverso analisi SEM, fornendo alta qualità di stampa, corrispondente ad una elevata omogeneità dello strato e assenza di difetti che si traduce in una elevata stabilità dell'elettrodo nel tempo.

LA1.14: Questa linea di attività riguarda lo studio e l'ottimizzazione di materiali avanzati per le Na-ione. Per i materiali anodici sono stati caratterizzati, sia chimico fisicamente che elettrochimicamente, i quattro campioni ottenuti a diversi tempi di pirolisi sottovuoto. Per i materiali catodici sono stati sintetizzati e caratterizzati ossidi lamellari di stechiometria $\text{Na}_{0.84}\text{Ca}_{0.1}\text{Ni}_{0.27}\text{Mn}_{0.63}\text{O}_2$ in cui il litio viene sostituito dal calcio.

Le caratterizzazioni includono analisi morfologiche tramite SEM, analisi strutturali tramite XRD, caratterizzazioni elettrochimiche tramite ciclazioni galvanostatiche. Manufacturing: per quanto riguarda la stampa rotocalco, è stato individuato il miglior inchiostro a base di NaLiNiMnO_2 . Esso ha una viscosità di 75 mPas a 25°C, ed è stato ottenuto utilizzando come solvente la miscela acqua/isopropanolo 90/10 wt/wt%. Per realizzare i nastri catodici sono state fatte prove di stampa seguendo il modello del Capillary number per determinare le migliori condizioni. Per raggiungere il mass loading desiderato (circa 1,5 mg/cm²) sono stati sovrapposti 10 stati consecutivi dello stesso inchiostro a parità di condizioni di processo. Gli elettrodi stampati sono stati caratterizzati dal punto di vista morfologico attraverso analisi SEM, fornendo alta qualità di stampa, corrispondente ad una elevata omogeneità dello strato e assenza di difetti. Nonostante l'ottima qualità di stampa ottenuta, le performance in dispositivo risultano basse a causa dell'utilizzo di CMC e

acqua che, modificando la forma del materiale attivo, diminuendone le capacità. Ciononostante, l'alta omogeneità dello strato si traduce in una elevata stabilità dell'elettrodo nel tempo. Per quanto riguarda il Doctor Blade, sono state verificate le caratteristiche elettrochimiche delle polveri catodiche commerciali individuate nel semestre precedente e parzialmente ottimizzata la procedura di miscelazione per massimizzare la capacità specifica.

LA1.16: Questa attività riguarda la messa a sistema di tutti i metodi di caratterizzazione per i materiali del progetto. Nei sei mesi finali della linea di attività si è proceduto all'installazione e alla messa in funzione della strumentazione acquisita in base alle necessità di aggiornamento precedentemente individuate. Sono proseguite le attività di caratterizzazione sui materiali benchmark o commerciali e sui materiali prodotti nell'ambito del Progetto. Si è prodotta la bozza del Manuale Metodologico che descrive le procedure delle tecniche di caratterizzazione. Una particolare attenzione è stata data nel creare delle schede che contenessero tutti i metadati necessari a definire il campione e lo scopo della misura.

LA1.18: Questa attività riguarda l'indagine attraverso calcoli a primi principi dell'effetto dell'incapsulamento di atomi nell'interazione delle nanocapsule di endofullerene BN con il catione magnesio. Nel terzo semestre abbiamo investigato con calcoli basati sulla teoria della funzionale della densità l'effetto dell'incapsulamento di calcogeni (O, S, Se) nelle nanocapsule B12N12 con il catione Magnesio. I risultati della ricerca indicano che l'incapsulamento di calcogeni potrebbe aumentare il potenziale utilizzo delle nanocapsule B12N12 come anodi per le batterie agli ioni di magnesio, con potenziali di cella notevoli raggiungendo 3.5 V con gli anodi a base di selenio.

WP3

LA3.4: 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 M12 a M18 è stata sviluppata la metodologia di soft-link tra il modello di dispacciamento e il modello dell'intero sistema energetico, con una prima prova di passaggio di uno scenario del sistema energetico da TIMES a Saint con la presentazione di alcuni risultati preliminari. Sono state inoltre identificate le tecnologie più promettenti su cui valutare il carbon footprint mediante metodologia LCA e sono stati raccolti i corrispondenti bilanci di massa ed energia in accordo con la loro funzionalità nel sistema elettrico definita dagli output modellistici.

WP4

LA4.3: si è concluso il calcolo di primo tentativo degli stati dimensionali del ciclo di potenza con il dettaglio delle condizioni operative di base

delle turbomacchine del ciclo di potenza. Gli stati dimensionali individuati rappresentano il primo passo del loop di calcolo per la verifica bi-dimensionale delle turbomacchine, con particolare riferimento al treno di compressione. È iniziato lo studio della strategia di controllo per la regolazione della potenza nei quattro assetti operativi del ciclo.

LA4.4: è stata completata la MTO (Material Take Off) di dettaglio per il commissioning di tubing e raccorderia del prototipo e della test-facility; sono state avviate le trattative e l'iter amministrativo per l'acquisizione della valvola di laminazione trans-critica, per il tubing e per la raccorderia del prototipo e della test-facility. Sono state definite le specifiche per la realizzazione degli scambiatori di calore PCHE (Printed Circuit Heat Exchanger) della test-facility; le piastre degli scambiatori di calore saranno realizzate su misura e assemblate con la tecnologia *diffusion bonding*.

LA4.5: È stata effettuata la progettazione del sistema TES ibrido di prova, che avrà le seguenti caratteristiche:

- tubo di scambio in acciaio AISI 304 con una lunghezza tra flange di 1.9m, un diametro esterno di 20mm e spessore di 1.5mm;
- mezzo di accumulo composto da due gusci cilindrici di lunghezza complessiva di 1.5m, diametro interno 20mm e diametro esterno 100mm
- portata dell'olio diatermico di circa 15 L/min, in grado di assicurare un regime completamente turbolento.
- isolamento con coibente in lana di roccia con diametro esterno del coibente pari a 300mm.

È stata quindi elaborata l'analisi termodinamica per prevedere il comportamento dinamico (tempi di carico e scarico) del sistema TEES con simulazioni numeriche sfruttando il Metodo degli Elementi Finiti ed il codice di calcolo Cast3M. Le analisi, in regime transitorio, sono state eseguite in configurazione 2D assial-simmetrica, considerando un unico modulo cilindrico della dimensione complessiva dei due, funzionalmente equivalente.

I principali risultati della simulazione numerica FEM hanno evidenziato quanto segue: a) la capacità termica teorica è di 1.16kWh per il caso base e 1.31 kWh per il mix al 10% di PCM, con un contributo in questo caso del calore latente del 5.5%; b) il mix al 10% produce un incremento di capacità termica del 14% rispetto al caso base; c) la massa di PCM fonde completamente dopo circa 2 ore di transitorio; d) in 6 ore, il calore accumulato è pari a 1.1 kWh per il caso base e 1.3 kWh per il mix al 10%, con un contributo del calore latente del 5.72%; e) il fattore di caricamento per il TEES con il calcestruzzo base è di circa il 96%, mentre quello con il mix al 10% è solo leggermente inferiore (95.5%); f) le perdite di calore dal sistema elementare sono valutabili in circa 140-160W, con un flusso prossimo ai 90-100W/m²; la temperatura esterna del coibente rimane al di sotto dei 30°C.

LA4.6: È stata effettuata la progettazione del circuito sperimentale (test-rig) comprendente il reattore a letto fluidizzato, corredato di sistemi di controllo per la temperatura, la pressione e le portate dei flussi gassosi. Sono stati contattati diversi fornitori per l'acquisto del materiale necessario per la realizzazione del circuito, tra cui il reattore in acciaio Inconel 625 resistente alla temperatura massima di 1000°C e ad una pressione massima di 5 bar, dotato di valvola di sfiato e di sistema di

riscaldamento, di flussimetri e di rivelatore massico per il calcolo della conversione della reazione.

I risultati ottenuti sono stati riportati nel report RdS_PTR 22-24_PR 1.2_LA4.6_093 . “Analisi teorica della densità di accumulo dei sistemi reattivi di interesse in reattori a letto fluidizzato” (Deliverable della LA 4.6: Analisi teorica preliminare delle prestazioni di sistemi termochimici ad alta temperatura basati su carbonati e ossidi misti in reattori a letto fluidizzato) A. Spadoni, M. Lanchi, S. Sau, N. Corsaro, A.C. Tizzoni, R. Liberatore, G. Giorgi, G. Napoli.

Si evince che tutti gli obiettivi della linea sono stati raggiunti.

LA4.7: La linea di attività, inerente all'accumulo termico a media temperatura ha riguardato la realizzazione e installazione di prototipi per l'accumulo termo-elettrico di energia (TEES) in calcestruzzo e del sistema sensibile/latente (SH/LH TES) e prove sperimentali di caratterizzazione termica.

In questo periodo sono stati realizzati i primi provini 68 cubici (lato circa 15 cm), di circa 7 kg con 10 diverse miscele contenenti differenti concentrazioni dei seguenti componenti: acqua, cemento, sabbia, brecciolini, breccia, graniglia, carbonati e materiali silicei, filler, fibre di carbonio, Fibercrom, Fibermix, un additivo fluidificante e in alcuni casi materiale a cambiamento di fase micro-incapsulato.

La citata FIBERCROM è una fibra metallica inossidabile, caratterizzata da ottima flessibilità, elevata resistenza meccanica e alla corrosione e da una notevole superficie specifica per l'adesione e l'ancoraggio alla matrice cementizia. La FIBERMIX invece è una fibra in acciaio a basso tenore di carbonio per il rinforzo di calcestruzzi e malte fortemente sollecitati, e conferisce elevate caratteristiche di duttilità e resistenze meccaniche agli urti.

Da notare che per le miscele realizzate, il rapporto acqua/calcestruzzo è stato mantenuto intorno al 35% in 6 casi e al 50% in altri, il rapporto aggregati fini/grossi variabile da 0.82 ad 1.08 e presenza di aggregati tra il 57 e il 79% in peso.

LA4.8: Attività propedeutiche per la realizzazione dei seguenti obiettivi previsti: acquisizione del dispositivo sperimentale su scala di laboratorio; preparazione delle polveri di dimensioni ottimali per la fluidizzazione nel reattore per i sistemi CaO-Mayenite/CaCO₃ e a base di ossidi misti; caratterizzazione in termobilancia dei cicli di carica e scarica termica per i due sistemi reattivi a diverse temperature e pressioni parziali. In particolare, sono state avviate le procedure di acquisizione delle seguenti strumentazioni :1) granulatore di tipo spray per applicazioni in scala di laboratorio, di marca Freund Vector, dotato di micro-alimentatore per il processamento di piccole quantità di materiale, pari a 5 grammi, necessario per l'agglomerazione/granulazione delle polveri fini allo scopo di consentire la preparazione delle polveri di dimensioni ottimali per la fluidizzazione nel reattore per i sistemi CaO-Mayenite/CaCO₃ e a base di ossidi misti 2) dispositivo sperimentale comprendente il reattore a letto fluidizzato in Inconel 625, il sistema di riscaldamento e preriscaldamento, filtro per particolato presso la ditta Isolceram 3) strumentazioni di controllo della temperatura, pressione e portate presso la ditta Precision Fluid. 4) Setacci e setacciatore meccanico per l'analisi granulometrica delle polveri prima e dopo il processo di carica/scarica 5)

	<p>Generatore di azoto per la produzione di azoto di elevata purezza, pari a 99.99 %, corredato di linee di distribuzione dei gas aria e azoto per alimentare il processo di carica/scarica del materiale nel reattore.</p> <p>WP5</p> <p>LA5.2: Nel terzo 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 riunioni, 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).</p> <p>L'attività di supporto agli stakeholder del settore e al rafforzamento della catena del valore nazionale delle batterie si è espletato anche con l'organizzazione di una tavola rotonda (in collaborazione con il progetto IPCEI Batterie) durante la manifestazione fieristica Key Energy a Rimini e relative interviste per giornali online e radiofoniche, dove si è sottolineato il ruolo di collante del progetto RdS 1.2 nonché del suo apporto innovativo nel campo delle batterie che può essere messo a sistema con il parterre industriale presente alla tavola rotonda e non solo.</p> <p>Sono proseguite le riunioni virtuali di coordinamento tra i tre enti e con i co-beneficiari.</p>
<p>UNIPG WP4</p>	<p>LA4.10: si è proceduto all'ottimizzazione del mix-design del calcestruzzo da utilizzare nei dispositivi per TES/TEES in studio. Sono state studiate nove nuove formulazioni con cui sono stati prodotti campioni da sottoporre alla caratterizzazione meccanica e termica. Con gli obiettivi di realizzare CLS più economici, ecosostenibili e performanti sono stati scelti e reperiti nuovi ingredienti che rispettassero tali criteri. In particolare, sono stati utilizzati cementi ecosostenibili dotati di certificazione EPD, fibre di carbonio provenienti dal riciclo di scarti tessili, fibre conduttive residue di filtraggio di TNT, filler da scoria di acciaieria, strips micrometriche di acciaio al cromo, fibre di acciaio BTC ad alta resistenza, materiali a cambio di fase stabilizzati con micro-incapsulamento (mePCM). Almeno quattro provini cubici (L=15cm) di ciascuna formulazione di CLS sono stati portati a maturazione e sottoposti a test di resistenza a compressione e di caratterizzazione termica. Le misure di conducibilità, capacità e diffusività hanno prodotto informazioni sugli effetti termici dei vari ingredienti fornendo importanti indicazioni per la formulazione dei CLS per TES. I test sono stati effettuati prima sui provini stagionati (cured) e poi sugli stessi provini sottoposti a degasaggio in temperatura (thermal treated) per simulare le condizioni di esercizio in moduli per TES. L'eco-cemento utilizzato ha soddisfatto le specifiche di resistenza meccanica con carenza delle miscele contenenti scoria di acciaieria e mePCM, probabilmente a causa delle dinamiche di reazione in relazione al contenuto di acqua. . I provini di riferimento con il nuovo cemento hanno fornito valori termici dopo degasaggio di conducibilità $l_{tt}=1.64 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ e di capacità $SF \text{ } c_{p-tt}=1.61 \text{ J/m}^3 \text{ }^\circ\text{K}$. Nello specifico, si è visto che anche piccole quantità di fibra di carbonio (0.23%wt. CF) migliorano la conducibilità termica (CF $l_{tt}=1.68 \text{ W/m}^\circ\text{K}$), che le lamine al cromo (CrS) ed ancora più le fibre di acciaio (SF) migliorano sensibilmente la capacità termica (CrS $c_{p-tt}=1.71 \text{ J/m}^3 \text{ }^\circ\text{K}$</p>

	<p>; SF $c_{p-tt}=1.79 \text{ J/m}^3 \text{ }^\circ\text{K}$). I risultati ottenuti hanno consentito di giungere al mix-design ottimale per le applicazioni TES in studio concludendo questa attività.</p> <p>È stato inoltre sperimentato un metodo di incapsulamento dei PCM che aumenta la produttività e può essere applicato agevolmente anche in processi industriali. Tale metodo prevede l'utilizzo di reagenti meno costosi ed un ridotto consumo di energia rispetto al processo iniziale. Con tale metodo sono stati prodotti mePCM in quantità sufficiente ($\approx 15 \text{ kg}$) a realizzare tutte le formulazioni di CLS contenenti i materiali a cambio di fase stabilizzati. In questa prima parte di questa attività, sono state anche studiate possibili formulazioni di PCM migliorati con l'utilizzo di nanocariche che potessero essere adatti alla stabilizzazione con il nuovo processo di incapsulamento e che avessero performances migliorate rispetto ai mePCM.</p>
<p>UNIPD WP4</p>	<p>LA4.11: è stato sviluppato un codice di calcolo a parametri concentrati in grado di effettuare l'analisi termica ed energetica del sistema di accumulo cementizio, al variare del tempo e delle condizioni di ingresso, al fine di valutare l'integrabilità di questa soluzione di accumulo con una potenziale utenza. I tempi di calcolo sono estremamente ridotti (dell'ordine di qualche secondo), il codice arriva a convergenza in modo molto rapido e questo rende possibile l'uso del codice di calcolo anche per applicazioni "in linea". I dati in input sono parametrici, per cui del tutto modificabili a seconda delle necessità di utilizzo e analisi.</p> <p>Il codice consente l'analisi dello stesso blocco di calcestruzzo, in cui sia stata aggiunta direttamente nella miscela una prefissata percentuale di materiale a cambiamento di fase (PCM), in modo da migliorare le prestazioni termiche ed aumentare la capacità di accumulo di calore.</p>
<p>UniFG WP4</p>	<p>LA4.12: È stata condotta un'analisi approfondita della fenomenologia fisica della fase di carica e scarica di un sistema LHTES con caratteristiche geometriche e fisiche compatibili con quelle richieste nella presente linea di ricerca. Geometricamente il sistema studiato è assimilabile ad una configurazione verticale di tipo tube-and-shell. È stato possibile considerare il sistema multi-tubo come costituito da un insieme modulare di una serie di moduli in parallelo nell'approssimazione di un comportamento lineare del sistema multi-tubo. Sono state condotte sia analisi di letteratura che casi numerici CFD complessi per avvalorare le ipotesi assunte per l'impostazione del modello semplificato.</p>
<p>UNIBA WP4</p>	<p>LA4.14: Nell'ambito di sistemi di accumulo termico a media temperatura, le attività della UO di Bari si sono concentrate su analisi dello stato dell'arte sui sistemi di accumulo termico a calore sensibile, con riferimento alle diverse tipologie di materiali utilizzate (sali idrati, materiali cementizi, leghe metalliche ecc), ai range di temperatura di riferimento e durabilità attesa, alle modalità di carica (energia elettrica o termica, attraverso uso diretto di gas di scarico o circuiti intermedi). Il confronto ha riguardato, ove disponibile, anche le efficienze di accumulo termico, le modalità per limitare le perdite energetiche, i costi per i materiali di accumulo e per l'integrazione di sistema.</p> <p>Le analisi hanno riguardato principalmente le soluzioni sviluppate da aziende su scala industriale e che presentano una maggiore maturità</p>

	tecnologica, disponibili a livello di impianti pilota, anche se su piccola scala.
UNIROMA1 WP4	LA4.15: sono stati determinati gli intervalli di condizioni operative, in particolare di velocità del gas, necessari per operare il reattore in condizioni di letto fluidizzato omogeneo. È stato analizzato l'effetto di temperatura del gas, dimensione delle particelle solide e grado di avanzamento della reazione sui valori delle velocità di minima fluidizzazione, minima di bolle e terminale. Questa analisi è stata effettuata sia per il sistema CaO/CaCO ₃ sia per quello MnAl ₂ O ₄ /MnAl ₂ O _{4-δ} . È stato inoltre sviluppato un modello del reattore a letto fluidizzato per ciascuno dei due processi. Le principali differenze tra i due sono legate alle cinetiche delle reazioni di carica e scarica, alle dimensioni delle particelle solide impiegate, alla densità apparente del solido e alle temperature operative.
UNIROMA2 WP4	<p>LA4.16: con l'obiettivo di sviluppare metodi di sintesi ottimizzati e studiare le caratteristiche morfologiche e termofisiche di sistemi termochimici basati su ossidi misti ad alta temperatura, l'attività svolta dal Centro Interdipartimentale Nanoscienze, Nanotecnologie e Strumentazione Avanzata (NAST) dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" (UniRM2), ha avuto come obiettivo lo studio e l'ottimizzazione della procedura di sintesi dell'ossido misto a struttura spinello MnAl₂O₄ facilmente riproducibile e scalabile, con un metodo molto performante ed economico.</p> <p>In vista dell'attività di caratterizzazione sperimentale dei materiali in condizioni semi-reali prevista nell'ambito della LA 4.8 da ENEA, le polveri ottenute sono state studiate in termini di proprietà morfologiche e termofisiche, confrontando i risultati con i dati presenti in letteratura.</p> <p>In particolare, sono stati riportati i risultati ottenuti dai test chimico-fisici pre e post cicli termici sui sistemi redox in esame e le fasi di caratterizzazione comprendono:</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'analisi di diffrazione di raggi X (XRD sugli spinelli ottenuti con due diverse tipologie di precursori, prima e dopo i cicli termici di carica e scarica); • la microscopia SEM + microanalisi EDS per definirne la morfologia, la struttura e la stabilità o la degradazione dopo i cicli termici; • l'analisi termogravimetrica (TGA) per studiarne la densità energetica, la resa di reazione e la stabilità. <p>Sono stati quindi preparati 20g dello spinello di MnAl₂O₄ con le caratteristiche morfologiche e le dimensioni giuste per essere successivamente pellettizzate ed utilizzate da ENEA nel reattore a letto fluidizzato che è stato progettato (LA 4.6) e verrà realizzato da ENEA (LA 4.8).</p>
UNIRM3 WP4	LA4.9: a partire dagli stati dimensionali del ciclo di potenza forniti dall'ENEA è iniziato lo studio per la definizione dell'architettura di massima dell'impianto. È stata inoltre avviata l'analisi bi-dimensionale delle turbomacchine ipotizzate per una valutazione di primo tentativo della rispondenza alle temperature e alle pressioni indicate negli stati dimensionali del ciclo termodinamico.