

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2019-2021 DELLA RICERCA DI SISTEMA  
ELETTRICO NAZIONALE**

**Presentazione dei progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26  
gennaio 2000**

**1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e  
relative interfacce con le reti**

**Durata: 36 mesi**

<b>ENTI</b>	
<b>Affidatario</b>	<b>Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile</b>
<b>Cobeneficiario 1</b>	<b>Politecnico di Bari</b>
<b>Cobeneficiario 2</b>	<b>Politecnico di Milano</b>
<b>Cobeneficiario 3</b>	<b>Politecnico di Torino</b>
<b>Cobeneficiario 4</b>	<b>Sapienza Università di Roma</b>
<b>Cobeneficiario 5</b>	<b>Sotacarbo – Società Tecnologie Avanzate Low Carbon SpA</b>
<b>Cobeneficiario 6</b>	<b>Università degli studi di Bari Aldo Moro</b>
<b>Cobeneficiario 7</b>	<b>Università degli Studi di Cagliari</b>
<b>Cobeneficiario 8</b>	<b>Università degli Studi di Camerino</b>
<b>Cobeneficiario 9</b>	<b>Università degli Studi di Napoli - Dipartimento Scienze Chimiche</b>
<b>Cobeneficiario 10</b>	<b>Università degli Studi di Padova</b>
<b>Cobeneficiario 11</b>	<b>Università degli Studi di Parma</b>
<b>Cobeneficiario 12</b>	<b>Università degli Studi di Tor Vergata</b>
<b>Cobeneficiario 13</b>	<b>Università degli Studi RomaTRE</b>
<b>Cobeneficiario 14</b>	<b>Università degli Sudi di Salerno</b>
<b>Cobeneficiario 15</b>	<b>Università di Bologna "Alma Mater Studiorum"</b>
<b>Cobeneficiario 16</b>	<b>Università di Perugia</b>
<b>Cobeneficiario 17</b>	<b>Università di Pisa</b>

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Dati generali	pag. 1 / 2
-------------------------------	--	---------------	------------

## DATI GENERALI DEL PROGETTO

Titolo del progetto: **1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti**  
 Durata in mesi: **36**

## ENTI

Nome dell' Affidatario: ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Nome del Cobeneficiario (1): PoliBa - Politecnico di Bari

Nome del Cobeneficiario (2): PoliMi - Politecnico di Milano

Nome del Cobeneficiario (3): PoliTo - Politecnico di Torino

Nome del Cobeneficiario (4): Sapienza - Sapienza Università di Roma

Nome del Cobeneficiario (5): Sotacarbo - Sotacarbo – Società Tecnologie Avanzate Low Carbon SpA

Nome del Cobeneficiario (6): UNIBA - Università degli studi di Bari Aldo Moro

Nome del Cobeneficiario (7): UniCa - Università degli Studi di Cagliari

Nome del Cobeneficiario (8): UNICAM - Università degli Studi di Camerino

Nome del Cobeneficiario (9): UNINA-DSC - Università degli Studi di Napoli - Dipartimento Scienze Chimiche

Nome del Cobeneficiario (10): UniPD - Università degli Studi di Padova

Nome del Cobeneficiario (11): UNIPR - Università degli Studi di Parma

Nome del Cobeneficiario (12): UNITOV - Università degli Studi di Tor Vergata

Nome del Cobeneficiario (13): UniRoma3 - Università degli Studi RomaTRE

Nome del Cobeneficiario (14): UniSa - Università degli Sudi di Salerno

Nome del Cobeneficiario (15): UniBo - Università di Bologna "Alma Mater Studiorum"

Nome del Cobeneficiario (16): UniPG - Università di Perugia

Nome del Cobeneficiario (17): UniPi - Università di Pisa

## COSTO

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Dati generali	pag. 2 / 2
-------------------------------	---	------------------	------------

Costo complessivo del progetto:

**€ 13.862.701,63**

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 1 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

## DESCRIZIONE DEL PROGETTO

### Abstract del progetto

#### *(in lingua italiana)*

Nel contesto del processo di decarbonizzazione del sistema energetico, i sistemi di accumulo dell'energia, attraverso un approccio che mira alla integrazione e complementarietà delle diverse soluzioni disponibili (accumulo elettrico, termico e P2G), potranno garantire il bilanciamento di reti elettriche con elevata generazione da vRES ed una maggiore capacità di accumulo stagionale e, al tempo stesso, favorire la penetrazione delle FER in settori energivori tra cui quello dei trasporti e industriale.

Il progetto, nel suo complesso, mira a minimizzare i rischi di esercizio, i costi di manutenzione e di investimento, l'affidabilità, l'eco-compatibilità e l'efficienza, delle diverse tecnologie di accumulo sopra descritte. Di seguito sono illustrati i programmi di ricerca specifici relativamente ai 3 WPs di progetto.

WP1 Accumulo elettrochimico: il programma di ricerca intende perseguire l'intera catena del valore della batteria, dallo sviluppo di nuovi materiali a nuovi sistemi di batterie. L'obiettivo generale è sviluppare tecnologie di accumulo e conversione dell'energia ad alte prestazioni, durature ed economiche ed a minore impatto ambientale. Nello specifico saranno condotti studi su materiali elettrodici per batterie litio-ione ed in particolare su anodi e catodi ad elevata capacità e catodi ad elevata tensione di lavoro prodotti con materiali abbondanti e poco costosi. Si arriverà anche allo sviluppo di processi produttivi per la realizzazione dei materiali catodici. Le attività di ricerca non riguarderanno solo la tecnologia agli ioni di litio, ma anche le batterie innovative post litio-ione (Na e S) ed il riuso delle batterie.

WP2 Accumulo termico: l'obiettivo del progetto punta a soluzioni innovative e compatte, basate su reazioni termochimiche, moduli cementizi e materiali a cambiamento di fase (PCM). Il primo, per applicazioni anche di tipo stagionale, è finalizzato all'individuazione di materiali reattivi reversibili che possano convertire l'energia termica ad alta temperatura in energia chimica da restituire come calore, a differente temperatura e pressione. Si punta a reazioni gas-solido, con ossidi metallici e carbonati. Si valuterà, in particolare, la densità di accumulo effettiva, la cinetica e la frazione di materiale reattivo. Le analisi teoriche si avvarranno di sperimentazioni con un set-up, appositamente progettato e realizzato. Sui materiali cementizi e PCM, l'obiettivo è di ridurre i tempi di carico e scarico termico e di sviluppare metodi previsionali di tipo CFD, FEM e semplificati che consentiranno di sviluppare materiali e moduli di accumulo ottimizzati, da sottoporre a sperimentazione. Sarà infine esaminata la sostenibilità economica di tali metodi e l'integrazione in sistemi di produzione energetica di tipo rinnovabile.

WP3 Power to Gas: le attività coprono le tecnologie della catena P2G (e P2L, liquidi) compresa la generazione elettrica flessibile da turbogas, come soluzione integrata per aumentare la sicurezza del sistema elettrico, favorire la sua progressiva decarbonizzazione e la penetrazione delle rinnovabili. La produzione di idrogeno dall'eccesso di vRES è un elemento chiave della catena; sono considerati 4 processi innovativi, 2 di tipo elettrochimico (elettrolisi AEM e in carbonati fusi), alternativi ai maturi Alcalino e PEM, e 2 di tipo termochimico (cicli di water splitting e conversione del biogas a bassa temperatura). L'idrogeno può poi essere iniettato nella rete del GN o trasformato in combustibili gassosi (metanazione) e liquidi da immettere sul mercato o da reimpiegare per la generazione elettrica da turbogas, il miglior candidato per servizi di back-up. Questo consentirebbe di assorbire l'eccesso di produzione da vRES e rilasciarlo dove e quando serve. Nonostante i turbogas siano percepiti come tecnologie mature, il loro esercizio flessibile richiede nuove tecnologie: strategie di combustione e cicli a CO<sub>2</sub> supercritica integrati con accumulo termico saranno oggetto di ricerca.

### Abstract del progetto

#### *(in lingua inglese)*

In the context of the decarbonisation process of the energy system, through an approach that aims at the integration of the different solutions available (electrochemical, thermal and P2G), the energy storage systems will guarantee the balancing of the grid, a greater seasonal storage capacity and, at the same time, will

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 2 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

encourage the penetration of vRES in energy-intensive sectors, including transport and industrial sectors. The project, as a whole, aims to minimize operational risks, maintenance and investment costs, reliability, eco-compatibility and efficiency of the several storage technologies described above. The specific research programs relating to the 3 project WPs are illustrated below:

The research program intends to pursue the entire battery value chain, from the development of new battery materials to new battery systems. The aim of the research is to demonstrate high performance, durable and economical energy storage of the innovative batteries. Therefore, research activities will be performed on electrode materials for lithium-ion batteries and in particular on high capacity anodes and cathodes and high working voltage cathodes produced with abundant and inexpensive materials. Part of the work also includes the development of production processes for the realization of cathode materials. Research on post-lithium-ion batteries and on the reuse of batteries also will be carried out.

Concerning thermal storage, WP2 proposes innovative and compact solutions, based on thermochemical reactions, concrete and phase change materials (PCM). The first one, for seasonal applications too, is aimed at identifying reversible reactive materials that can convert, at high temperature, thermal into chemical energy to be returned as heat, at different temperatures and pressures. It aims at gas-solid reactions, with metal oxides and carbonates. In particular, the actual storage density, the kinetics and the reactive material fraction will be evaluated. The theoretical analyses shall make use of experiments with a set-up, adequately designed and implemented. About concrete and PCM materials, the aim will be to reduce the thermal charge/discharge times and to develop forecasting CFD, FEM and simplified methods. These models will allow the development of optimised materials and storage modules, which in turn shall be subjected to experimentation. Finally, the economic sustainability of these methods and the integration into renewable energy production systems will be examined.

The Work Package 3 focuses on P2G/L and flexible gas turbine electric generation technologies, as integrated solution to increase the security (flexibility, resilience, adequacy) of the electric system, favour its progressive decarbonization and the share of renewable sources of energy. H2 production systems from renewable sources are key elements for such technologies. Besides the more mature alkaline and PEM electrolysis technologies, 4 advanced processes are considered in the project, two electrochemical and two thermochemical, to fully exploit H2 flexibility as a vector and favour the highest integration between different energy networks and storage systems. H2 produced from the excess of vRES (variable Renewable Energy Sources) can be injected into the natural gas network or transformed (by using CO2) in gaseous or liquid fuels to be put into the market or used for gas turbine electric generation, that is the best candidate for back-up services today and in the next future. This would absorb the excess of vRES production and release it, with some efficiency losses, where and when requested. Although gas turbines are considered as already mature technologies, their flexible operation requires the development and implementation of new technologies to enhance their load- and fuel-flexibility: new combustion strategies and supercritical CO2 cycles integrated with thermal storage are possible solutions.

### **Attività svolte nel triennio precedente**

Il precedente progetto “Materiali e tecnologie per l'accumulo di energia per il sistema elettrico”, sviluppato nell'ambito del PTR 2015-2018 ha visto l'attuazione di 4 linee principali di ricerca. La linea (a) ha permesso di individuare materiali di frontiera per la realizzazione dei componenti attivi dei sistemi di accumulo elettrico ed elettrochimico. In particolare, sono stati studiati sistemi litio-ione innovativi, sistemi post litio-ione ed è stato realizzato e testato l'impianto per la produzione di materiale elettrodico. Nell'ambito della linea (b) è stato realizzato un sistema di ricarica “flash” tramite un pantografo, sperimentandolo sia al banco che su strada. Le tematiche della linea (c) hanno riguardato lo studio dell'invecchiamento, la sicurezza in condizioni di uso e di abuso nonché il riuso delle batterie non più impiegabili nella trazione (second life). Nella linea di attività (d) sono state valutate le prestazioni dei sistemi fotovoltaici integrati con sistemi di accumulo. Inoltre si è posta attenzione alla diffusione dei risultati a livello nazionale ed internazionale, attraverso la pubblicazione di numerosi articoli e l'organizzazione di diversi incontri/WS: nel 2019 (“workshop interno The ENEA Battery Value Chain” in ENEA Casaccia e “Il ruolo delle batterie nella transizione energetica. Le sfide per il sistema

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 3 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

della ricerca e innovazione in Italia e in Europa” presso sede ENEL a Roma) e nel 2018 (“Meeting tre Enti PAR” presso ENEA Casaccia; Riunione Progetto Nazionale Accumulo tra ENEA e partner universitari” presso ENEA Sede).

Per quanto riguarda la generazione flessibile da turbogas, alcune attività proseguono quanto iniziato nel triennio precedente: è stata realizzata la sezione per emulare l'EGR nell'impianto AGATUR e progettata quella di ricircolo dei gas combusti verso l'ingresso turbina. E' stato realizzato il test-rig ROMULUS (per studi sperimentali e numerici sulla dinamica della combustione in condizioni EGR. La micro-turbina Turbec T100 è stata equipaggiata con un doppio sistema di alimentazione ed un opportuno controllo; installato il combustore ARI100 con le opportune modifiche progettate da ENEA; la sperimentazione ha dimostrato il funzionamento stabile in assetto dual-fuel. Le tre facility saranno usate per le attività sulla fuel-flexibility. Sono anche stati condotti studi numerici e sviluppate tecniche di monitoraggio. Inoltre, sono stati avviati gli studi sui cicli a CO2 supercritica, che troveranno maggiore spazio nel nuovo triennio con la definizione di un ciclo integrato con un accumulo termico per impianti combinati.

Per quanto riguarda l'utilizzo della CO2, sono stati sviluppati, presso SOTACARBO, processi catalitici per produrre combustibili e “chemicals” (da surplus di energia elettrica) e valutato l'impatto in Sardegna. In ENEA, è stato realizzato un prototipo per testare un reattore di metanazione a fascio tubiero in scala pilota: verifiche sperimentali, studi modellistici e test di catalizzatori. Condotti studi cinetici della reazione di disidratazione del metanolo in DME e completato un impianto da laboratorio.

Sull'accumulo termico ENEA non ha condotto attività di ricerca nel triennio precedente, relativamente alla Ricerca di Sistema. Nell'ambito del progetto europeo STAGE-STE ha però condotto prove preliminari su moduli cementizi non ottimizzati. Ciò ha permesso di mettere a punto l'apparecchiatura di circolazione, riscaldamento e raffreddamento dell'olio diatermico (HTF), denominata Solteca3, così da poter essere utilizzata per le prove proposte in questo progetto. Sono state altresì condotte delle prove preliminari su carbonati di calcio e di manganese, nell'ambito dell'accumulo termochimico, per poter testare le procedure che verranno applicate nel nuovo progetto. Valutazioni teoriche su ossidi di cobalto e di manganese oltre che su idrossidi di calcio sono stati utili per ipotizzare possibili applicazioni di questi materiali per accumuli stagionali ad alta temperatura.

## **Inquadramento del Progetto nello stato dell'arte**

*Stato dell'arte nazionale e internazionale relativamente alle attività previste dalla proposta di progetto*

WP1 Accumulo elettrochimico: le batterie al litio rappresentano i sistemi di accumulo elettrochimico più performanti attualmente disponibili [1.1]. Tuttavia esistono ancora sfide irrisolte: elevati costi [1.2] e criticità in termini di capacità [1.3]. Inoltre, l'elettrolita liquido rappresenta un costo/peso significativo nella batteria [1.4]. Un cambiamento nel paradigma delle attuali batterie è quello di sostituire l'anodo di grafite con il litio metallico (Li) [1.5]. L'anodo di Li ha circa 10 volte la capacità gravimetrica dell'anodo di grafite. Tuttavia, ripetuti cicli di carica/scarica portano a deposizioni non uniformi di Li, che generano dendriti [1.6]. Le attività di ricerca sono tese ad individuare soluzioni idonee a risolvere il problema della formazione dei dendriti. Gli elettroliti a stato solido (SSE) sono uno tra gli approcci da investigare per risolvere questo problema [1.7]. Altre problematiche da affrontare riguardano il degrado interfacciale dei SSE con il litio. Ulteriori problemi sorgono poi quando il litio deve essere accoppiato con sostanze chimiche quali zolfo ed ossigeno per realizzare batterie LiS e LiO2 [1.8]. Parallelamente si stanno sviluppando batterie sodio-ione (SIB) [1.9]. Le attuali batterie SIB perdono rapidamente energia durante i primi 500 cicli di carica e scarica, condizione che non ne consente la commercializzazione [1.10]. Le attività di ricerca si concentrano sulla comprensione della sinergia tra i componenti della batteria [1.11] (elettrolita, additivi, elettrodi ecc.) e su come ciascuno influenza le prestazioni e la decomposizione della batteria [1.12].

WP2 Accumulo termico: materiali cementizi come accumulo termico a medio-alte temperature, è stato sviluppato l'Heatcrete®, sperimentato in due moduli da 500 kWth negli UAE [2.1, 2.2]. Il DLR, invece, ha realizzato un modulo con uno scambiatore integrato di 132 tubi di 9 m e diametro di 18 mm [2.3- 2.6]. Rispetto ad essi il materiale sviluppato da ENEA [2.7- 2.11] nel PAR 2012-14 e successivamente nell'ambito del progetto europeo STAGE-STE presenta una conduttività termica maggiore (2,8 rispetto ai 2,4



PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 4 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

dell'Heatcrate e 1,5 W/(m/K) del DLR) ed una maggiore capacità termica: 2,2 vs 2 vs 1,6 MJ/(m<sup>3</sup>/°C) rispettivamente).

Altri studi su materiali cementizi utilizzati come accumulo termico ad alta temperatura sono stati condotti presso l'Università dell'Arkansa [2.12]. L'Università di Evora sta studiando nuove miscele, incorporando scorie derivanti da attività industriali ad alto contenuto metallico [2.13]

Con riferimento all'accumulo con PCM, sono stati condotti studi con varie specie e a differenti intervalli di temperatura [2.14 - 2.23].

L'accumulo chimico si predispone ad applicazioni di lungo periodo. [2.24 - 2.34].

WP3 Power to Gas: le tecnologie power-to-gas/liquids (P2G/L) [3.10] possono offrire un contributo alla flessibilità del sistema energetico attraverso la stabilizzazione della rete elettrica in scenari con elevato utilizzo delle RES [3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6]. Gli elettrolizzatori usati sono di tipo PEM per il 50%, alcalino per l'altra metà [3.2]. Tra le tecnologie di metanazione, biologica e catalitica, quest'ultima è la più usata [3.7, 3.8, 3.9]. Con riferimento al processo di metanazione catalitica e alla produzione di dimetiletere [3.11, 3.12, 3.13, 3.14]. Con riferimento invece al processo di bio-metazione[3.17, 3.18, 3.19].

La generazione elettrica a gas è uno dei principali fornitori di flessibilità e una delle soluzioni di immediata applicazione per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>. Tuttavia il funzionamento stabile dal 100% di gas naturale al 100% di idrogeno e qualsiasi loro miscela (fuel-flexibility) è una sfida ancora da superare, come testimoniato dai progetti in corso[3.20, 3.21].

Allo stato dell'arte, l'utilizzo di miscele gas naturale/idrogeno nelle microturbine non ha ancora raggiunto la maturità commerciale ed è stato testato in un ristretto numero di campagne sperimentali[3.23].

La flessibilità di carico dei cicli combinati, si attesta tra il 50 e il 60%. Gli impianti allo stato dell'arte vedono questo margine esteso fino al 60-70% con punte dell'80% nel caso di turbina a gas con combustione sequenziale[3.24].

Passando agli elettrolizzatori, quelli alcalini a membrana anionica sono oggi in una fase di ricerca di base. I requisiti minimi per dare alla tecnologia una prospettiva di sviluppo sono: la capacità di lavorare con acqua a bassa conducibilità, l'utilizzo di catalizzatori di metalli non nobili, assenza di degradazione sistematica della membrana alle temperature operative di esercizio, minima tensione di cella e tale da ottenere densità di corrente adeguate[3.25-3.27].

L'elettrolisi del vapore in carbonati fusi (MCSE) è un processo emergente ancora scarsamente studiato in letteratura. L'approccio principalmente seguito consiste nell'operare celle a combustibile a carbonati fusi (MCFC) in modalità inversa [3.28-3.32]; tali studi, volti principalmente a fornire una proof of concept sperimentale del processo, sono limitati ad esperimenti condotti su celle a bottone dalla superficie attiva di 3 cm<sup>2</sup>. Un approccio ancora più innovativo è stato proposto recentemente da ENEA, cercando di abbassare le temperature operative al di sotto dei 600 °C. La ricerca si trova ancora in uno stato di bassa maturità[3.33-3.39].

L'uso di cicli termochimici della famiglia dello zolfo per la produzione di idrogeno, è stato riconsiderato da ENEA in un nuovo concept oggetto di un precedente brevetto [3.40]. Il panorama della ricerca su questo fronte è per ora limitato a test in apparecchiature di laboratorio mirate ad acquisire elementi sugli aspetti fondamentali del processo[3.41-3.43].

La conversione termochimica del biogas a bassa temperatura rappresenta una sostanziale innovazione di uno dei processi maggiormente consolidati per la produzione di H<sub>2</sub> [3.44]. Negli ultimi anni, sono state sviluppate nuove varianti del processo operanti a temperature più basse (450-550 °C)[3.45-3.47].

### *Obiettivi scientifici e tecnologici e progressi attesi rispetto allo stato dell'arte*

WP1 Accumulo elettrochimico: per rendere adatta la tecnologia LIB per applicazioni stazionarie si studieranno ossidi stratificati ad alto contenuto di litio con costi ridotti. La modellazione computazionale avanzata consentirà la prototipazione rapida e lo screening di materiali. Parallelamente si cercherà di sostituire i materiali ad intercalazione con materiali capaci di reagire con il litio mediante processi di alligazione o conversione. Per rendere la tecnologia SIB comparabile con quella LIB occorre studiare e sviluppare materiali catodici che presentino un'elevata capacità specifica, una buona stabilità ciclica e un'alta densità di energia. Al fine di migliorare la stabilità termica e la bagnabilità dei separatori si propone l'uso di tessuti-non tessuti

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 5 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

polimerici. Inoltre si seguirà un approccio combinato, che sfrutti sinergicamente le proprietà dei sali a base di anioni ortoborato, dei liquidi ionici e degli elettroliti gelificati. Per quanto riguarda l'elettrolita per le NIB verranno disegnati sistemi elettrolitici a base di solventi organici e/o acquosi. La chiave per risolvere il problema della formazione dei dendriti è la protezione dell'anodo di litio: sviluppare un materiale di rivestimento in grado di proteggere la superficie del litio metallico e rendere la deposizione degli ioni litio uniforme, evitandone la crescita preferenziale in alcuni punti. Questo permetterebbe di sviluppare le tecnologie basate su coppie elettrochimiche Li-metallo/X in cui X potrebbe essere rappresentato da S o O<sub>2</sub>.

WP2 Accumulo termico: la proposta concernente i materiali cementizi mira ad inserire dei materiali a cambiamento di fase all'interno del calcestruzzo, già utilizzato, per incrementarne la capacità termica. Riguardo lo sfruttamento del calore latente, studiando approfonditamente i moti convettivi e conduttivi che si instaurano all'interno del PCM, si aspira ad ottenere una configurazione ottimale con tempi di carica e scarica più rapidi e costi più contenuti, per un più efficace accoppiamento con i sistemi di produzione energetici che richiedono tempistiche diverse. I sistemi selezionati da ENEA ai fini dell'accumulo termochimico sono di tipo gas-solido, con ossidi metallici e carbonati sottoposti a cicli di reazioni redox e carbonatazione/de-carbonatazione, rispettivamente. I materiali scelti hanno la peculiarità di essere a basso impatto ambientale ed a costi contenuti ed di essere utilizzati anche per la cattura della CO<sub>2</sub>. Presentano inoltre un buon calore di reazione.

WP3 Power to Gas: il costo specifico del gas prodotto con la tecnologia P2G è ancora elevato, fino a dieci volte rispetto a quello del gas naturale, poiché ci sono ancora barriere di tipo tecnologico ed economico. Le attività e gli impianti prototipali previsti, di diversa taglia e finalità (esercizio in condizioni fluttuanti; uso dei risultati per il futuro dimensionamento di apparecchiature commerciali), mirano a ridurre queste barriere.

Sul lato produzione di idrogeno, il progetto mira realizzare e validare, su scala di laboratorio, 4 processi innovativi potenzialmente più efficienti dell'elettrolisi alcalina e PEM o in grado di essere alimentati con fonti energetiche diverse (calore da fonte rinnovabile o di scarto industriale). L'analisi dei dati sperimentali e tecnico-economica permetteranno di valutare con più accuratezza le potenzialità delle tecnologie proposte e fornire indicazioni per gli ulteriori sviluppi.

Sul lato turbine a gas si mira ad aumentarne la fuel-flexibility, aumentandone la flessibilità di carico e riducendo il minimo tecnico rispetto alla potenza di picco: i cicli turbogas combinati con un ciclo di potenza a sCO<sub>2</sub> integrato con una pompa di calore a CO<sub>2</sub> possono differire l'eccesso di produzione da vRES per diverse ore con efficienze dell'ordine del 60% (energia restituita), superando i limiti legati alla specificità del sito (pompaggio) o al limitato numero di cicli (batterie).

#### *Eventuali collegamenti con altri progetti/soggetti relativamente alle attività previste dalla proposta di progetto*

Gli eventuali collegamenti con gli altri affidatari, delle singole attività all'interno di ognuno dei WP del progetto, sono contenuti nel documento di coordinamento generato da CdC e allegato alla presente proposta.

Per ciò che concerne l'esistenza di altri progetti, nazionali od internazionali, collegati a quanto proposto, si riporta nel seguito la situazione per ogni WP.

WP1 Accumulo Elettrochimico. ENEA ha presentato con scadenza ad ottobre 2019, insieme ad alcuni partner universitari, un progetto FIRB incentrato sulle batterie con elettrolita solido e il relativo studio dell'interfaccia con il litio metallico, con possibile applicazione per le batterie ad intercalazione con anodo in litio metallico oppure per quelle a conversione (principalmente litio zolfo). Inoltre ENEA è coinvolta nella preparazione di una proposta europea con scadenza ad aprile 2020, il cui tema di ricerca è incentrato su batterie innovative per l'accumulo stazionario. Anche in questo caso il progetto verterà sullo studio di elettroliti innovativi ibridi per rendere più performanti le batterie litio/zolfo.

WP2 Accumulo termico: oltre alla già citata partecipazione a STAGE-STE, ENEA, nell'ambito di una proposta di progetto europeo H2020 intitolata "SUNSHINE (LCE-12-2017), proponeva lo sviluppo di un sistema SHIP (solar heat for industrial processes) da accoppiare con l'impianto esistente di produzione di vapore di servizio, dimostrandone l'efficacia su scala industriale presso lo stabilimento chimico ENI di Assemini (CA), per la produzione continuativa di calore con un sistema di accumulo termico in semplice calcestruzzo. Nel 2018, ENEA aveva proposto, nell'ambito di un progetto europeo H2020 intitolato TES-PLUSS (LC-SC3-RES-17),



PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 6 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

l'uso di PCM incapsulati, eventualmente a proprietà incrementate, in un sistema di accumulo ibrido sensibile/latente. Questi due progetti non sono stati finanziati pur avendo ricevuto una buona valutazione generale. Infine ENEA partecipa al progetto Horizon2020 denominato "Sfera III", che prevede attività complementari al presente WP: elaborare le procedure chiave per reazioni redox di ossidi metallici e sviluppo di protocolli di test per dimostrare la fattibilità dei materiali come mezzi di accumulo termico, prendendo in considerazione anche i PCM ed i TCM.

WP3 Power to Gas: ENEA ha un Accordo Quadro con SGI (Società Gasdotti Italia; e ne sta definendo un altro con SNAM) per realizzare progetti pilota P2G per promuovere l'uso innovativo delle reti, l'accumulo e la distribuzione di gas diversi da quello naturale. ENEA è coinvolta nel progetto +GAS che punta al P2G per produrre biometano per autotrazione. Inoltre, lo sviluppo su scala pilota dei processi di conversione di energia elettrica e CO<sub>2</sub> in combustibili si integra e completa con le attività in corso presso Sotacarbo, finanziate dalla Regione Autonoma Sardegna.

Relativamente all'elettrolisi AEM, ENEA ha collaborato con la ERREDUEGAS ed ha partecipato ad una proposta per un bando FCH-JU. L'elettrolisi in carbonati fusi è parte della roadmap per lo sviluppo dei solar fuels (progetto STAGE-STE).

I temi relativi ai processi termochimici per la produzione di idrogeno sono stati parzialmente trattati in progetti europei a cui ENEA ha partecipato, tra cui SOL2HY2 e CoMETHy (FP7), che hanno coinvolto diversi soggetti industriali italiani ed europei.

Dato il crescente interesse sull'idrogeno, la fuel-flexibility è diventata internazionalmente rilevante (SIEMENS, ANSALDO ENERGIA, BAKER HUGHES, MITSUBISHI). L'interesse è su tecnologie di combustione che consentano l'uso di combustibili con tenore crescente di idrogeno, applicabili con interventi di retrofit a basso costo. C'è anche un forte interesse per i cicli a CO<sub>2</sub> supercritica (BAKER HUGHES, SIEMENS, programma STEP in US); la Coreana KEPCO vuole collaborare con ENEA; il programma H2020 ha già finanziato progetti sul tema, ed una nuova call è prevista per il 2020.

### *Bibliografia stato dell'arte*

Presente in allegato

### **Obiettivi e risultati**

#### *Obiettivi finali del progetto*

WP1 Accumulo elettrochimico:

Si riportano, di seguito, gli obiettivi definiti:

-aumentare la densità di energia, sostituendo l'anodo di grafite con anodo al litio metallico ed introducendo elettrolita solido

-migliorare la sicurezza, attraverso lo sviluppo di batterie litio-zolfo e sodio-ione

-ridurre il costo, attraverso lo sviluppo di batterie litio-zolfo e sodio-ione

-allungare il ciclo e la durata di vita delle batterie, risolvendo il problema della formazione dei dendriti che si formano sull'anodo metallico

Alla fine del triennio si stima saranno compresi appieno i meccanismi di funzionamento dei nuovi sistemi di accumulo proposti, sviluppati dei prototipi e compresi i meccanismi di degrado.

WP2 Accumulo termico: è possibile distinguere obiettivi di tipo tecnologico ed economico. Nel primo caso si punterà: all'ottimizzazione della superficie di scambio tra fluido termico e materiale di accumulo (-20% rispetto a sistemi classici a fascio tubiero); alla maggiore densità di accumulo energetico con riduzione volumi (-30% rispetto a sistemi commerciali a range di temperatura comparabili); ad una adeguata ciclabilità dovuta ai minori stress imposti (target finale: 75% vita utile impianto con cui accoppiare l'accumulo, qui simulabile in almeno 10 cicli senza variazioni a regime); all'uso di materiali ecocompatibili, facile scalabilità per approccio modulare eseguito.

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 7 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

Per quanto riguarda l'obiettivo economico si punterà a ridurre sia i costi di investimento (20 €/kWh a processo maturo), che quelli di O&M (-20%)

WP3 P2G:

-studio analisi tecnico economica: lo studio tecnico economico delle tecnologie P2G prevede la quantificazione di indicatori (emissioni specifiche gCO<sub>2</sub>eq/kWh, costo specifico dell'accumulo energetico nel range 1-10 €/kgH<sub>2</sub> e 20–200 c€/kWhSNG) utili per l'analisi tecnico-economiche e ambientali di sistemi P2G e per il loro confronto con altre tecnologie di accumulo energetico.

P2G-metanazione catalitica: l'impianto P2G prototipale per la produzione di 'Green Gas' per valutare e testare configurazioni di processo e reattoristiche, con un miglioramento delle prestazioni di scambio termico del 3 % e possibilità di realizzare il processo in condizioni "once through". Verranno definite per il processo di metanazione strategie di controllo in condizioni di carico variabile e presenza di "punti caldi" nel letto catalitico, andando a sviluppare un modello utilizzabile per lo scaling del processo.

P2G-metanazione biologica "in-situ": obiettivo finale è di incrementare sia la velocità di produzione del metano (LCH<sub>4</sub>/LReat. \* giorno) al netto di quella prodotta per digestione anaerobica, sia la sua concentrazione nel biogas.

P2L-DME: l'uso di temperature minori nel processo di sintesi diretta del DME da miscele H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, oltre che essere un vantaggio energetico diretto, offre la possibilità di utilizzare calori di risulta da un maggior numero di sorgenti.

P2G/L: l'infrastruttura di ricerca costruita presso SOTACARBO (operante fino a 60 bar e 270 °C per il metanolo e fino a 500 °C per il metano), di taglia significativa (decine di kg/giorno), sarà un impianto prototipale integrato volto allo sviluppo di processo e alla sperimentazione della sintesi di combustibili sia liquidi che gassosi.

Fuel-Flexibility – microturbine: l'idrogeno sarà testato nell'ambito della microgenerazione elettrica. In particolare, la microturbina TURBEC T100 sarà esercita tra il 20 ed il 100% della potenza nominale in assetto dual-fuel (metano/idrogeno) con tenore di idrogeno variabile con continuità nel range 0-11% in volume.

LoadFlexibility – cicli combinati: si propone una configurazione impiantistica di ciclo turbogas combinato, la cui sezione "bottoming" consiste in un ciclo di potenza a sCO<sub>2</sub> integrato (ibridizzato) con una pompa di calore che utilizza lo stesso fluido di lavoro in condizioni trans-critiche e un sistema di accumulo termico freddo. L'obiettivo è quello di incrementare del 10% la flessibilità di carico rispetto allo stato dell'arte

### *Principali risultati attesi*

WP1 Accumulo elettrochimico:

-sviluppo di materiali innovativi per batterie ad elevate prestazioni o costi ridotti in ambito stazionario per prestazioni di potenza o di energia

-realizzazione e prova di batterie prototipali innovative con anodo di litio metallico

-progettazione, realizzazione e prova di un prototipo da circa 4,0 Wh di una batteria innovativa litio-zolfo

-progettazione, realizzazione e prova di batterie litio-ione o sodio-ione per applicazioni sia di energia che di potenza, ottimizzate nella scelta dei materiali, del dimensionamento della cella e del processo di assemblaggio di celle e stack, prodotti su linee pilota

-sviluppo di tecnologie per la produzione di materiali elettrodici per batterie litio/sodio-ione in quantità dell'ordine del chilogrammo

WP2 Accumulo termico:

-impianto di prova TCM (Thermo-chemical material) su scala di laboratorio per la verifica delle reazioni di carica e scarica in condizioni realistiche di pressione e temperatura per reazioni di carbonati ed ossidi metallici

-moduli costituiti da materiale cementizio nella forma "base" e con quantità di materiale a cambiamento di fase stabilizzato in forma, nonché di materiali a cambiamento di fase con scambiatore integrato

-prove di caratterizzazione termica e meccanica su provini di materiali cementizi con materiali a cambiamento di fase stabilizzati in forma

-caratterizzazione termica dei moduli cementizi e relativi modelli FEM, nonché di moduli PCM con relativi modelli CFD e semplificati

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 8 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

- prove sperimentali sulla selezione dei materiali di accumulo termochimico e, limitatamente ai migliori, test in condizioni realistiche di temperatura e pressione; report su tutti i dati sperimentali ottenuti e relativi modelli termodinamici e cinetici
- report su analisi tecnico-economiche di sistemi che utilizzano moduli cementizi e PCM, anche in vista di una loro applicazione industriale, nonché su LCA di quelli che utilizzano SS-CPCM
- proceeding e poster relativi a partecipazione a congressi e workshop, pubblicazioni su riviste tecniche specializzate
- report su screening sperimentali di innovativi sistemi di accumulo termochimico basati su ossidi metallici e carbonati, caratterizzazioni
- WP3 Power-to-Gas:
  - impianto prototipale in scala da laboratorio per la sintesi di metano, equipaggiato con elettrolizzatore, presso ENEA
  - impianto prototipale in scala da laboratorio per la sintesi diretta di DME da miscele H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> utilizzando catalizzatori polimerici attivati con metalli, presso ENEA Casaccia
  - impianto prototipale di taglia significativa per la sintesi di combustibili gassosi (metano) e liquidi (metanolo e DME) presso SOTACARBO
  - la sperimentazione di metanazione biologica "in-situ" sarà condotta su un impianto CSTR già presente in ENEA Casaccia
  - la sperimentazione sulla fuel-flexibility sarà condotta su una microturbina TURBEC T100 in assetto dual-fuel, già presente in ENEA Casaccia, dopo aver progettato ed installato la relativa sezione di alimentazione idrogeno
  - catalizzatori innovativi, modelli e prove di caratterizzazione
  - modelli numerici e codici di calcolo per la simulazione dei processi
  - prove sperimentali e caratterizzazione dei processi anche in condizioni tempo varianti e a carichi parziali.
  - analisi tecnico-economico-normativa delle tecnologie P2G/L nel contesto Italiano ed in quello più specifico della Sardegna
  - si studieranno e svilupperanno unità prototipali per alcuni processi innovativi che utilizzano l'energia rinnovabile come input di processo. In particolare l'attenzione è rivolta a processi di elettrolisi di tipo AEM e a alta temperatura e a processi di tipo termochimico che sfruttano la fonte solare. Lo sviluppo dei prototipi sarà affiancato da un'analisi tecnico-economica preliminare di processi innovativi per la produzione di idrogeno d fonte rinnovabile
  - report sulle attività previste, proceeding e poster relativi a partecipazione a congressi e workshop, pubblicazioni su riviste tecniche specializzate

### *Diffusione risultati*

Per consentire la massima diffusione dei risultati, il progetto prevede in primo luogo la redazione di circa 150 rapporti tecnici, che saranno resi pubblici attraverso il sito dell'ENEA. Inoltre si produrranno articoli scientifici su riviste ad alto impatto (ad es. J. Hydrogen Energy, ChemSusChem, Energy and Environmental Science, Energy Procedia, Energy, Chemical Engineering Research and Design, Materials, ecc) per garantire la condivisione dei risultati con le comunità accademiche e professionali.

Saranno organizzati seminari di divulgazione rivolti a ricercatori, autorità di regolamentazione ed esperti pertinenti. L'obiettivo è diffondere le conoscenze, facilitare la discussione con le comunità interessate e sostenere anche la formazione di esperti sulle nuove tecnologie.

Non mancheranno presentazioni a conferenze e convegni accademici e professionali, incentrati sul tema dell'accumulo.

In ultimo, non mancheranno presentazioni e partecipazioni ad eventi politici organizzati da enti pubblici nazionali e autorità di regolamentazione con l'obiettivo di sensibilizzare in merito alle possibilità di favorire e diffondere l'uso delle nuove tecnologie.

Inoltre si segnala che ENEA partecipa a numerosi TCP della IEA ed ai JP di EERA (IEA-Hydrogen, IEA-FC e IEA-SolarPACES TCP, IEA-Industrial Energy - Related Technologies and Systems, Fuel Cells and Hydrogen

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 9 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	-------------

Joint Undertaking e EERA-NET Hydrogen Joint Programme, IEC-TC 105, European Turbine Network), in qualità di Delegato o Rappresentante nazionale. In tali iniziative, l'obiettivo principale è quello di favorire gli scambi internazionali al fine di consentire ai singoli paesi membri di sviluppare programmi e progetti di R&D in modo strutturato e coordinato. Pertanto i delegati sfrutteranno anche tali occasioni di incontro per favorire la circolazione di notizie e risultati conseguiti con riferimento allo sviluppo delle nuove tecnologie sull'accumulo di energia.

#### TRL iniziale

2

#### TRL finale

6

#### *Livelli di Maturità Tecnologica (TRL) secondo la Commissione Europea*

La tematica proposta è di ampio respiro, in quanto racchiude al suo interno numerose tecnologie, a seguito dei differenti approcci e soluzioni con cui si ritiene oggi di poter accumulare l'energia proveniente da fonte rinnovabile. Di conseguenza l'intervallo relativo ai TRL di partenza e di arrivo delle diverse tecnologie risulta piuttosto ampio. Di seguito si riporta la situazione specifica per ogni WP di progetto.

WP1 Accumulo Elettrochimico: la ricerca sulle batterie metallo-ione si propone di incrementare il TRL da 1 a 3 per le batterie sodio-ione e da 3 a 4 per le litio-ione innovative, sviluppando materiali di frontiera contraddistinti da una più elevata capacità e/o potenza (Li-ione) o sviluppando batterie a più basso costo (Na-ione). Si pensa di aumentare il TRL da 0 a 1 per le batterie Litio-aria sviluppando nuovi carboni anche da fonti biologiche e da 4 a 6 per le batterie litio-zolfo, realizzando un prototipo da 500 mAh. Infine, per le attività di scale-up dei processi produttivi e per la realizzazione di celle su scala pilota si prevede di aumentare il TRL da 5 a 6 sintetizzando in maniera bulk quantità di materiale dell'ordine del kg e realizzando prototipi litio-ione da 50 mAh.

WP2 Accumulo Termico: con riferimento ai sistemi di accumulo per temperature fino a 300°C, utilizzando moduli cementizi o con PCM, si passerà da sperimentazioni in cui i materiali e gli scambiatori, con o senza sistemi di promozione della conducibilità, sono stati assemblati in piccoli componenti (TRL4), di volume inferiori ai 4 litri, a sperimentazioni con volumi di 120 litri. I componenti tecnologici di base saranno integrati in modo che la configurazione del sistema sarà simile all'applicazione finale (TRL5) e si passerà alla scala di progettazione, che consentirà quella del sistema operativo reale, caratterizzata da TRL6. L'accumulo termochimico proposto, a partire invece dal concetto base della tecnologia esistente e da uno screening sperimentale di caratterizzazione dei materiali più idonei (TRL2) si propone di effettuare sperimentazione a pressione e temperatura reali, seppure in scala da laboratorio, e di sviluppare modelli matematici per la progettazione di elementi di accumulo e l'ottimizzazione degli essi (TRL4).

WP3 Power to Gas: il pacchetto di lavoro in oggetto racchiude al suo interno diverse tecnologie che vanno dalla produzione di idrogeno da vRES, all'utilizzo dello stesso tal quale o alla sua immissione nella rete del gas metano; dalla conversione dell'idrogeno in metano allo studio delle miscele idrogeno-metano, etc., con l'obiettivo di supportare l'infrastruttura di rete e garantire la diffusione delle rinnovabili. Le soluzioni tecnologiche individuate sono caratterizzate ognuna da un diverso TRL di partenza e di arrivo. Nello specifico:

- Realizzazione di un impianto P2G prototipale presso il C.R. ENEA Casaccia per la produzione di 'Green Gas' e valutazione degli effetti del funzionamento intermittente tipico delle vRES (TRL da 4 a 5).
- Realizzazione di un impianto sperimentale per la sintesi diretta del DME (consolidamento del TRL 4).
- Realizzazione di un'infrastruttura di ricerca P2G/L presso SOTACARBO operante fino a 60 bar e 500°C, di taglia significativa (decine di kg/giorno), per lo sviluppo di processo e la sperimentazione della sintesi di combustibili liquidi e gassosi, unica nel suo genere (TRL da 4 a 6, e in futuro 7 integrando sistemi industriali).
- Validazione su scala di laboratorio (TRL da 3 a 4) di processi innovativi per la produzione di H2 da vRES (elettrolisi a bassa ed alta T, processo di conversione del biogas, assistito da fonte solare, processi di water

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 10 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	--------------

splitting).

- Sviluppo di soluzioni tecnologiche per ampliare la tolleranza delle turbine a gas a miscele GN/H<sub>2</sub>, sia a carico nominale che parziale (TRL da 4 a 6).
- Sviluppo di cicli combinati innovativi (TRL da 1 a 2-3), in cui un ciclo di potenza a sCO<sub>2</sub> ibridizzato sostituisce la sezione vapore e garantisce una elevata flessibilità di carico

### **Impatto sul sistema elettrico e benefici attesi**

#### *Impatto sul sistema elettrico nazionale*

Lo scenario basato sulla proposta di Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) rappresenta l'attuale scenario di policy italiano, che permette di trarre gli obiettivi di decarbonizzazione, copertura da fonte rinnovabile ed efficienza energetica previsti al 2030 dal Clean Energy for all Europeans Package. Lo scenario si caratterizza, tra gli altri, per i seguenti elementi:

- Obiettivi vincolanti di decarbonizzazione, quota rinnovabili ed efficienza energetica
- Forte crescita di rinnovabili non programmabili, in particolare eolico e fotovoltaico.
- Integrazione rete elettriche e rete gas
- Creazione di Comunità Energetiche Locali basate su generazione distribuita da FER e accumulo energetico
- Forte crescita dei sistemi di accumulo
- Digitalizzazione

Gli obiettivi di de-carbonizzazione e di penetrazione delle rinnovabili potranno essere raggiunti solo con una progressiva diffusione e penetrazione delle tecnologie di accumulo nelle reti energetiche integrate. Infatti, per il 2030 le stime preliminari del PNIEC indicano un fabbisogno funzionale dei sistemi di accumulo per contenere l'overgeneration da rinnovabili intorno a 1 TWh, pari a circa 6.000 MWe a livello centralizzato, aggiuntivi agli accumuli distribuiti, a cui corrispondono circa 4.000 MWe.

Anche il Documento di Descrizione degli Scenari Terna – Snam (DDS) 2019, presenta degli scenari elaborati congiuntamente per lo sviluppo coordinato delle reti elettrica e gas. Lo scenario più ambizioso del documento, che mira ad un target di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> pari al 65 % rispetto al 1990, prevede un ruolo crescente dei gas verdi e decarbonizzati arrivando a delineare una domanda di gas di 6,5 miliardi m<sup>3</sup> tra metano sintetico e idrogeno al 2040[3.64, 3.65, 3.66]

Immaginare oggi di coprire tutta la capacità di accumulo prevista dagli scenari futuri con le tecnologie disponibili sul mercato sarebbe un'azione non perseguibile, per i costi elevati, per la "criticità" di alcuni materiali, per i problemi di sicurezza, per l'instabilità delle condizioni operative. Tutti gli aspetti suddetti vengono investigati dalle attività oggetto della proposta.

Naturalmente la riduzione dei costi delle energie rinnovabili è uno dei principali fattori che favorisce il potenziale di crescita e sviluppo di alcune nuove tecnologie, sebbene non sia sufficiente per raggiungere i target previsti. Con riferimento ad esempio alla produzione di idrogeno da fonte rinnovabile i costi attuali si aggirano intorno ai 10 euro/kg di idrogeno prodotto. L'obiettivo è arrivare 1,5- 2,5 euro/kg. Ciò sarà possibile agendo oltre che sulla riduzione del costo dell'energia elettrica, anche sull'incremento dell'efficienza degli elettrolizzatori.

Dunque gli sforzi della ricerca vanno nella direzione di rendere sostenibile il ricorso alle varie tecnologie di accumulo, indipendentemente dai fattori esterni (fattore scala, incentivi, riduzione dei costi dell'energia elettrica...). Le attività proposte nel presente progetto di ricerca inseguono tale obiettivo attraverso il miglioramento delle efficienze, sostituzione di materiali costosi e "critici" con materiali a più basso costo e più largamente diffusi, incremento dei cicli di vita, ecc...

Guardando nelle specifico ai diversi approcci proposti:

- Le batterie, seppur sono considerate una tecnologia matura, grazie al miglioramento delle prestazioni, della durabilità, della densità di energia, dell'economicità, della sicurezza e del minore impatto ambientale, potranno avere una larga diffusione anche per usi stazionari (oltre che per la mobilità elettrica) con applicazioni anche a livello residenziale.

I sistemi di accumulo termico efficienti ed a basso costo consentiranno di generare energia termica tramite fonti rinnovabili variabili o di recuperarla da processi industriali.

Il P2G assumerebbe funzioni sia di stoccaggio a lungo termine che di regolazione. L'H<sub>2</sub> prodotto tramite P2G può essere utilizzato tal quale o trasformato in CH<sub>4</sub>



PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 11 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	--------------

### *Benefici per gli utenti*

Il PNIEC inviato alla Commissione Europea il 21 gennaio 2020, propone di accelerare la transizione energetica al 2030, incrementando il target delle rinnovabili al 30% del consumo finale lordo di energia. Per raggiungere tale obiettivo è necessario individuare delle soluzioni tecnologiche che permettano il pieno sfruttamento delle rinnovabili. Tra queste i sistemi di accumulo possono intervenire rendendo i servizi di fornitura dell'energia elettrica più performanti, aumentando il livello di affidabilità della rete, permettendo al tempo stesso di ridurre e/o differire gli investimenti in grandi infrastrutture di rete.

Partendo dunque dal presente presupposto, il progetto sottolinea l'importanza dello stimolo alla ricerca volta a comprendere e valorizzare i potenziali benefici dell'integrazione dei sistemi elettrico e gas tramite lo sviluppo di progetti pilota P2G, P2H2, P2P, poiché "l'evoluzione e lo sviluppo delle tecnologie precedentemente citate consentirebbero l'accumulo dell'eccesso di produzione di energia da FER non programmabili in vettori energetici rinnovabili (biometano, idrogeno, calore) aumentando l'efficienza complessiva del sistema energetico e iniziando un percorso verso una possibile fusione del settore gas ed elettrico ..".

Anche l'ARERA nel proprio Quadro strategico 2019-2021, ha segnalato l'importanza di fornire segnali per lo sviluppo di soluzioni innovative, attraverso sperimentazioni in campo e di scala adeguata, oltre che nel settore elettrico anche in quello del gas, secondo la logica di integrazione tra filiere whole energy system (P2G).

Le premesse suddette, naturalmente, non collocano il ricorso alle rinnovabili ed alle tecnologie di accumulo in una logica di risparmio economico, quanto di necessità legate al raggiungimento dei target di de-carbonizzazione imposti al 2030 e di conseguenti benefici ambientali. In tale ottica, le attività di ricerca proposte, si pongono come obiettivo quello di individuare le soluzioni tecnologiche che, rispondendo alle strategie Nazionali ed Europee in campo energetico, possano "potenzialmente" agire sulla riduzione dei costi in bolletta. Il "potenziale" è legato in larga parte alla crescita dell'economia di scala, in buona parte favorita dall'introduzione di meccanismi di incentivazione ad hoc. Una riduzione dei costi dei nuovi sistemi di accumulo, permetterebbe infatti di renderli disponibili anche per applicazioni di tipo residenziale.

Si pensi al caso delle batterie: un utilizzo diretto delle stesse in una singola abitazione o condominio dotato di impianti fotovoltaici, consentirebbe di accumulare l'energia prodotta nei momenti di picco senza dover ricorrere ai meccanismi di "scambio sul posto", per riutilizzarla, in proprio, con un evidente risparmio immediato in bolletta.

Anche l'accumulo termico consentirebbe potenziali benefici legati alla possibilità di recuperare e riutilizzare il calore di scarto di processi industriali, producendo direttamente elettricità, potendo così contare su un mercato stabile, basato su risorse locali non soggette alle fluttuazioni dei mercati mondiali, abbassando di conseguenza i costi in bolletta. A regime il ricorso all'accumulo termico potrebbe livellare verso il basso i costi dell'energia elettrica durante il giorno, quando per esempio nelle ore serali si ha attualmente almeno il 20 % in più del costo di vendita rispetto alle ore del primo pomeriggio ([www.mercatoelettrico.org](http://www.mercatoelettrico.org)).

Guardando poi all'intera catena del P2G/L, considerato che essa si riferisce sia ai sistemi di produzione, che di conversione ed utilizzo di idrogeno, i benefici dell'applicabilità delle varie tecnologie studiate, ricadrebbero su diversi settori ed ambiti: uso della CO2 per produrre combustibili rinnovabili, con riduzione della dipendenza energetica dall'estero; sviluppo di sistemi di generazione elettrica turbogas alimentati con miscele idrogenate (rinnovabili), per back-up delle vRES, all'aumento flessibilità del sistema elettrico, con conseguente r

### *Previsione delle ricadute applicative*

Durante lo svolgimento del progetto si forniranno, sia attraverso l'organizzazione di WS che la partecipazione a congressi, informazioni complete ed aggiornate sia dello stato della tecnologia sia di linee originali di ricerca e sviluppo e delle applicazioni di maggiore interesse non solo da un punto di vista energetico ma anche economico.

Queste informazioni saranno indirizzate ad aziende del settore con programmi di sviluppo industriale o di



PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 12 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	--------------

valutazione preliminare di investimenti, per esempio nel settore delle batterie e degli impianti di produzione collegati (come FIAMM, FIBex FAAM, MANZ Italia, LITHOPS, MIDAC, SolithSovema). Si fa presente che tutte le aziende citate sono comunque presenti nel network italiano che sta partecipando alla proposta IPCEI sulle batterie, a cui partecipa anche ENEA.

Anche i sistemi di accumulo termico che si intende sviluppare possono contare su un mercato in forte crescita sia a livello nazionale che internazionale, in buona parte legato alla possibilità di recuperare e riutilizzare anche il calore di scarto di processi industriali, oltre che quello legato alla sfruttamento delle energie rinnovabili.

Anche tutta la filiera del P2G vede una ricaduta in diversi settori industriali di impatto notevole su tutto il territorio nazionale: sviluppo di un mercato della CO<sub>2</sub>, prodotta come scarto, per la produzione di combustibili ad alta valenza ambientale; decarbonizzazione di diversi settori industriali (ad es., petrolchimico, siderurgico, alimentare) attraverso l'utilizzo di idrogeno, prodotto da fonte rinnovabile, non solo come vettore energetico, ma anche come materia prima e gas di processo; impiego del metano sintetico (al posto di combustibili fossili più inquinanti) nei settori della generazione elettrica e dei trasporti e del DME (mercato in crescita) nel settore dell'autotrazione al posto del gasolio (si possono usare le stesse infrastrutture di distribuzione), con minore impatto ambientale; impiego del metanolo (tra i possibili approcci del P2L) sia come vettore energetico, sia come materia prima per la produzione di composti chimici (con processi commercialmente maturi e sempre più diffusi a livello mondiale).

In ultimo, anche i sistemi di generazione elettrica innovativi (che utilizzano l'H<sub>2</sub> rinnovabile, puro o in miscela) sono di interesse per le industrie che operano nel settore (Baker Hughes, Ansaldo Energia, ENEL, EniPower).

## Verifica dell'esito del Progetto

### *Oggetti e documentazione dei risultati finali*

Per ciò che riguarda le attività di cui al WP1 Accumulo Elettrochimico, si evidenzia che la ricerca si attesta in buona parte sul raggiungimento di TRL molto bassi (3-4); in questi casi, l'ottenimento di buoni risultati, in termine di risposta dei materiali prodotti alla ciclabilità, stabilità, aumento performance, ecc...è documentabile attraverso i Rapporti Tecnici che verranno prodotti i quali riporteranno tutti i dati scientifici della ricerca condotta. Per le attività con TRL più alto:

- si realizzerà una batteria Li-zolfo da 500 mA
- si produrrà materiale in bulk per la realizzazione di batterie Li-ione da 50 mA.

Il WP1 prevede inoltre la pubblicazione di un totale di 85 Rapporti Tecnici.

Per quanto riguarda il WP 2 Accumulo Termico, anche in questo caso tutti i risultati relativi alla caratterizzazione termica che meccanica dei nuovi materiali, sia cementizi che PCM, così come i dati ottenuti dai modelli matematici sviluppati, saranno documentati attraverso i Rapporti Tecnici prodotti. Inoltre, saranno resi disponibili e visionabili:

- un impianto di prova TCM (Thermo-chemical material) su scala di laboratorio per la verifica delle reazioni di carica e scarica in condizioni realistiche di pressione e temperatura per reazioni di carbonati ed ossidi metallici.
- moduli costituiti da materiale cementizio nella forma "base" e con quantità di materiale a cambiamento di fase stabilizzato in forma, nonché di materiali a cambiamento di fase con scambiatore integrato.

Il WP2 prevede la pubblicazione di un totale di 32 Rapporti Tecnici.

Per quanto riguarda il WP3 Power to Gas:

- saranno realizzati due impianti prototipali che integrano le diverse tecnologie che appartengono alla catena del P2G; uno presso ENEA Casaccia, carrellato, che implementa la metanazione catalitica once-through accoppiata con un elettrolizzatore, il secondo presso SOTACARBO, di taglia significativa, per la sintesi di combustibili liquidi e gassosi.

A livello di laboratorio saranno realizzati:

- n° 4 prototipi per la produzione di idrogeno rinnovabile attraverso processi innovativi

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 13 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	--------------

-n° 1 prototipi per la sintesi diretta del DME.

Saranno inoltre condotte attività sperimentali su un impianto già realizzato relative alla conversione dell'idrogeno in metano attraverso un processo di tipo biologico.

Le attività di sviluppo modelli e studi di tipo tecnico economico saranno documentabili attraverso i Rapporti Tecnici.

Il WP3 prevede la pubblicazione di un totale di 70 Rapporti Tecnici.

Inoltre saranno segnalati proceeding e poster relativi a partecipazione a Congressi e Workshop, pubblicazioni su riviste tecniche specializzate, per ognuno dei WP del progetto.

#### *Elementi per la verifica finale del progetto*

Gli elementi per la verifica finale del progetto sono rappresentati dal prodotto e dai risultati del progetto, ma anche dall'efficacia delle ricadute che i risultati stessi hanno prodotto.

Il primo aspetto riguarda la valutazione obiettiva della rispondenza di cosa è stato fatto all'interno del progetto nel corso del triennio di attuazione, in termini di "oggetti e prototipi" prodotti e risultati scientifici raggiunti, rispetto a quanto preventivato in fase di ammissibilità. Tutti gli elementi di verifica in tal senso sono elencati al punto a): per ciò che concerne prototipi ed impianti essi saranno resi disponibili e visionabili da parte degli esperti presso il CR ENEA della Casaccia. Mentre tutti i rapporti tecnici saranno pubblicati sul sito dell'ENEA, con accesso a tutti gli utenti del sistema elettrico nazionale.

Il secondo aspetto, che riguarda l'analisi dell'efficacia dei risultati, ossia l'interesse suscitato nei destinatari raggiunti, la verifica può essere effettuata valutando ad esempio la quantità di accessi ai rapporti tecnici ed alle pubblicazioni prodotte, o anche il livello di partecipazione ai WS che saranno organizzati per favorire la disseminazione dei risultati.

#### **Coordinamento tra gli affidatari**

*Il progetto prevede attività in sovrapposizione con gli altri affidatari?*

SI

#### *Coordinamento tra gli affidatari*

Il comitato di coordinamento è costituito da: G. Monteleone (ENEA), O. Perego (RSE), V. Antonucci (CNR). La pregressa esperienza maturata dai 3 soggetti affidatari sui temi del progetto 1.2, sia nell'ambito di progetti nazionali che europei, costituisce una importante base di conoscenza e competenza per l'avvio delle attività di ricerca proposte. Nella fase iniziale si prevedrà un incontro finalizzato a verificare la possibile condivisione di esperienze, modelli e strumenti, precedentemente sviluppati, che possano essere integrati nelle attività proposte fin dalle prime fasi. Inoltre, sempre in tale occasione, si verificherà l'assenza di eventuali sovrapposizioni evidenziando e valorizzando invece il ruolo specifico che i singoli affidatari possono avere su una determinata ricerca. Tale incontro preliminare vedrà la partecipazione dei membri del CdC e dei ricercatori operativamente coinvolti nelle LA.

Successivamente saranno previsti altri momenti di confronto, in corrispondenza della fine del primo e del secondo anno di attività, con l'obiettivo di valutare il rischio di eventuali sovrapposizioni di ricerca non preventivate in fase iniziale. In particolare, in tali occasioni di incontro, il CdC analizzerà lo stato di sviluppo del progetto, con riferimento specifico ad eventuali condizioni in cui la ricerca abbia condotto nella stessa

PTR_19_21_ENEA_PRG_2_C AP1	1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti	Descrizione del progetto	pag. 14 / 14
-------------------------------	--	--------------------------	--------------

direzione, e valuterà la possibilità di azioni congiunte che possano comunque garantire il raggiungimento dell'obiettivo generale del tema di ricerca, differenziando le attività specifiche portate avanti da ciascun affidatario.

Ulteriori azioni di coordinamento, anche non inizialmente previste, potranno essere programmate laddove se ne dovesse palesare la necessità. Il CdC garantirà comunque il mantenimento di contatti e confronti frequenti tra i ricercatori che portano avanti le diverse Linee di Attività presenti all'interno del Tema 1.2.

*Immagini allegate:*

Non presenti in allegato

*Coordinamento affidatari:*

Presente in allegato