

## PIANO DI SVILUPPO

A CORREDO DEL MODULO PER LA DOMANDA DI AGEVOLAZIONI FINANZIARIE  
A VALERE SULL'AVVISO PUBBLICO EX ARTICOLO 1, COMMA 5, LETTERA A), DEL DECRETO  
MINISTERIALE 23 DICEMBRE 2021 –

PROGETTI DI RICERCA PER L'IDROGENO NELL'AMBITO DEL PNRR – M2C2 LINEA DI INVESTIMENTO 3.5

### INDICE RAGIONATO DEGLI ARGOMENTI

#### IPARTE: ELEMENTI DESCRITTIVI DEI SOGGETTI PROPONENTI

##### 1.A STRUTTURA ORGANIZZATIVA E DI RICERCA

###### *UNITO*

L'Università degli Studi di Torino (UNITO) è una delle più grandi Università italiane. La ricerca e la formazione sono svolte in 27 Dipartimenti, che abbracciano tutte le discipline scientifiche. Nel presente progetto saranno coinvolti differenti dipartimenti che saranno impegnati su 2 Obiettivi Realizzativi (OR): il Dipartimento di Chimica svilupperà OR1; il Dipartimento di Culture, Politica e Società, il Dipartimento di Giurisprudenza e il Dipartimento di Economia e Statistica saranno impegnati su OR7.

Le specializzazioni di ricerca del Dipartimento di Chimica sono legate allo sviluppo di materiali metallici innovativi e alla loro caratterizzazione per un ampio spettro di proprietà: caratterizzazioni strutturali, microstrutturali, calorimetriche, modellazione, sviluppo e caratterizzazione di superfici e interfacce metalliche. In particolare, lo sviluppo di materiali per assorbimento di idrogeno è stato condotto negli ultimi decenni con lo scopo di determinare nuove formulazioni con proprietà di assorbimento avanzate e capacità di compressione dell'idrogeno allo stato solido per applicazioni industriali. Inoltre, il Dipartimento di Chimica ha competenze nella ricerca sperimentale e teorica sui materiali polimerici nel campo della caratterizzazione, modifica, degradazione e stabilizzazione.

Il dipartimento di Giurisprudenza, che ha ottenuto il prestigioso riconoscimento di «Dipartimento di Eccellenza» (11 M€) nel 2018 da parte del Ministero della Ricerca e dell'Istruzione, si occupa di numerosi temi di carattere ambientale tra i quali, in particolare, i procedimenti in materia ambientale, il ripristino ambientale, il contrasto al cambiamento climatico, l'impiego delle energie rinnovabili, le comunità energetiche rinnovabili e l'autoconsumo collettivo di energia rinnovabile.

Il Dipartimento di Economia Statistica "Cognetti de Martiis" promuove l'attività didattica e di ricerca in molte delle aree di indagine dell'economia e della statistica. Gli approcci alle tematiche oggetto di studio hanno natura sia teorica sia applicata e spesso si articolano entro contesti di carattere interdisciplinare. I membri del Dipartimento sono inquadrati in diversi settori scientifico-disciplinari e svolgono la loro attività di studio entro aree di ricerca diversificate. In particolare, una buona parte di ricercatori sono attivamente impegnati in tematiche legate all'economia dell'ambiente e dell'energia, circular economy e innovazione.

Culture, Politica e Società (CPS) è un Dipartimento interdisciplinare, in cui trovano spazio la Sociologia, la Scienza politica e le Relazioni Internazionali, l'Antropologia Culturale e la Storia, gli Studi della Comunicazione e la Linguistica, gli Area Studies e la Geografia. E' uno dei più grandi Dipartimenti dell'Università di Torino e nel 2017 è stato giudicato struttura di eccellenza dall'ANVUR. CPS ospita una Cattedra UNESCO dedicata alle questioni energetiche e partecipa alla rete con cui nel 2016 l'Ateneo di Torino ha vinto la competizione per il bando Food4Future, lanciato dall'Istituto Europeo per l'Innovazione Tecnologica. Il Dipartimento di Culture, Politica e Società da tempo si occupa delle strategie di transizione energetica a livello locale e globale. Ricercatori aderenti al Dipartimento da anni partecipano e coordinano ricerche europee per identificare il contributo delle comunità e cooperative energetiche nella transizione energetica verso le energie rinnovabili.

##### 2.A SETTORE DI ATTIVITA' E CARATTERISTICHE DEL MERCATO DI RIFERIMENTO

###### *UNITO*

UNITO è dotato di una serie completa di strumentazioni necessarie per la chimica sintetica, come reattori con agitatore, mulini a sfere, tecniche di tempra rapida, forni per i trattamenti termici e la fusione di leghe e una serie di tecniche di caratterizzazione, tra cui: diffrazione dei raggi X (XRD), microscopia elettronica in trasmissione in

alta risoluzione (HR-TEM), microscopia elettronica a scansione a emissione di campo (FESEM) e SEM, apparecchiature volumetriche di tipo Sievert (PCI), HP-DSC (calorimetro a scansione differenziale ad alta pressione). Inoltre, Unito è equipaggiato con il software SimaPro (database Ecoinvent) con cui è possibile fare studi Life Cycle Assessment (LCA).

Il Dipartimento di Chimica è coinvolto da oltre 15 anni nella progettazione di materiali per immagazzinamento di H<sub>2</sub> con adeguate proprietà di assorbimento e con il loro impiego in sistemi integrati con celle a combustibile PEM.

Diversi sono i progetti regionali finanziati con bandi competitivi dalla Regione Piemonte in cui Unito è stato coinvolto: l'ottimizzazione delle proprietà della lega e del design del serbatoio è stata sviluppata nell'ambito di H2FC e Sterin, mentre gli idruri metallici ad alta pressione per la compressione dell'idrogeno allo stato solido sono stati studiati in CleanDronhy. In FA-H2FC è stato condotto uno studio completo sulla possibile implementazione di serbatoi a idruri metallici accoppiati con celle a combustibile per l'uso su imbarcazioni. Inoltre, Unito è stato coinvolto come partner o come coordinatore di progetti europei nell'ambito del FP7 e H2020. In progetti europei come SSH2S e BOR4STORE il coinvolgimento è legato alla progettazione di Metal Hydrides (MH) utilizzati in serbatoi accoppiati con Fuel Cells (FC). Attualmente Unito è coordinatore del progetto europeo HyCARE - [hycare-project.eu](http://hycare-project.eu) (H2020) in cui si sta realizzando un prototipo di sistema integrato per l'accumulo di 50 kg di H<sub>2</sub> tramite energia rinnovabile sistemi di accumulo di calore.

Il Dipartimento di Giurisprudenza e il Dipartimento di Culture, Politiche e Società di Unito sono stati coinvolti, ed sono attualmente coinvolti, in alcuni progetti di ricerca europei, tra i quali si citano: il progetto di ricerca finanziato sui fondi europeo MINECO/FEDER UE, in tema di contrasto ai cambiamenti climatici, coordinato dall'Università di Tarragona, Universitat Rovira i Virgili; il progetto COMETS, finanziato nell'ambito di H2020, in tema di collective action initiatives intraprese in 6 Stati membri dell'Unione Europea, coordinato dal Dipartimento di Culture, Politiche e Società di Unito; il progetto ECREW, finanziato nell'ambito di H2020, in materia di Energy Communities, coordinato dal Dipartimento di Culture, Politiche e Società.

UNITO è membro dell'Hydrogen Europe Research Grouping for the Clean Hydrogen Partnership.

## 1.B STRUTTURA ORGANIZZATIVA E DI RICERCA

### CNR

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) è un Ente pubblico di ricerca nazionale con competenze multidisciplinari, vigilato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR). Fondato nel 1923, ha il compito di realizzare progetti di ricerca scientifica nei principali settori della conoscenza e la sua missione è quella di svolgere, diffondere e promuovere attività di ricerca nei principali settori della conoscenza, e studiare la loro applicazione per lo sviluppo scientifico, tecnologico ed economico del Paese. La rete scientifica del CNR è composta da Dipartimenti, Istituti di ricerca e - limitatamente a singoli progetti a tempo definito - da Unità di ricerca presso terzi. I Dipartimenti sono unità organizzative strutturate in macro aree di ricerca scientifica e tecnologica, con funzioni prevalenti di programmazione, coordinamento e controllo. Gli Istituti, raggruppati in diversi settori tecnici e scientifici di competenza, svolgono attività di ricerca secondo vari programmi: la distribuzione geografica sul territorio permette loro di contribuire in modo significativo all'innovazione regionale e locale. In alcune città gli Istituti sono aggregati all'interno delle Aree di Ricerca, strutture che offrono supporto e servizi, rappresentando un polo di attrazione scientifica e culturale del territorio.

In questo progetto saranno impegnati tre Istituti appartenenti a tre dipartimenti diversi: ITAE – Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia (Dip. di Ingegneria, ICT e Tecnologie per l'Energia e i Trasporti) a Messina, ICMATE - Istituto di Chimica della Materia Condensata e di Tecnologie per l'Energia (Dip. di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali) a Lecco, ISC – Istituto dei Sistemi Complessi (Dip. di Scienze Fisiche e Tecnologie della Materia) a Roma. Le attività che si svolgeranno vedranno coinvolte le consolidate competenze nel campo della sintesi dei materiali e delle loro caratterizzazioni, scambiatori di calore per sistemi di accumulo termico, design di reattori e integrazione.

## 2.B SETTORE DI ATTIVITA' E CARATTERISTICHE DEL MERCATO DI RIFERIMENTO

### CNR

L'ITAE sviluppa e promuove tecnologie e processi energetici innovativi a basso impatto ambientale, mediante l'uso di sorgenti energetiche di natura fossile e rinnovabile. Le competenze scientifiche presenti presso l'ITAE sono legate a fenomeni e processi chimici, grazie ai quali è possibile sviluppare energia elettrica e/o termica e nuovi combustibili con specifico riferimento all'idrogeno. Alle tecnologie energetiche afferiscono diverse macro-aree dell'ITAE quali: Tecnologie per la trasformazione e l'accumulo di energia termica da rinnovabili, Tecnologie

sostenibili per la produzione e l'accumulo di energia elettrica, Tecnologie per la produzione e l'accumulo di idrogeno, vettori energetici ecocompatibili e per il riciclo della CO<sub>2</sub>, Applicazioni di tecnologie e sistemi integrati per l'efficienza energetica – Smart Energy Technologies, Impatto socio-economico ed ambientale delle tecnologie energetiche.

L'ICMATE possiede riconosciute competenze nell'ambito delle scienze Chimiche, Fisiche, e nell'Ingegneria dei Materiali che unite al vasto parco di strumentazione scientifica, conferiscono all'Istituto un notevole carattere di interdisciplinarietà, elevata propensione all'innovazione ed un patrimonio di conoscenze e di know-how. ICMATE ha un ruolo importante nello sviluppo di molecole innovative, superfici funzionali e materiali inorganici e metallici avanzati che forniscono soluzioni rilevanti per le tecnologie abilitanti ed emergenti, l'efficienza energetica e la salute, prestando attenzione agli aspetti correlati alle materie prime critiche e alla sostenibilità. In particolare, la sede di Lecco è uno dei pochi centri in Italia in grado di operare nella metallurgia secondaria dei materiali metallici avanzati applicando le più recenti e innovative tecnologie fusorie, processi di Additive Manufacturing e lavorazioni laser. In particolare, si studiano leghe altofondenti e reattive, materiali intermetallici, materiali funzionali tra cui leghe a memoria di forma e leghe per lo stoccaggio di idrogeno.

L'ISC è un polo di eccellenza nazionale e internazionale nel campo della complessità a partire dalle sue origini nel campo della fisica e anche verso le sue applicazioni interdisciplinari. La scienza della complessità riguarda lo studio dei sistemi interagenti, dei network, e delle dinamiche collettive, e trova applicazioni in tutti i campi del sapere moderno, dalle dinamiche sociali al comportamento animale, da Internet alla distribuzione dell'energia e lo studio dei sistemi economici, dall'epidemiologia alle neuroscienze, dalla fotonica alla materia soffice e i nuovi materiali, dalle nanotecnologie alla fisica di base.

Nelle tre unità CNR coinvolte nel progetto operano ricercatori con consolidate competenze nell'ambito della scienza dei materiali, accumulo termico e integrazione di sistemi, supportati anche da molti progetti nazionali ed internazionali. I ricercatori coinvolti nel presente progetto hanno una esperienza quasi ventennale nello studio sperimentale di idruri e materiali per l'immagazzinamento di idrogeno, a partire dagli idruri complessi, alle leghe metalliche, ai materiali porosi o bidimensionali, sviluppo di tecnologie per il riscaldamento e raffreddamento alimentate da fonti rinnovabili, tecnologie per la valorizzazione dei cascami termici, pompe di calore, fonti energetiche rinnovabili e loro integrazione, sistemi a FC, accumulo elettrochimico, generazione ed accumulo idrogeno, Energy Management Systems, Sistemi Ibridi, Smart Building, Vehicle to Grid, Smart e Micro Grid, Smart Cities e Mobility. Hanno partecipato a diversi progetti nazionali e internazionali riguardanti queste aree di applicazione. Le tre sedi possiedono inoltre adeguate risorse strumentali per lo studio proposto nel presente progetto.

CNR è membro dell'Hydrogen Europe Research Grouping for the Clean Hydrogen Partnership.

## 1.C STRUTTURA ORGANIZZATIVA E DI RICERCA

### *UNIGE*

L'Università degli Studi di Genova (UNIGE) è un'istituzione di insegnamento e ricerca, all'interno della quale docenti, studenti, personale amministrativo e tecnico partecipano nell'esercizio delle rispettive competenze, funzioni e responsabilità. L'Università fu fondata nel 1481, ma la sua storia può essere fatta risalire anche ad anni precedenti, comunque nel XIV secolo. UNIGE è un ente pubblico dotato di autonomia scientifica, didattica, organizzativa e finanziaria ed è impegnato nella costruzione di uno spazio europeo della ricerca e della formazione professionale avanzata. Essa opera secondo i principi della Costituzione della Repubblica Italiana e della Magna Charta sottoscritta dalle Università europee nel 1988. Dal 2012 UNIGE si è dotata di un nuovo Statuto che ha comportato importanti cambiamenti nella sua struttura organizzativa. L'Università di Genova è oggi composta da 23 Dipartimenti, 5 Scuole, 14 Centri Interuniversitari di Ricerca e Servizi, 2 Centri di Eccellenza. Il personale è composto da 1329 accademici e 1413 personale amministrativo e tecnico, di cui 12 dirigenti. Le 5 Scuole svolgono una funzione di coordinamento tra Dipartimenti, sono raggruppate secondo requisiti di somiglianza disciplinare e di funzionalità organizzativa; esse sono le seguenti: Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche, Scuola di Scienze Sociali, Scuola di Scienze Umanistiche, Scuola Politecnica.

All'interno della Scuola Politecnica, il Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Energetica – DIME dell'Università di Genova comprende il gruppo di ricerca “Thermochemical Power Group” TPG ([www.tpg.unige.it](http://www.tpg.unige.it)), fondato nel 1998 dal prof. A.F. Massardo, tuttora alla guida del gruppo. La sua missione è svolgere ricerche teoriche e sperimentali nel campo dei sistemi energetici avanzati e innovativi. Dal 2004, il TPG ospita il Rolls-Royce University Technology Centre (UTC) su sistemi Fuel Cell, con l'obiettivo di studiare soluzioni e tecnologie per la generazione di energia con celle a combustibile per applicazioni stazionarie. Dal 2017, TPG-DIME è University Technology Centre anche di FINCANTIERI. In entrambi i casi, TPG-DIME ospita

laboratori congiunti presso il Campus Universitario di Savona e presso i laboratori ospitati nell'impianto di Vado Ligure di Tirreno Power.

## 2.C SETTORE DI ATTIVITA' E CARATTERISTICHE DEL MERCATO DI RIFERIMENTO

### UNIGE

I principali campi di ricerca di TPG sono i seguenti:

- sviluppo e sperimentazione di tecnologie avanzate per sistemi energetici sostenibili;
- modellazione dinamica delle prestazioni dei sistemi energetici e sviluppo di controllori;
- analisi termoeconomica;
- monitoraggio e tecniche diagnostiche per sistemi energetici;
- celle a combustibile ad alta temperatura (SOFC);
- stoccaggio e generazione di energia basata su idrogeno e celle a combustibile (PEMFC);
- soluzioni di energy harvesting basate su turbine Tesla;
- indagini numerica e sperimentale su bruciatori e sistemi di combustione per applicazioni in turbine a gas;
- impianti power-to-fuel per la sintesi di ammoniaca e suo utilizzo in microturbina a gas;
- ottimizzazione di distretti energetici e smart grid;
- sistemi energetici e di propulsione avanzati e a basso impatto ambientale per il settore navale;
- sistemi di accumulo energetico e soluzioni power-to-X accoppiate a distretti energetici e per la flessibilizzazione di impianti fossili;
- cicli di separazione della CO<sub>2</sub> e sfruttamento, con idrogeno da elettrolisi, per produzione di e-fuels.

Il gruppo di ricerca TPG è formato oggi da uno staff complessivo di circa 30 unità, tra cui 4 Professori Ordinari, due professori associati e quattro RTD. Il gruppo ha un'esperienza pluri-ventennale in progetti collaborativi nazionali ed internazionali, sia nelle tecnologie dell'idrogeno che nei sistemi energetici avanzati, sia per quanto riguarda progetti FP5, FP6, FP7 e H2020 (tra i progetti H2020 al momento attivi che coinvolgono TPG-DIME si citano: ENVISION, FLEXnCONFU, ENGIMMONIA, NextMGT, ROBINSON, SolarSCO2OL, LOLABAT, INSPIRE), nonché progetti nazionali italiani (FISR, PRIN, POR-FESR).

TPG ha una lunga esperienza nello studio del ruolo delle tecnologie FC and hydrogen (FCH) e di altri combustibili a basse emissioni di carbonio in ambito della generazione stazionaria (ultimi progetti EU in tal senso sono stati gli H2020 BioHYPP e MefCO2 e il progetto FP7 GENIUS) e mobilità, essendo inoltre dal 2017 Centro Tecnologico FINCANTIERI per lo studio dell'integrazione delle celle a combustibile a bordo delle navi, anche tramite il Laboratorio congiunto HI-SEA, operativo dal 2017. Su questo tema, TPG-DIME è coinvolta sia in progetti europei (ENGIMMONIA) che nazionali.

UNIGE è membro dell'Hydrogen Europe Research Grouping for the Clean Hydrogen Partnership.

## 1.D STRUTTURA ORGANIZZATIVA E DI RICERCA

### UNIPAR

L'Università degli Studi di Napoli Parthenope (UniParthenope) ha per fine lo sviluppo, l'elaborazione e la trasmissione critica delle conoscenze umanistiche, scientifiche e tecnologiche; favorisce l'applicazione diretta, la valorizzazione e l'impiego della conoscenza per contribuire allo sviluppo sociale, culturale ed economico della società. Nato come centro superiore di cultura, nel quale la risorsa mare veniva studiata in tutti i suoi aspetti tecnico-economici, l'Ateneo ha consolidato le sue centenarie attività in ambiti economico-giuridici, ingegneristici, tecnologici e della salute e del benessere. Oggi, attraverso i suoi Dipartimenti, l'Università degli Studi di Napoli Parthenope svolge una intensa e proficua attività di ricerca in diversi settori, che l'hanno resa una delle eccellenze nella ricerca e nell'innovazione in Italia. I brillanti risultati raggiunti dall'Ateneo sono stati certificati dall'Agenzia Nazionale della Valutazione della Ricerca (ANVUR) sia nelle procedure di accreditamento delle sedi universitarie che nella Valutazione della Qualità della Ricerca.

L'Ateneo ha ottenuto il prestigioso sigillo di eccellenza "HR Excellence in Research" e fa parte della rete europea della ricerca che conta oltre 600 enti di eccellenza internazionali, tra le quali si annoverano 18 Istituzioni italiane che lo hanno conseguito (primo Ateneo in Campania). L'Ateneo è parte integrante dello Spazio Europeo della Ricerca (ERA), generando così un effetto attrattivo per gli investimenti privati e per i migliori cervelli europei e internazionali.

L'Ateneo garantisce ai suoi studenti un'offerta didattica innovativa e multidisciplinare; fortemente orientata all'internazionalizzazione, ospita giovani provenienti da oltre 20 nazioni e collabora con eccellenze internazionali. L'Ateneo ha accordi con oltre 150 prestigiose Università estere, tra cui il MIT di Boston, e collabora con la Apple Distribution International per l'implementazione di un programma formativo su iOS Development. Oggi l'Ateneo offre 15 corsi di laurea di primo livello, 16 di laurea magistrale, 1 corso di laurea magistrale a ciclo unico, 12 master, 1 scuola di specializzazione e 11 corsi di dottorato di ricerca.

L'Ateneo riconosce l'importanza della ricerca di base e applicata, promuove la sperimentazione scientifica, sviluppa rapporti con il mondo della produzione e del lavoro e con istituzioni pubbliche e private, in Italia e all'estero. L'Ateneo ha fatto proprie strategie orientate alla realizzazione di reti di collaborazioni stabili università-impresa, politiche e iniziative volte a favorire la creazione e lo sviluppo di imprese, start-up e spin-off ad alto contenuto innovativo. Negli ultimi anni l'Ateneo ha coordinato la realizzazione di progetti di ricerca e sviluppo sperimentale cofinanziati da Ministeri e dalla Comunità Europea per un importo superiore a 40 milioni di euro.

Dal 2015 l'Università Parthenope è uno dei principali promotori e organizzatori della "European Fuel Cells and Hydrogen Piero Lunghi Conference". UNIPAR è membro dell'Hydrogen Europe Research Grouping for the Clean Hydrogen Partnership.

## 2.D SETTORE DI ATTIVITA' E CARATTERISTICHE DEL MERCATO DI RIFERIMENTO

### UNIPAR

Il Dipartimento di Ingegneria (DING) è la struttura di riferimento dell'Università Parthenope per la ricerca scientifica e la didattica nell'area dell'ingegneria. Il DING conta circa 70 unità fra professori e ricercatori, 11 unità di personale tecnico-amministrativo. Incardina i corsi di laurea e laurea magistrale nelle aree dell'Ingegneria Civile, Industriale e dell'Informazione. È sede dei corsi di Dottorato in Energy Science and Engineering e in Information Technology and Engineering. I risultati ottenuti in termini di qualità e quantità dei prodotti di ricerca e della capacità di attrazione risorse hanno consentito al Dipartimento di Ingegneria di essere uno dei Dipartimenti di Eccellenza in Italia (procedure di valutazione della qualità della ricerca dell'ANVUR). La sede del Dipartimento di Ingegneria è situata presso il Centro Direzionale di Napoli. In questa sede sono presenti laboratori dotati di attrezzature tecnologicamente all'avanguardia e di personale tecnico altamente qualificato.

Nel contesto di riferimento della presente proposta progettuale, il gruppo di ricerca Macchine e Sistemi Energetici (MSE) svolge attività di ricerca e sviluppo in linea con la Vision 2030 delle Agende strategiche europee; adotta un approccio multidisciplinare collegando le tematiche dell'energia allo sviluppo sostenibile, anche attraverso la promozione di nuove politiche industriali. Il personale MSE coinvolto nel progetto svolge attività di ricerca teorica e sperimentale su diversi temi oggi di grande interesse e impatto: tecnologie efficienti, pulite, resilienti e sicure per la propulsione e la generazione dell'energia elettrica e termica; biotecnologie per l'energia; sistemi di mobilità semplici e alla portata di tutti; sistemi multienergy per ottimizzare l'uso delle rinnovabili. Le competenze dei ricercatori MSE consentono di portare avanti le attività di ricerca e sviluppo integrando competenze di modellazione numerica (termochimica, fluidodinamica, termodinamica) con quelle di progettazione, prototipazione e sperimentazione.

Nel settore della mobilità sostenibile e delle nuove tecnologie per lo stoccaggio dell'idrogeno, i ricercatori del gruppo MSE hanno messo a punto sistemi di propulsione elettrici per veicoli leggeri basati sull'integrazione di batterie al litio e celle a combustibile alimentate con idrogeno accumulato a bassa pressione in serbatoi a idruri metallici. I serbatoi sono stati progettati e realizzati per incrementare l'autonomia di biciclette, scooter, tricicli e quadricicli leggeri e per consentirne la semplice e rapida sostituzione. I ricercatori della Parthenope hanno ideato un sistema ibrido di stoccaggio dell'energia per veicoli elettrici che consente di ottimizzare la gestione termica sia delle batterie che dei processi di desorbimento dell'idrogeno dagli idruri (Brevetto n. 102019000005858 dal titolo "Sistema di accumulo ibrido dell'energia per applicazioni stazionarie, mobili e propulsive" con estensione internazionale WIPO WO2020213017 *Hybrid Energy Storage System with chemical/electrochemical dual technology for mobile, propulsive and stationary applications*).

I ricercatori del gruppo MSE hanno collaborato allo sviluppo di un veicolo commerciale con power unit ibrida batterie/idrogeno. La trasformazione di un veicolo (FCA - Qubo), da motore termico a motore elettrico e l'integrazione dei sistemi a idrogeno, sono state progettate nei laboratori del DING. Il prototipo è stato poi sviluppato da Atena con Adler Group nello stabilimento di Airola. Attualmente il gruppo MSE è impegnato nella realizzazione del primo trattore a idrogeno per la logistica portuale a emissioni zero nell'ambito del progetto europeo H2Ports e collabora ad altri due progetti europei per l'applicazione delle tecnologie a idrogeno nel settore Navale (e-SHyIPS e FuelSome).

UNIPAR è membro dell'Hydrogen Europe Research Grouping for the Clean Hydrogen Partnership.

## 1. E STRUTTURA ORGANIZZATIVA E DI RICERCA

### *ENEA*

L'ENEA è l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, ente pubblico finalizzato alla ricerca, all'innovazione tecnologica e alla fornitura di servizi avanzati alle imprese, alla pubblica amministrazione e ai cittadini nei settori dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo economico sostenibile. L'ENEA dispone di personale altamente qualificato, laboratori avanzati, piattaforme e strutture sperimentali, strumenti avanzati e innovativi per la gestione e l'esecuzione di servizi, ricerche, progetti, studi e prove, valutazioni e analisi specialistiche, servizi di formazione, con particolare riferimento all'innovazione di prodotto e di processo e alla valorizzazione dei risultati per contribuire allo sviluppo e competitività del sistema economico nazionale.

L'ENEA è vigilata dal Ministero per la Transizione Ecologica (MiTE) ed è leader nella ricerca applicata, nel trasferimento tecnologico e nel supporto tecnico-scientifico ad aziende, associazioni, territori, amministrazioni centrali e locali. L'ENEA opera nel campo delle tecnologie energetiche innovative (fonti rinnovabili, accumulo di energia, reti intelligenti, comunità energetiche, idrogeno, etc.), per le quali coordina il Cluster Tecnologico Nazionale dell'Energia; fusione nucleare e sicurezza nucleare; efficienza energetica; tecnologie per i beni culturali, protezione sismica, sicurezza alimentare, inquinamento, scienze della vita, materie prime strategiche, cambiamento climatico. L'ENEA supporta anche il sistema produttivo e le autorità pubbliche nella transizione verso l'economia circolare e l'efficienza dell'uso delle risorse. Nei suoi ambiti di competenza l'ENEA è chiamata a: promuovere e realizzare attività di ricerca di base e applicata e di innovazione tecnologica, anche attraverso la prototipazione e l'industrializzazione dei prodotti; diffondere e trasferire le tecnologie, anche attraverso l'assistenza alla regolamentazione e alla standardizzazione, favorendone l'utilizzo nei settori produttivi e sociali; fornire servizi, studi e scenari ad alto contenuto tecnologico a enti e imprese sia pubblici che privati; sviluppare e applicare la valutazione della sostenibilità delle tecnologie innovative. In questi campi vengono realizzati molti programmi e progetti focalizzati su materiali avanzati, elettrochimica e progettazione di tecnologie di produzione e conversione dell'energia ad alta temperatura, in collaborazione con l'industria nazionale e internazionale, istituzioni accademiche e organizzazioni di ricerca. L'ENEA fornisce supporto tecnico alla Pubblica Amministrazione e promuove la sensibilizzazione in materia di energia e ambiente su tutto il territorio nazionale, diffondendo le conoscenze scientifiche anche a vantaggio del grande pubblico.

Dal 2005 l'ENEA è uno dei principali promotori e organizzatori della "European Fuel Cells and Hydrogen Piero Lunghi Conference".

L'ENEA è organizzata in Dipartimenti, Divisioni e Laboratori. I centri e laboratori ENEA ospitano oltre 2.300 dipendenti tra ricercatori, tecnologi e personale amministrativo, distribuiti in 11 centri di ricerca in tutta Italia; un patrimonio di competenze, sempre più in crescita, valorizzato attraverso collaborazioni con imprese e altri istituti di ricerca nazionali e internazionali. I dipartimenti dell'ENEA sono quattro: Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (TERIN), Efficienza Energetica (DUEE), Sostenibilità dei sistemi produttivi e territoriali (SSPT) e Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare (FSN).

Il Dipartimento TERIN ha al suo interno la divisione Produzione, Storage e Utilizzo dell'Energia (TERIN-PSU) che svolge attività di ricerca e innovazione per lo sviluppo e l'implementazione di processi per la produzione, la conversione e l'uso dell'energia puliti ed efficienti, tra cui attività di ricerca, sviluppo e trasferimento tecnologico che coprono l'intera catena del valore dell'idrogeno, occupandosi dello sviluppo di processi, componenti e sistemi nei settori della produzione, stoccaggio e usi finali dell'idrogeno, dalla ricerca di base sui materiali per la ricerca applicata e la dimostrazione in condizioni ambientali reali. Le applicazioni innovative includono sempre la valutazione tecnica ed economica, la simulazione, la progettazione e la fabbricazione di prototipi e le prove al banco e sul campo in condizioni operative selezionate.

Il progetto di ricerca verrà realizzato nelle seguenti unità: Centro Ricerche ENEA Casaccia (Roma), Centro Ricerche ENEA di Portici (NA). Nelle suddette sedi sono presenti infrastrutture, laboratori e competenze di alta qualificazione per lo svolgimento delle attività di ricerca proposte nel presente progetto ed il perseguimento degli obiettivi fissati.

In particolare, il C. R. ENEA Casaccia è ubicato in un'area geografica circoscritta dove è in fase di realizzazione il primo ecosistema ad idrogeno nazionale, che al tempo stesso rappresenta un cluster, replicabile, in cui implementare e sperimentare strategie di gestione coordinata del connubio domanda-offerta di idrogeno (utilizzo e produzione). Il C. R. ENEA Casaccia si estende per oltre 90 ettari, conta 200 tra edifici, hall tecnologiche, e laboratori ed è dotato di una propria viabilità interna. Si identifica come una comunità numericamente significativa (>1.000 persone) aperta alla sperimentazione ed alla validazione di nuove soluzioni tecnologiche, con un presidio permanente di pronto intervento (vigili del fuoco), e capacità di gestione di alto livello della sicurezza anche per la presenza di impianti nucleari. Possiede una propria rete di distribuzione del gas naturale ed una rete elettrica, integrabili, grazie alle quali si potranno dimostrare i vantaggi del sector coupling. Essendo un centro ricerche, non presenta le criticità tipiche degli ambiti produttivi industriali e può prestarsi, pertanto, ad una logica di

funzionamento “dedicato” alla sperimentazione, ossia libero da vincoli stretti di utenza. IL C.R. ENEA Portici dispone di laboratori e facility dotati delle più moderne apparecchiature di prova per la sperimentazione di sistemi di produzione di energia da fonte rinnovabile, di produzione ed accumulo di idrogeno e della loro integrazione in una nanogrid reale.

Alcune infrastrutture a disposizione per lo svolgimento delle attività sono: laboratori di produzione di idrogeno mediante processi elettrochimici, laboratori di testing e validazione di sistemi di accumulo di idrogeno compresso e attraverso idruri metallici, laboratorio di caratterizzazione dei materiali, componenti e sistemi.

La fattibilità tecnico-scientifica delle attività di ENEA è supportata dalla capacità tecnologica e sperimentale, oltre che dalle competenze e dal know-how di cui dispongono le varie unità coinvolte, come risultato di anni di attività di ricerca e sviluppo nel settore. La disponibilità di personale altamente specializzato (tecnici/ingegneri/ricercatori) consentirà il corretto svolgimento delle attività proposte.

## **2.E SETTORE DI ATTIVITA' E CARATTERISTICHE DEL MERCATO DI RIFERIMENTO**

### *ENEA*

Nel contesto di riferimento della presente proposta progettuale, il personale afferente al Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (TERIN) svolge attività di ricerca e sviluppo in linea con la Vision 2030 delle Agende strategiche europee nello studio e sviluppo di processi, tecnologie e sistemi appartenenti alla filiera idrogeno. Le attività di ricerca, sviluppo e sperimentazione coprono l'intera catena del valore, dalla ricerca di base sui materiali, alla ricerca applicata, fino alla dimostrazione in condizioni reali. La produzione di idrogeno da fonti rinnovabili (es. solare termochimico, elettrochimico e biomasse) e le tecnologie per l'utilizzo finale, sono tra i principali pilastri della ricerca oggetto di studio, per migliorarne le caratteristiche tecniche, economiche e ambientali con l'obiettivo di favorire la crescita di un'economia idrogeno nazionale.

Le competenze dei ricercatori di ENEA consentono di portare avanti le attività di R&S integrando competenze di modellazione numerica con quelle di progettazione e sperimentazione. ENEA ha una consolidata esperienza nello sviluppo di prototipi e dimostratori integrati in piattaforme sperimentali per la validazione di tecnologie innovative anche in una prospettiva di mercato. Questi includono, ad esempio, impianti su scala da banco per la dimostrazione di cicli termochimici di scissione dell'acqua per la produzione di idrogeno, reformer a membrana integrato con la fonte solare, laboratori attrezzati per la caratterizzazione di stack di elettrolizzatori e celle a combustibile, impianti e prototipi per i processi di power-to-gas (P2G), ecc. Presso il C.R. ENEA Portici è disponibile una Smart Energy Microgrid dedicata al controllo e alla gestione avanzati di micro e nanogrid per studiare e sperimentare l'integrazione energetica multivettoriale e multisettoriale.

In tale contesto l'ENEA potrà supportare l'industria nazionale coinvolta a vario titolo e con diverse competenze, nella filiera idrogeno: industria manifatturiera per lo sviluppo di tecnologie elettrochimiche (elettrolizzatori e fuel cell) industria termomeccanica (caldaie residenziali e forni industriali), industria del settore automotive (nuovi power train a idrogeno, serbatoi per lo stoccaggio, componentistica meccanica), industria afferente al settore del trasporto e distribuzione del gas (materiali, componenti, sistemi di metering), industrie afferenti al settore hard to abate, ecc.

ENEA è membro dell'Hydrogen Europe Research Grouping for the Clean Hydrogen Partnership.

## II<sup>a</sup> PARTE: ELEMENTI DESCRITTIVI DEL PROGETTO

### 1. TITOLO E DURATA DEL PROGETTO

<p><b>DRAGON</b></p> <p>iDruri peR lA Gestione dell'idrOgeNo</p> <p>Durata: 30 mesi</p>		
---	--	---

### 2. AMBITO TECNOLOGICO

*Il progetto DRAGON prevede attività di ricerca fondamentale relativa a tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno, in particolare focalizzandosi sullo sviluppo e la prototipazione e il testing a basso TRL di soluzioni per lo stoccaggio di idrogeno tramite idruri metallici (indirizzando pertanto, facendo riferimento al bando, a quanto afferente alla*

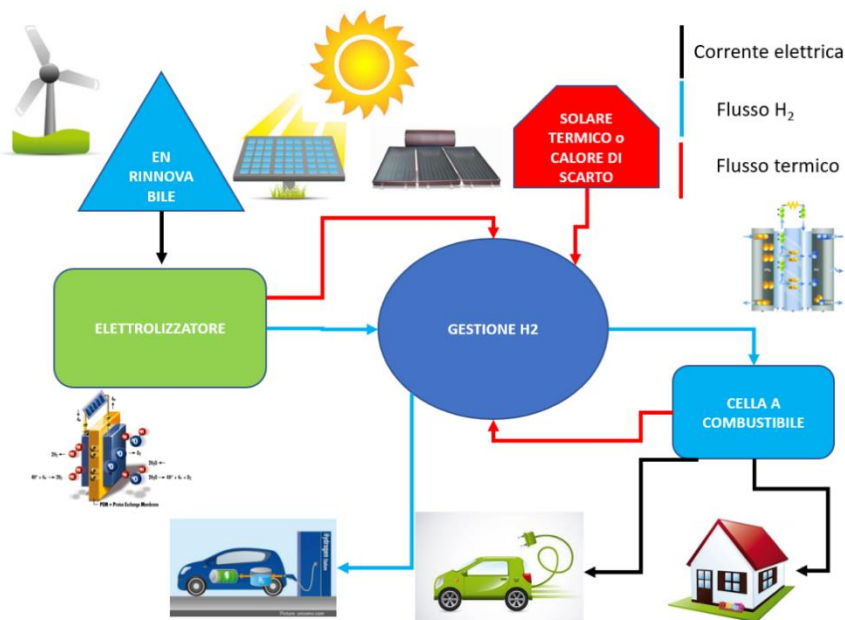
*tematica b2) ricerca e sviluppo su tecnologie innovative di accumulo dell'idrogeno (compressione, liquefazione, idruri, soluzioni ibride e carrier liquidi, etc.) dai prototipi di laboratorio fino alla scala pilota)*

**APPROCCIO:** gli idruri metallici come tecnologia abilitante per la gestione dell'idrogeno nella sua filiera

Le energie rinnovabili sono pensate per la produzione distribuita di energia, ma le loro fluttuazioni nel tempo richiedono l'uso di opportuni sistemi di accumulo. Una delle migliori opzioni per l'accumulo di energia è la produzione di idrogeno verde per via elettrolitica dall'acqua. L'idrogeno verde prodotto dall'elettrolisi dell'acqua può essere usato per veicoli elettrici a celle a combustibile o per alimentare celle a combustibile stazionarie per la produzione di elettricità su richiesta, al fine di soddisfare le esigenze degli utenti finali (industrie, prosumer o comunità energetiche).

Le tecnologie che sfruttano l'uso dell'idrogeno richiedono un'adeguata gestione di questo gas, ovvero la sua **purificazione, compressione e stoccaggio**. Allo scopo di rendere competitiva la filiera di produzione-distribuzione-stoccaggio dell'idrogeno si richiedono pertanto sistemi e tecnologie a basso costo e ad alta efficienza, in grado di gestire l'idrogeno per gli scopi di cui sopra a basse temperature (T) e pressioni (p) e sfruttare i cascami termici e le fonti rinnovabili (elettriche e termiche) per migliorare l'intero ciclo produttivo (si veda la figura sotto).





Le funzioni di gestione dell'idrogeno sopracitate possono essere realizzate mediante **idruri metallici (MH)**, sfruttando la loro particolare capacità di assorbire il gas in modo selettivo e reversibile in condizioni adeguate e favorevoli<sup>1</sup> (basse p e T), come descritto di seguito.

**Purificazione.** La separazione e la purificazione di idrogeno si basa sull'assorbimento selettivo da parte degli MH,<sup>2</sup> che sono in grado di separare l'idrogeno da contaminanti, acqua, umidità provenienti da uno stream gassoso. Questo sistema garantisce affidabilità e buoni livelli di efficacia di purificazione. Tuttavia, per poter garantire una buona vita utile del sistema di purificazione, è necessario investigare un'adeguata procedura di riciclo dei MH. I vantaggi di sistemi di purificazione a MH sono la semplicità del dispositivo, il basso consumo energetico, il funzionamento in condizioni di sicurezza (basse pressioni e temperature, oltreché evitando la possibilità di formazione di miscele infiammabili/esplosive) e l'alto rapporto di recupero di idrogeno.

**Compressione.** I vantaggi nell'uso di MH per la compressione idrogeno rispetto ai compressori meccanici (alimentati da energia elettrica) includono l'assenza di contaminazioni (e.g. olio), un ingombro ridotto, nessuna parte mobile, costi di manutenzione e rumorosità ridotti e, anche utilizzando il calore da fonti esterne (e.g. solare a concentrazione, calore di scarto, etc.) per la gestione termica dei MH, un consumo di energia molto basso.<sup>3</sup>

**Stoccaggio.** I vantaggi dell'accumulo di idrogeno in MH rispetto al gas compresso sono la sicurezza intrinseca, una maggiore densità volumetrica (pari a 110 vs 30 kg H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) e una maggiore efficienza energetica (circa l'85% o più con il recupero di calore e lo sfruttamento di fonti termiche "gratuite").<sup>4</sup>

**Accumulo di calore.** Il calore può essere immagazzinato in modo reversibile in MH, che hanno il potenziale per raggiungere obiettivi legati al costo (inferiore a 15 €/kWh<sub>th</sub>), all'efficienza energetica (superiore al 95%), alla temperatura di esercizio (inferiore a 200 °C) e alla densità di energia volumetrica (superiore a 80 kWh<sub>th</sub>/m<sup>3</sup>).<sup>5</sup>

***L'ambizione del progetto DRAGON è studiare e testare in scala di laboratorio (TRL4-5) materiali e sistemi basati su idruri metallici che possano svolgere tutte le funzioni sopracitate, anche sinergicamente, sia per applicazioni stazionarie che di mobilità.***

<sup>1</sup> M. Hirscher, V. A. Yartys, M. Baricco, [...], L. Pasquini, et al. "Materials for hydrogen-based energy storage - past, recent progress and future outlook", J. All. Compd. 827 (2020) 153548, DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.153548

<sup>2</sup> Chen X., Ling X., Lan D., Fu S., Zao X., "A Review on the Metal Hydride Based Hydrogen Purification and Separation Technology" Appl. Mech. Mat. 448-453 (2013) 3027-36, DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.448-453.3027.

<sup>3</sup> M.V. Lototsky, V.A. Yartys, B.G. Pollet, R.C. Bowman, "Metal hydride hydrogen compressors: A review", International Journal of Hydrogen Energy 39 (2014) 5818-5851, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.01.158.

<sup>4</sup> J.Bellosta von Colbe, [...], Marcello Baricco et al. "Application of Hydrides in Hydrogen Storage and Compression: Achievements, Outlook and Perspectives", International Journal of Hydrogen Energy 44 (2019) 7780 - 7808, DOI:10.1016/j.ijhydene.2019.01.104

<sup>5</sup> M. Paskevicius, D.A. Sheppard, K. Williamson, C.E. Buckley, "Metal hydride thermal heat storage prototype for concentrating solar thermal power" Energy 88 (2015) 469-477, DOI: 10.1016/j.energy.2015.05.068.

**Lo scopo del progetto DRAGON è fornire evidenze scientifiche e sperimentali per lo sviluppo di una filiera italiana di produzione di MH più sostenibili (e a filiera corta) ed efficienti, che possa accompagnare la promozione dell'idrogeno (e la sua produzione per via elettrolitica) nel nostro paese.**

### STATO DELL'ARTE E PROBLEMATICHE APERTE

Osservando la letteratura ed esperienze sperimentali/di sviluppo pregresse di sistemi integrati per la gestione dell'idrogeno basati su MH, è possibile identificare alcune esperienze in cui i MH sono stati protagonisti in diversi casi studio.<sup>4</sup> In particolare, sono stati sviluppati modelli di simulazione dinamica in relazione alle loro applicazioni in sistemi energetici, nella fornitura di idrogeno per celle a combustibile<sup>6</sup> e per l'accumulo di calore in centrali solari a concentrazione.<sup>7</sup>

Lo svantaggio principale nell'utilizzo di MH che operano vicino a T e p ambiente per la gestione dell'idrogeno è che, essendo costituiti da metalli di transizione, la loro capacità gravimetrica risulta limitata (ad es. 1.3% in peso di H per LaNi<sub>5</sub>). Raggiungere una capacità di H<sub>2</sub> vicino al 2% in peso in condizioni prossime a quelle ambientali (circa 1 bar e T ambiente) è importante anche per le applicazioni stazionarie, perché si può ridurre il costo di MH per kg di idrogeno gestito. Altre problematiche aperte per la gestione dell'idrogeno mediante MH sono: i) aumentare la p ottenibile in compressione; ii) facilitare il processo di attivazione delle polveri metalliche; iii) prolungare la vita del processo, aumentando il numero di cicli di carica/scarica; iv) migliorare le proprietà di trasferimento del calore per la gestione della carica/scarica delle polveri; v) ridurre i costi; vi) ottimizzare il design dei reattori e individuare soluzioni innovative per la gestione del calore; vii) definire una ottimizzazione della integrazione dei diversi componenti.<sup>1</sup>

Da ultimo, per la gestione di idrogeno mediante MH, occorre considerare gli aspetti legati all'impatto ambientale di tali tecnologie,<sup>8</sup> alla individuazione di opportuni modelli economici di implementazione su scala industriale, alla definizione di opportune normative, e, infine, alla verifica di una completa accettazione sociale.

### 3. SINTESI

Le fluttuazioni temporali delle energie rinnovabili richiedono sistemi in grado di accumulare e fornire energia quando necessario. Una delle migliori opzioni è la produzione di idrogeno verde dall'elettrolisi dell'acqua. L'idrogeno può essere successivamente utilizzato per alimentare combustibile per la produzione di energia elettrica. Queste tecnologie richiedono un'adeguata gestione dell'idrogeno (purificazione, compressione e stoccaggio) basata su sistemi ad alta efficienza, che operino vicino alla temperatura ambiente, accoppiati con un'adeguata gestione del calore per migliorare l'efficienza energetica complessiva.

L'obiettivo finale del progetto DRAGON è la realizzazione di una serie di sistemi integrati per la gestione dell'idrogeno, che sfruttino gli idruri metallici. I materiali sviluppati all'interno del progetto per la purificazione, la compressione e lo stoccaggio dell'idrogeno e per lo scambio di calore saranno basati su composti intermetallici e leghe ad alta entropia. Saranno studiate le sostituzioni elementari e l'ottimizzazione della microstruttura per soddisfare i requisiti fissati da ciascuna applicazione. Metodi computazionali (CALPHAD e DFT) guideranno la scelta dei sostituenti chimici negli idruri, permettendo di superare un approccio *trial-and-error*. I materiali sintetizzati verranno caratterizzati per quanto riguarda la termodinamica che la cinetica di assorbimento dell'idrogeno. Lo sviluppo dei materiali sarà seguito da una analisi tecnica di diverse possibili applicazioni, basata su modelli termo-fluidodinamici.

Il progetto DRAGON porterà le seguenti principali innovazioni per la gestione dell'idrogeno:

1. Individuazione di materiali ad elevata selettività per la purificazione di H<sub>2</sub> mediante idruri e identificazione delle migliori procedure per la loro rigenerazione.
2. Sviluppo di nuovi idruri stabili e a basso costo per la compressione dell'idrogeno fino a 500 bar a temperature inferiori ai 120 °C.
3. Sviluppo di leghe a base di FeTi e leghe ad alta entropia con microstruttura e composizione ottimizzate, con facilità di attivazione e con capacità di stoccaggio fino al 2% in peso di idrogeno.
4. Sviluppo di idruri con proprietà termodinamiche opportune per l'accumulo di calore.

<sup>6</sup> Gambini M., Stilo T., Vellini M., "Hydrogen storage systems for fuel cells: Comparison between high and low-temperature metal hydrides" Int. J. Hydr. Ener. 44 (2019) 15118-15134, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.04.083

<sup>7</sup> Gambini M., Stilo T., Vellini M., "Selection of metal hydrides for a thermal energy storage device to support low-temperature concentrating solar power plants" Int. J. Hydr. Ener. 45 (2020) 28404-28425, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.07.211

<sup>8</sup> M.Costamagna, J.Barale, C.Carbone, C.Luetto, A.Agostini, M.Baricco, P.Rizzi, "Environmental and economic assessment of hydrogen compression with the metal hydride technology", International Journal of Hydrogen Energy 47 (2022) 10122-10136, DOI:10.1016/j.ijhydene.2022.01.098

5. Sviluppo di tecnologie per soddisfare le esigenze di gestione dell'idrogeno in sistemi operanti vicino alla temperatura ambiente, fornendo un'analisi tecnico-economica di possibili scale-up a livello industriale.
6. Realizzazione di 5 PROTOTIPI, per la dimostrazione della applicabilità dei risultati ottenuti.
7. Identificazione di specifici casi studio, al fine di poter valutare la realizzazione di produzioni su scala industriale.
8. Analisi degli impatti ambientali ed economici delle tecnologie sviluppate, affiancati ad un monitoraggio degli aspetti normativi e della accettabilità sociale.

Il progetto DRAGON potrà contribuire alle strategie nazionali e internazionali finalizzate allo sviluppo delle fonti di energia rinnovabile e dell'idrogeno come vettore di energia pulita. Il progetto permetterà il potenziamento dello sviluppo delle comunità energetiche, l'aumento della sostenibilità dell'accumulo di energia rinnovabile, una riduzione della dipendenza da materie prime critiche e un miglioramento della sicurezza nelle tecnologie per la gestione dell'idrogeno. Per questi motivi, il progetto DRAGON potrà avere un elevato impatto sul sistema Paese, non solo dal punto di vista scientifico e tecnologico, ma anche nell'affrontare le sfide sociali e ambientali di oggi.

Facendo riferimento al bando (*tematica b2) ricerca e sviluppo su tecnologie innovative di accumulo dell'idrogeno (compressione, liquefazione, idruri, soluzioni ibride e carrier liquidi, etc.) dai prototipi di laboratorio fino alla scala pilota*), il progetto DRAGON propone dunque un approccio olistico e sinergico per la promozione dei MH come tecnologia abilitante e a basso costo per una gestione integrata del ciclo dell'idrogeno (produzione – distribuzione – stoccaggio), grazie ad attività di ricerca sperimentale e prototipale (5 diversi PROTOTIPI testati) a livello di modelli di simulazione, materiali, sistemi, allo scopo di produrre un bagaglio di conoscenze ed esperienze per un ulteriore sviluppo industriale sulle tecnologie innovative di accumulo e gestione dell'idrogeno.

Allo scopo di presentare una sintesi delle attività di ricerca proposte dal progetto DRAGON, sono riportati qui di seguito i criteri di valutazione e come il consorzio DRAGON li abbia indirizzati.

Criteri di valutazione	Elementi di valutazione	Argomenti di valutazione	Come il progetto DRAGON Indirizza il criterio di valutazione
a) Fattibilità tecnico-organizzativa	a.1) Capacità e competenze	Capacità di realizzazione del progetto di ricerca e sviluppo con risorse interne, da valutare sulla base delle competenze e delle esperienze del proponente rispetto al settore/ambito in cui il progetto ricade	Il progetto è coordinato dal prof. Marcello Baricco dell'Università di Torino, internazionalmente riconosciuto come uno dei leader a livello scientifico in ambito italiano ed europeo (coordinatore del progetto H2020 HyCARE) nell'ambito della ricerca sui MH a livello sperimentale e di sviluppo materiali. Al consorzio partecipano inoltre i due principali enti di ricerca nazionali per la promozione delle energie rinnovabili (ENEA e CNR), che coinvolgeranno i propri laboratori legati allo sviluppo materiali e tecnologie per l'utilizzo dell'idrogeno. Completano il partenariato UNIGE e UNIPAR, con i gruppi di ricerca coordinati dal prof. Massardo e prof. Jannelli, da sempre attivi (in progetti nazionali ed internazionali) nella ricerca di sistemi per l'utilizzo dell'idrogeno in ambito stazionario e di mobilità, anche grazie ai loro eccellenti laboratori.
	a.2) Qualità delle collaborazioni	Qualità delle collaborazioni attivate nell'ambito del progetto, sia in qualità di co-proponenti che in qualità di prestatori di servizi nell'ambito del progetto	Il progetto DRAGON coinvolge 5 partner di ricerca già attivi ed affiatati in collaborazioni congiunte in ambito nazionale/internazionale (e.g. progetti H2020 ENGIMMONIA, H2PORTS – consorzio ATENA) e che potranno dunque ulteriormente valorizzare sinergicamente le proprie competenze e sinergie. I proponenti prevedono inoltre il coinvolgimento (in alcune attività consulenziali, e.g. realizzazione prototipi) di PMI innovative nazionali attive nella promozione delle tecnologie idrogeno. Saranno inoltre coinvolti nelle attività di ricerca (tramite il meccanismo dell'affiliazione) alcuni ricercatori delle Università di Bologna, Sassari, Roma Tor Vergata, per alcune peculiari attività di sviluppo.  Un'attività di disseminazione e comunicazione che preveda il coinvolgimento di stakeholders di ricerca/industriali nazionali ed internazionali è inoltre prevista nel progetto (OR4) allo scopo di raccogliere informazioni/ suggerimenti per la futura replicabilità del sistema DRAGON.
	a.3) Risorse tecniche e organizzative	Adeguatezza delle risorse strumentali e organizzative a disposizione del progetto, con	Il progetto ha una durata complessiva di 30 mesi ed è articolato in 7 OR, prevedendo il coinvolgimento di ricercatori e laboratori di

		particolare riguardo alla dotazione delle risorse, alla tempistica del progetto prevista in coerenza con i vincoli di durata stabiliti dall'Avviso, e alla coerenza delle fasi in cui si articola il progetto	primo livello nazionale per lo sviluppo e caratterizzazione di MH (CNR, UNITO) e prototipi di tecnologie Fuel Cell and Hydrogen (FCH) (CNR, UNIGE, UNIPAR, ENEA). Ogni OR, seppur sviluppando una specifica tematica/tecnologia, prevederà ricerca in ambito sia teorico (modelli di simulazione) che sperimentale.
b) Qualità del progetto	b.1) Validità tecnica	Contenuti tecnico/scientifici e avanzamento delle conoscenze nello specifico ambito di attività da valutare rispetto allo stato dell'arte nazionale e internazionale, in rapporto alla tematica del progetto individuata tra quelle previste dall'Avviso	Il sistema integrato DRAGON è da considerarsi "First of its kind": in nessun progetto R&D nazionale o internazionale si è infatti studiata la potenzialità dei MH come unica tecnologia abilitante per la purificazione-compressione-stoccaggio dell'idrogeno e dunque una più facile gestione dell'idrogeno verde prodotto da diversi tipi di processi (non solo elettrolitici), indirizzando pertanto gli obiettivi del PNRR e del PNR. Lo studio di tecnologie "cost-effective" per lo stoccaggio di idrogeno e di MH alto performanti e a minor impatto ambientale è inoltre un obiettivo previsto anche dalle roadmap strategiche di Hydrogen Europe. Il progetto DRAGON vuole inoltre essere il primo step per un'ulteriore attività di ricerca (anche a livello industriale e manifatturiero) per la promozione di una filiera italiana per la produzione di MH.
	b.2) Rilevanza dei risultati attesi	Rilevanza, utilità e originalità dei risultati attesi, e capacità del progetto di generare miglioramenti tecnologici e di sostenibilità tramite successiva attività di ricerca e sviluppo nel settore/ambito di riferimento nel quale la nuova conoscenza può essere utilizzata.	
	b.3) Efficienza, sostenibilità e durabilità	Grado di raggiungimento e diffusione degli obiettivi innovativi con il minimo consumo possibile di risorse. Capacità dei risultati generati dal progetto di sostenersi nel tempo nell'ambito dell'attività di ricerca e sviluppo a valle	
c) Impatto del progetto	c.1) Potenzialità di sviluppo	Capacità della nuova conoscenza prodotta di introdurre innovazioni e dare corso ad attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale a valle. Potenziale quantitativo delle attività a valle di ricerca e sviluppo dare corso alle nuove conoscenze introdotte dal progetto	Il progetto DRAGON valorizzerà collaborazioni già in essere tra gli enti partecipanti per diventare il primo step per un'ulteriore attività di ricerca (anche a livello industriale e manifatturiero) per la promozione di una filiera italiana per la produzione di MH. Ulteriori attività e progetti R&D saranno promossi a livello nazionale ed EU dai partner (già molto attivi in tal senso) per poter continuare le attività di ricerca a valle del progetto anche coinvolgendo attori industriali presenti nel network del partenariato per diverse applicazioni (e.g. SNAM, FINCANTIERI, DeNora etc.). Sarà inoltre promosso il trasferimento tecnologico verso PMI Innovative, che supporteranno le attività del progetto e che potranno favorire lo sviluppo di una filiera italiana MH. In questo senso H2IT ha espresso supporto alle attività di progetto (lettera allegata).
	c.2) Potenzialità tecnologica	Capacità di contribuire allo sviluppo della filiera/catena del valore dell'idrogeno, e di generare ricadute positive al di fuori	

	c.3) Impatto ambientale	Potenziale contributo dei risultati del programma in merito all'aumento delle capacità scientifiche per l'innovazione finalizzata al conseguimento degli obiettivi di mitigazione dei cambiamenti climatici e prevenzione e riduzione dell'inquinamento	La promozione dei MH come tecnologia abilitante per una gestione più energeticamente efficiente e cost-effective del ciclo dell'idrogeno in Italia, faciliterà gli investimenti in impianti di produzione di idrogeno verde e ridurrà inevitabilmente il consumo di energia primaria (e relative emissioni di CO <sub>2</sub> ) del ciclo di produzione-distribuzione-stoccaggio dell'H <sub>2</sub> , favorendo così il raggiungimento degli obiettivi della Strategia Nazionale Energetica e Strategia Nazionale Idrogeno.
--	-------------------------	---	--

#### 4. FINALITA'

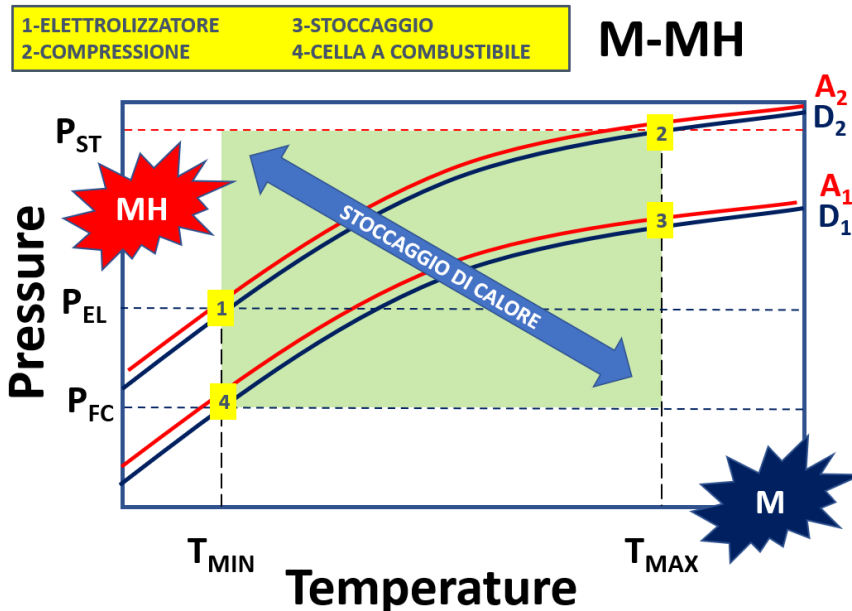
##### PREMESSA

L'obiettivo principale del progetto è la progettazione, lo sviluppo e la validazione a TRL5 di sistemi integrati di gestione dell'idrogeno basati su MH innovativi, per l'applicazione nello stoccaggio di energie rinnovabili (accumulo di H<sub>2</sub> per sistemi power-to-hydrogen) e per la mobilità. Tra i molti MH studiati, quelli particolarmente interessanti per la gestione di idrogeno sono i composti intermetallici con composizioni A<sub>2</sub>B, AB, AB<sub>2</sub> e AB<sub>5</sub>, dove A è un elemento che forma MH stabili, ad es. metalli di transizione del lato sinistro della tavola periodica o terre rare, e B è un elemento che forma MH instabili. I parametri chiave per le applicazioni sono le variazioni di entalpia ( $\Delta H$ ) e entropia ( $\Delta S$ ) per la formazione/decomposizione di MH, che possono essere modificate mediante variazioni della composizione. Di conseguenza, anche la p e T di equilibrio possono essere variate, poiché dipendono da  $\Delta H$  e  $\Delta S$  attraverso la relazione di van 't Hoff:

$$p = \exp\left(\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R}\right)$$

dove R rappresenta la costante dei gas. Oltre alla termodinamica, la cinetica di assorbimento è cruciale per la gestione dell'idrogeno con MH, perché determina la velocità di reazione nelle applicazioni pratiche. Le velocità di assorbimento e desorbimento di idrogeno sono fortemente influenzate dalla microstruttura degli MH, che può essere modificata tramite opportuni processi di sintesi e mediante trattamenti termo-meccanici. Ad esempio, i materiali a grana fine mostrano una cinetica di assorbimenti molto rapida, grazie alla maggiore diffusione dell'idrogeno lungo i bordi di grano, che possono anche fungere da siti di nucleazione eterogenei durante le trasformazioni solido-solido. Un'altra caratteristica microstrutturale rilevante è la presenza di fasi secondarie disperse, che possono promuovere la dissociazione o la ricombinazione di idrogeno, favorendo così la diffusione di volume e limitando i problemi di attivazione.

Le reazioni di assorbimento di idrogeno sono coinvolte nella gestione con MH, come riassunto nella figura seguente, che mostra schematicamente le curve p-T per due diversi sistemi M - MH, evidenziando l'isteresi tra assorbimento (A) e desorbimento (D).



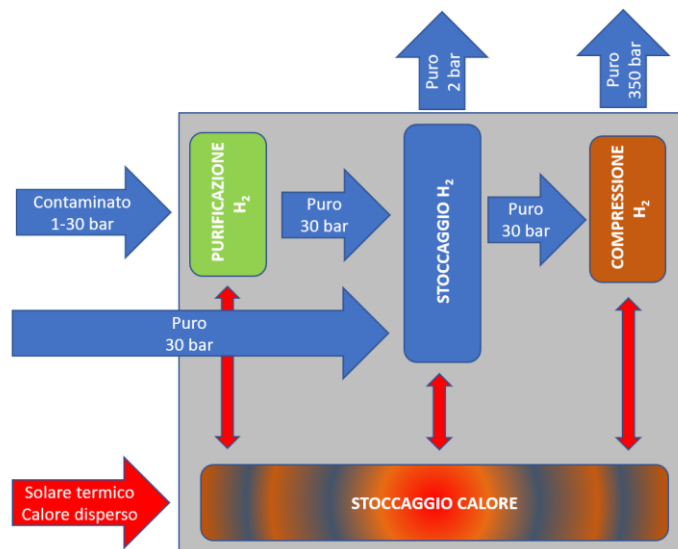
La gestione dell'idrogeno mediante idruri si basa su transizioni da una temperatura bassa ( $T_{MIN}$ ) ad una alta ( $T_{MAX}$ ), che vengono eseguite a pressioni diverse, ovvero quelle relative alla produzione di idrogeno in un elettrolizzatore ( $P_{EL}$ ), l'utilizzo nella cella a combustibile ( $P_{FC}$ ) e lo stoccaggio in un serbatoio di gas compresso ( $P_{ST}$ ). Le fasi coinvolte in un compressore MH a due stadi sono descritte nella figura. Dopo l'assorbimento di H nel primo MH a  $P_{EL}$  e  $T_{MIN}$  (1), il contenitore viene riscaldato fino a  $T_{MAX}$  (2), portando ad un aumento della pressione. Quindi l'idrogeno viene trasferito al secondo MH a  $T_{MIN}$  (3), che viene infine riscaldato fino a  $T_{MAX}$  (4), raggiungendo  $P_{ST}$  ad alta pressione.

Tutte le trasformazioni implicano uno scambio termico, che può essere gestito mediante MH, mediante altre tecniche di accumulo termico (e.g. sistemi di accumulo a calore sensibile o latente come studiato nel progetto HyCARE o ad accumulo termo-chimico) oppure mediante l'uso di fonti di calore gratuite, quali rinnovabili termiche o calore di scarto. Per raggiungere questi obiettivi, l'assorbimento di idrogeno deve essere realizzato in condizione più prossime possibili alla  $T$  ambiente. Nell'intervallo di  $p$  richiesto dalle applicazioni pratiche/casi studio, l'assorbimento di idrogeno deve essere guidato da  $\Delta H$  (che definisce il calore coinvolto) e  $\Delta S$  adeguati e deve poter garantire una cinetica veloce. Inoltre, sempre nel periodo di "carica dell'accumulo di idrogeno" (assorbimento idrogeno) devono essere evitate possibili reazioni collaterali con contaminanti (es. umidità), che possono ridurre la reversibilità dell'assorbimento di idrogeno negli MH. Infine, per poter inoltre stoccare energia tramite sistemi "power-to-hydrogen" (vista anche l'onerosità da un punto di vista dell'efficienza energetica delle tecnologie di elettrolisi), una soluzione di accumulo di idrogeno con MH deve poter garantire alta efficienza energetica e basso costo, con una gestione dell'idrogeno sicura e allo stesso tempo efficace dal punto di vista della gestione termica degli idruri metallici (che ad esempio preveda lo sfruttamento di fonti termiche gratuite quali rinnovabili termiche o calore di scarto).

*Il progetto DRAGON ha l'ambizione di studiare un sistema "multi-purpose/multi-management" basato su tecnologie MH per la gestione dell'idrogeno (che può essere prodotto per via elettrolitica ma non solo) e il suo stoccaggio, sia in applicazioni stazionarie che di mobilità.*

### IL SISTEMA DRAGON

Uno schema riassuntivo di sistemi di gestione di idrogeno mediante MH è descritto nella figura seguente, dove le linee blu e rosse rappresentano, rispettivamente, i flussi di idrogeno e di calore. L'idrogeno verde può essere prodotto da vari processi, nessuno dei quali garantisce un'elevata purezza del gas prodotto. Come descritto precedentemente, l'idrogeno gestito dal sistema DRAGON può avere varie origini, sia provenendo da elettrolisi (generalmente fornito tra 10 e 30 bar e già a buoni "livelli di purezza") che da altri processi di produzione di idrogeno verde (a basse pressioni e con maggior presenza di contaminanti), ad es. se proveniente da reforming di syngas ottenuto per gassificazione di biomasse o da processi di co-elettrolisi. Da ultimo, la possibile produzione di idrogeno da sistemi foto-elettrochimici, può coinvolgere la produzione di idrogeno impuro a pressioni relativamente basse.



**SCAMBIO TERMICO** - La gestione termica degli impianti basati su MH è governata da scambiatori di calore tramite un opportuno fluido. Per questa ragione il progetto Dragon svilupperà reattori con disegni innovativi realizzati mediante manifattura additiva, finalizzati ad ottimizzare lo scambio termico (PROTOTIPO 1).

**PURIFICAZIONE** - In assenza di un sistema di purificazione, che ha forti impatti sui costi degli elettrolizzatori, si ha la produzione di idrogeno impuro/contaminato. Il primo processo considerato dal progetto DRAGON per la gestione dell'idrogeno permetterà la purificazione da contaminanti (es.  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ) mediante assorbimento/desorbimento in un opportuno MH (PROTOTIPO N.2).

**COMPRESSIONE** - L'idrogeno purificato potrà essere trasferito ad un serbatoio di stoccaggio basato su MH, dove potrà essere rilasciato a bassa pressione (circa 2 bar) per alimentare una cella a combustibile o potrà essere mandato ad un compressore. In questo caso, un compressore a tre stadi basato su MH potrà portare idrogeno puro fino a oltre 350 bar,<sup>9</sup> per il riempimento di serbatoi ad alta pressione (PROTOTIPO 3).

**STOCCAGGIO** - Lo sviluppo di materiali per l'immagazzinamento di idrogeno permetterà la realizzazione di sistemi PROTOTIPI, sia per applicazioni in campo della mobilità (es. per veicoli a celle a combustibile - PROTOTIPO 4), che per applicazioni stazionarie (PROTOTIPO 5).

**ACCUMULO TERMICO** - Un sistema di accumulo di calore basato su MH permetterà di regolare la temperatura del fluido, coadiuvata dall'ingresso di una sorgente solare termica esterna o di calore di scarto, per compensare eventuali perdite di calore.

Tutti i componenti saranno progettati per funzionare a temperature inferiori a 120 °C.

Il progetto punta allo sviluppo di materiali finalizzati al miglioramento della termodinamica e della cinetica delle reazioni di assorbimento/desorbimento di idrogeno, che può essere ottenuto ottimizzando le composizioni e la microstruttura. Il cuore del progetto è pertanto lo sviluppo di nuovi materiali in base alle esigenze applicative. Tali materiali verranno applicati in prototipi, sia su scala di laboratorio (TRL4 – presso i laboratori CNR, UNITO, UNIGE) che su scala pilota (TRL5 – presso i laboratori ENEA).

Per lo sviluppo del progetto, verrà utilizzato il seguente approccio:

- Identificazione delle proprietà di MH da ottimizzare, mediante la modifica di composizione, struttura cristallina e microstruttura. (OR1-2 – CNR, UNITO)
- Metodi teorici (ab-initio, Calphad) per identificare composizioni idonee e prevedere le proprietà. (OR1 – UNITO)
- Sintesi di nuovi materiali mediante fusione ad arco e ball milling su scala di laboratorio. Identificazione di sintesi su scala industriale per la riduzione dei costi. (OR1-2 – CNR, UNITO)
- Caratterizzazione dei materiali sviluppati (struttura, microstruttura, analisi termica, volumetrica) per fornire parametri di input per i sistemi integrati. (OR1-2-3 – CNR, UNITO)

<sup>9</sup> X.H. Wang, Y.Y. Bei, X.C. Song, G.H. Fang, S.Q. Li, C.P. Chen, Q.D. Wang, "Investigation on high-pressure metal hydride hydrogen compressors" Int. J. Hydr. Ener. 32 (2007) 4011-4015, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2007.03.002.



- Integrazione di tutti i dati acquisiti in possibili casi studio e identificazione dei candidati più idonei per le applicazioni desiderate. (OR3-4-5 – CNR, UNIGE, UNIPAR)
- Sviluppo e validazione di PROTOTIPI, su scala di laboratorio e su scala pilota. (OR4-5-6 – UNIGE, UNIPAR, ENEA)
- Valutazioni tecnico-economica, di impatto ambientale e di accettazione sociale, per individuare possibili sfruttamenti a livello industriale. (OR4-7 – UNIGE, UNITO)

## STRATEGIA

La strategia pianificata per il progetto e lo sviluppo del sistema DRAGON si basa sui seguenti passaggi e attività di ricerca a livello di:

### MATERIALI

- **Composizione:** sviluppo di nuove leghe, sia su scala di laboratorio che su scala industriale.
- **Struttura:** studio dell'effetto della struttura cristallina sulla stabilità e sulla mobilità dell'idrogeno nelle fasi metalliche ed idruro.
- **Microstruttura:** sviluppo di microstrutture fini, con elevate densità di bordi di grano per il miglioramento delle proprietà cinetiche.
- **Proprietà:** determinazione delle proprietà termodinamiche e cinetiche, della resistenza alle contaminazioni, della ciclabilità.

### APPLICAZIONI E PROTOTIPI

- **Casi studio:** individuazione di casi studio applicativi, con la definizione del dimensionamento, design e modellazione dei sistemi anche per l'analisi con approccio termo-economico di scenari di replicabilità
- **Applicazioni:** sviluppo di prototipi e loro test per studiare potenziali applicazioni stazionarie e di mobilità.

### ANALISI DEGLI IMPATTI

- **Analisi dell'impatto ambientale:** analisi LCA dei materiali e sistemi proposti con particolare attenzione alla riciclabilità e al fine vita
- **Analisi tecnico-economica:** analisi del potenziale di replicabilità e dei costi di manufacturing/upscale
- **Aspetti normativi:** anche per aspetti di risk assessment, health and safety e potenziale certificazione dei materiali e sistemi proposti
- **Analisi dell'impatto delle soluzioni individuate sul sistema italiani, sia dal punto di vista delle applicazioni industriale che della accettazione sociale:** anche grazie al coinvolgimento di stakeholders nazionali e internazionali

## IMPATTI ATTESI

Questa ricerca è incentrata su uno dei temi più impegnativi nel campo dell'energia pulita e alternativa, sia fornendo conoscenze fondamentali che incidendo sull'attuazione di un'economia basata sull'idrogeno. Il progetto mira a dimostrare la forte potenzialità dei sistemi a base di idruri per applicazioni nei sistemi di accumulo di energia e per il miglioramento delle prestazioni (a livello di cost-effectiveness e di efficienza energetica) del ciclo della gestione dell'idrogeno (produzione-distribuzione-stoccaggio). Mediante un'adeguata personalizzazione di composizione, struttura e microstruttura e un'adeguata integrazione del sistema, sono previste proprietà migliorate nel campo della purificazione dell'idrogeno, della sua compressione, del suo stoccaggio e dell'accumulo di calore.

### IMPATTI SCIENTIFICI

Gli impatti scientifici attesi dalla ricerca svolta porteranno a un progresso nella comprensione delle strutture e della termodinamica in sistemi basati su idruri. In particolare, sarà determinato l'effetto delle sostituzioni elementari sulle proprietà di assorbimento dell'idrogeno in MH di tipo AB, AB2 e AB5. Per i sistemi selezionati, saranno ottenuti nuovi database termodinamici con il metodo Calphad.

Il progetto DRAGON porterà le seguenti innovazioni per la gestione dell'idrogeno da parte di MH:

- il miglioramento della selettività e del recupero di H<sub>2</sub> nel processo di purificazione da MH e l'individuazione delle migliori procedure di rigenerazione dei composti intermetallici;
- lo sviluppo di nuovi idruri stabili e a basso costo per la compressione H, ovvero l'esplorazione di nuove leghe AB2 finora non utilizzate;
- sviluppo di leghe a base di FeTi con microstruttura e composizione su misura per lo stoccaggio di H (singolo plateau di facile attivazione);
- sviluppo di nuove High Entropy Alloys (HEA) per lo stoccaggio idrogeno;

- sviluppo di leghe innovative con opportune proprietà termodinamiche (assorbimento di idrogeno a T inferiore a 120 °C pur mantenendo una capacità gravimetrica significativa superiore all'1 wt. %) adatte per l'accumulo di calore;
- maggiore comprensione delle proprietà di nuove leghe AB, AB2 e AB5, per applicazioni selezionate;
- ottimizzazione di sistemi basati sulle leghe selezionate;
- sviluppo di prototipi;
- analisi tecnico-economica di possibili scale-up a livello industriale e loro integrazione ottimale in sistemi energetici.

#### *IMPATTI TECNOLOGICI E AMBIENTALI*

I principali risultati di questa proposta di ricerca potranno contribuire all'avanzamento delle conoscenze nel campo dello stoccaggio dell'energia da fonti rinnovabili mediante l'uso dell'idrogeno come vettore energetico. Infatti, come suggerito in questa proposta di ricerca, l'eccesso di energia elettrica può essere sfruttato per produrre idrogeno da utilizzare in varie applicazioni e in diversi momenti, ad esempio nella produzione di energia per soddisfare utenze domestiche o per la mobilità. Le potenziali applicazioni tecnologiche potranno contribuire allo stoccaggio di energie rinnovabili utilizzando l'idrogeno come vettore, in sistemi basati su MH con condizioni operative a basso impatto (pressioni inferiori a 30 bar e temperature inferiori a 120°C). In aggiunta, si prevede un contributo dell'energia solare termica alla gestione del sistema di gestione dell'idrogeno. I risultati del progetto permetteranno di sostenere i principali vantaggi (in termini energetici, ambientali ed economici) della generazione elettrica distribuita, ponendo le basi per un'analisi di fattibilità in diversi casi studio.

Sono previsti impatti sull'ambiente, sul ciclo di vita e sulla sostenibilità dell'accumulo di energia. In generale, i materiali suggeriti si basano su composti costituiti da elementi economici e abbondanti, non inclusi nell'elenco UE delle materie prime critiche. Un aumento dell'efficienza di stoccaggio dell'idrogeno sarà ottenuto grazie a materiali appositamente sviluppati. L'impronta dei sistemi di accumulo di energia sarà mitigata con l'uso di idruri, grazie alla loro elevata densità volumetrica. Gli effetti della corrosione nell'accumulo di calore saranno ridotti, rispetto ai materiali utilizzati. Infine, con i materiali sviluppati dal progetto per la gestione dell'idrogeno, sarà migliorata la sicurezza nelle tecnologie dell'idrogeno.

#### *IMPATTI SOCIALI ED ECONOMICI*

Per consentire uno sfruttamento sempre più intenso delle fonti rinnovabili non programmabili (sole e vento) nel sistema di generazione elettrica nazionale, è di fondamentale importanza sviluppare sistemi di accumulo di grande taglia, come ad esempio la produzione di idrogeno per via elettrolitica (che necessita sistemi di gestione e stoccaggio di idrogeno a basso costo ed efficienza), e la generazione distribuita, con la produzione di energia a livello locale, dove gli utenti finali dovranno essere incoraggiati ad installare sistemi di produzione di energia dotati di accumulo, come ad esempio piccoli sistemi power-to-hydrogen (che dovranno però essere di facile installazione in contesti "civili", dunque evitando alte pressioni di stoccaggio). In questo modo, gli utenti finali potranno diventare investitori e produttori di energia (cosiddetti "prosumers"). Proprio per questi motivi, l'obiettivo principale di questo progetto è la definizione e progettazione di sistemi innovativi di gestione dell'idrogeno (idrogeno verde, prodotto da fonti rinnovabili non programmabili), rivolto a impianti di generazione di idrogeno verde e a utenze del settore civile (veicoli, singole abitazioni, condomini, comunità energetiche, ecc.). I prosumers di energia elettrica e le comunità energetiche potranno infatti svolgere un ruolo cruciale per la diffusione di tecnologie innovative (come quella qui proposta) e diventare parte integrante del sistema elettrico: un autoconsumo "flessibile" (capace di rispondere alle richieste di stabilità della rete elettrica grazie a sistemi di accumulo) può essere un modo strategico per ridurre i costi dell'elettricità per il singolo utente finale e per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> a livello nazionale, grazie a una migliore e più facile penetrazione di rinnovabili non programmabili sul sistema elettrico nazionale. L'attuale rilevanza di tali sistemi è testimoniata dalla recente normativa nazionale (e promozione) sulle Comunità Energetiche.

Infine, il PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza), presentato dal governo italiano come linea guida per l'utilizzo dei supporti finanziari del Recovery Fund, cita le tecnologie a idrogeno come una soluzione per lo sviluppo delle energie rinnovabili in Italia, con un focus sulla promozione delle tecnologie per la produzione di idrogeno verde a livello nazionale. I risultati ottenuti nel progetto DRAGON potranno contribuire in modo significativo alla diffusione delle tecnologie dell'idrogeno nella società.

In questo senso la proposta di progetto ha avuto il sostegno della Associazione Italiana Idrogeno e Celle a Combustibile (H2IT), come da lettera seguente.



3/5/2022

OGGETTO: Lettera di sostegno al progetto DRAGON

Con la presente,

Alberto Dossi, in qualità di Presidente di H2IT – Associazione Italiana Idrogeno e Celle a combustibile, manifesta l'interesse dell'associazione H2IT ai risultati del progetto di ricerca **DRAGON - iDruri per IA Gestione dell'idroGeNo** coordinato dall'Università di Torino, che coinvolge Università di Genova, CNR, Università Parthenope, ENEA, e propone attività di ricerca fondamentale finalizzate alla costruzione di una filiera italiana per lo sviluppo di tecnologie basate sugli idruri metallici per la gestione dell'idrogeno.

Siamo certi che le attività proposte, se supportate dal MITE, potranno essere di forte interesse per il tessuto industriale nazionale.

Alberto Dossi

Presidente H2IT

H2IT  
Via Pantano 9  
20122 Milano  
IVA 04374810960

Ufficio: 0258370280  
Mobile: +39/3495974693  
segreteria@h2it.it  
www.h2it.it

#### *IMPATTI ATTESI SUL SISTEMA ECONOMICO NAZIONALE*

Le tecnologie di gestione dell'idrogeno basate su idruri hanno suscitato un forte interesse negli anni recenti. Rilevanti soggetti industriali, sia su scala nazionale che internazionale, hanno proposto soluzioni basate su queste tecnologie, sia in ambito stazionario (e.g. SNAM) che di mobilità (e.g. ALSTOM, IVECO, FINCANTIERI, etc.). Partendo dall'applicazione ormai consolidata nel campo dei sottomarini, l'ambito navale ha mostrato ad esempio un forte interesse, come testimoniato dal progetto ZEUS, coordinato da FINCANTIERI, che vede la collaborazione di uno dei soggetti proponenti (UNIGE). Altre possibili applicazioni nel campo della mobilità, sono individuabili nell'ambito del trasporto pesante (p.es. IVECO), del trasporto ferroviario (per esempio da parte di ALSTOM), ma anche nel settore dei mezzi operativi speciali come le macchine movimentatrici operanti in ambito portuale studiate nel progetto H2020 H2PORTS da ENEA e UNIPAR (partecipanti al consorzio DRAGON). Per applicazioni in campo stazionario, l'utilizzo dell'idrogeno per l'immagazzinamento di energia rinnovabile rappresenta certamente un tema di forte interesse. Pur essendo presenti alcune proposte su scala industriale in ambito internazionale (si possono citare i sistemi proposti dalla multinazionale GKN Hydrogen), una filiera italiana che promuova i MH

come tecnologia abilitante per la gestione dell'intero ciclo dell'idrogeno, ma soprattutto il suo stoccaggio, non è ancora stata sviluppata.

Partendo dalle esperienze di ricerca dei proponenti e anche dalle collaborazioni degli stessi con soggetti industriali italiani attivi nel settore (p.es. TECNODELTA, METHYDOR, etc.), il progetto DRAGON ambisce alla creazione di tale filiera, che implica il coinvolgimento di diversi ambiti industriali, quali la produzione di polveri metalliche, la produzione di manufatti con tecniche innovative (manifattura additiva), l'impiantistica termica, la gestione di gas, la integrazione di sistema, anche mediante l'utilizzo di modalità di gestione innovative.

**RISPETTO DIRETTIVA (UE) 2018/2001.** Il progetto DRAGON promuove lo sviluppo di sistemi di stoccaggio di idrogeno a MH aventi tre principali peculiarità: 1) basso costo, 2) alta efficienza energetica (ridotte p e T in gioco), 3) maggior sicurezza intrinseca (ridotte p e T in gioco). La possibilità di stoccare idrogeno in maniera più efficiente può sicuramente promuovere la produzione di idrogeno per via elettrolitica in modalità "power-to-hydrogen" a partire da fonti di energia rinnovabile ai sensi della direttiva (UE) 2018/2001 o dall'energia elettrica di rete. La riduzione del consumo di energia primaria nel ciclo di gestione dell'idrogeno (riduzione energia per compressione e purificazione) permetterà inoltre di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> nel ciclo di vita dell'idrogeno, anche grazie alla promozione di materiali ad alta sostenibilità ambientale e riciclabili. In tal senso, un'analisi LCA dei PROTOTIPI sviluppati dal progetto DRAGON accoppiato a impianti di produzione di elettrolisi verrà svolta nell'OR7 avendo come obiettivo il raggiungimento del valore di 3 t CO<sub>2</sub>eq/t H<sub>2</sub>, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001.

## 5. OBIETTIVO FINALE DEL PROGETTO

Il progetto DRAGON, attraverso lo sviluppo di 7 Obiettivi Realizzativi (OR), ha l'obiettivo di sviluppare materiali e sistemi innovativi per la gestione dell'idrogeno mediante idruri. In particolare, attraverso la combinazione di calcoli teorici e di sperimentazioni su scala di laboratorio, si intende individuare nuove composizioni con proprietà migliorate, quali le densità gravimetrica e volumetrica e le condizioni di pressioni e temperatura prossime a quelle ambientali. I materiali sviluppati, verranno inseriti all'interno di reattori appositamente disegnati, al fine di ottimizzare lo scambio termico. In aggiunta, verranno individuate metodologie innovative di scambio termico, anche mediante l'utilizzo di calore disperso. La combinazione di materiali innovativi e di nuove modalità di scambio termico permetterà la realizzazione di alcuni PROTOTIPI, sia su scala di laboratorio (TRL4 – UNITO, CNR, UNIGE) che su scala pilota (TRL5 – ENEA). Tali PROTOTIPI verranno testati e validati nel corso del progetto (OR1-2-3-4-5-6). Partendo dalle esperienze maturate con i PROTOTIPI realizzati, verrà condotto uno studio finalizzato alla individuazione di possibili applicazioni su scala nazionale (OR4), al fine di contribuire allo sviluppo di una filiera nazionale basata su tale tecnologia. Da ultimo, una combinazione di analisi di impatti ambientali, economici e sociali (OR7), accompagnata da un monitoraggio sugli aspetti normativi, permetterà di suggerire le migliori strategie per una implementazione su scala industriale dei risultati ottenuti dal progetto.

Gli obiettivi finali del progetto possono essere così riassunti:

### • Sviluppo di nuovi materiali (OR1-OR2)

- Sviluppo di nuove leghe con elevate densità gravimetriche e volumetriche per l'idrogeno. Individuazione di nuove composizioni nel campo delle leghe ad Alta Entropia (HEA)<sup>10</sup> e di leghe tipo AB<sub>2</sub> (Ti-Cr-X).<sup>9</sup> Preparazione di campioni su scala di laboratorio mediante tecniche di fusione ad arco e di macinazione di polveri. Caratterizzazione dei materiali sviluppati, da un punto di vista strutturale (XRD), morfologico e microstrutturale (OM, SEM, TEM) delle proprietà termiche (HP-DSC) e volumetriche (Sievert) (UNITO-CNR).
- Utilizzo materie prime disponibili sul mercato per abbattimento dei costi di produzione. Realizzazione di materiali idonei a diverse applicazioni partendo da leghe madri commerciali (TiAl<sub>6</sub>V<sub>4</sub>, FeMn ferrolega, FeV ferrolega) (CNR-UNITO).
- Individuazione di materiali con elevata resistenza alle impurezze presenti nell'idrogeno verde, prodotto per elettrolisi o da biomasse. Sviluppo di metodologie di purificazione dell'idrogeno basate su idruri (UNITO-CNR).
- Realizzazione di pellets mediante compattazione di polveri, eventualmente attraverso l'aggiunta di polimeri (UNITO).

<sup>10</sup> F. Marques, M. Balcerzak, F. Winkelmann, G. Zepon, M. Felderhoff, "Review and outlook on high-entropy alloys for hydrogen storage" Energy Environ. Sci. 14 (2021) 5191, DOI: 10.1039/d1ee01543e

- **Sviluppo di modelli e simulazioni (OR1-OR4-OR5)**

- Sviluppo di calcoli e simulazioni mediante tecniche ab-initio (DFT) per sistemi cristallini per l'assorbimento di idrogeno (**UNITO**).
- Calcoli termodinamici con il metodo Calphad della stabilità di idruri metallici (**UNITO**).
- Modelli termo-fluido-dinamici dello scambio termico e del flusso di gas in sistemi modello e su prototipi (**CNR-UNIPAR**).

- **Integrazione di sistema (OR2-OR3-OR4-OR5-OR6)**

- Stima dei calori coinvolti nelle reazioni di assorbimento e desorbimento di idrogeno per diverse tipologie di materiali. Valutazione degli scambi termici necessari per diverse applicazioni (**CNR-UNIGE-UNITO**).
- Individuazione di schemi e disegni innovativi per scambiatori termici. Realizzazione di scambiatori termici mediante manifattura additiva. innovativi. Possibili soluzioni innovative per l'immagazzinamento termico (**UNIGE-CNR**).
- Design innovativi per ottimizzazione di sistemi integrati (**UNIGE-CNR-UNIPAR**).
- Realizzazione di integrazione di sistema (**CNR- UNIPAR- UNIGE**).
- Test e validazione di sistemi integrati, sia su scala di laboratorio che su scala pilota (**UNIGE-ENEA**).

- **Realizzazione di prototipi (OR1-OR2-OR4-OR5-OR6)**

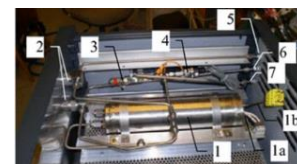
- **PROTOTIPO 1** – Reattore realizzato per manifattura additiva (**CNR-UNIGE**). Si intende realizzare, su scala di laboratorio, un reattore con disegno innovativo mediante manifattura additiva. In particolare, si intende dimostrare la possibilità di realizzare reattori con forme opportune per la gestione dell'idrogeno mediante idruri. Verrà selezionato il materiale ottimale per la realizzazione del reattore. Sulla base di simulazioni, verranno definiti i valori limite per la pressione e la temperatura di ingresso e di uscita. Verrà definita la tipologia di idruro ottimale per la realizzazione del prototipo. Si prevede l'uso di una massa di idruri < 100 g. Il costo stimato è pari a 8.000 €.



- **PROTOTIPO 2** – Purificatore ad idruri (**CNR-UNITO-UNIGE**). Si prevede la realizzazione, su scala di laboratorio, di un reattore innovativo con l'uso di idruri, finalizzato alla purificazione dell'idrogeno. Verrà definita la tipologia di idruro ottimale per la realizzazione del prototipo. Verrà definito il design ottimale per la realizzazione del reattore. Verranno definiti i valori limite per la pressione e la temperatura di ingresso e di uscita (Pin e Pout < 30 bar, Tin ambiente, Tout < 120 °C). Verranno inoltre individuate e testate le condizioni necessarie per il ricondizionamento del materiale dopo l'utilizzo come purificatore. Si prevede l'uso di una massa di idruri < 1 kg. Il costo stimato è pari a 8.000 €.



- **PROTOTIPO 3** – Compressore ad idruri (**UNITO-UNIGE**). Si prevede la realizzazione, su scala di laboratorio, di un compressore a 3 stadi basato su idruri. Sulla base delle sperimentazioni realizzate e delle simulazioni, verrà definita la tipologia di idruri ottimali per la realizzazione del prototipo. Verrà definito il design ottimale per la realizzazione del reattore. Verranno definiti i valori limite per la pressione e la temperatura di ingresso e di uscita (Pin < 30 bar, Pout > 300 bar, Tmin ambiente, Tmax < 120 °C). Si prevede l'uso di una massa idruri < 1 kg per ciascuno stadio. Il costo stimato è di 50.000 €.



- **PROTOTIPO 4** – Sistema di immagazzinamento di idrogeno per applicazioni in ambito mobilità (**UNIPAR-UNITO-CNR-ENEA**). Si prevede la realizzazione di un sistema di immagazzinamento di idrogeno su scala pilota, per applicazioni in ambito di mobilità. Verrà selezionato il materiale ottimale per la realizzazione del prototipo. Sulla base di simulazioni, verranno definiti i valori limite per la pressione e la temperatura di ingresso e di uscita, dimensioni e geometria del modulo.



Verrà definita la tipologia di idruro ottimale per la realizzazione del prototipo. Si prevede la realizzazione di un sistema che immagazzini una massa idrogeno pari a 5 kg. Di conseguenza, si prevede l'utilizzo di una massa di idruri compresa fra 300 e 500 kg. Verranno individuate possibili applicazioni nell'ambito della mobilità pesante. Il costo stimato è pari a 135.000 €.

- **PROTOTIPO 5** - Sistema di immagazzinamento di idrogeno per applicazioni in ambito stazionario (CNR-UNIGE-UNIPAR-ENEA). Si prevede la realizzazione di un sistema di immagazzinamento di idrogeno su scala pilota, per applicazioni in ambito stazionario. Verrà selezionato il materiale ottimale per la realizzazione del prototipo. Sulla base di simulazioni, verranno definiti i valori limite per la pressione e la temperatura di ingresso e di uscita. Verrà definita la tipologia di idruro ottimale per la realizzazione del prototipo. Si prevede la realizzazione di un sistema che immagazzini una massa idrogeno pari a 5 kg. Di conseguenza, si prevede l'utilizzo di una massa di idruri compresa fra 300 e 500 kg. Verranno individuate possibili applicazioni nell'ambito dell'immagazzinamento di energie rinnovabili. Si prevede la realizzazione di sistemi modulari, da dimensionare opportunamente in base alle esigenze applicative. Il costo stimato è pari a 100.000 € e verrà realizzato (integrazione e commissioning) presso UNIGE per poi essere testato presso i laboratori ENEA.



- **Casi studio: studi di fattibilità per possibili applicazioni future (OR4)**

- A partire dalle analisi svolte in OR1-2-3 e dai risultati della campagna sperimentale in OR6, verranno sviluppati modelli di design, dinamici e termo-economici per studiare possibili scenari di applicazione del sistema DRAGON in diversi contesti stazionari e di mobilità analizzando problematiche, quantità di idrogeno/MH in gioco, soluzioni di integrazione possibili, valutazioni economiche. Verrà inoltre individuata una adatta procedura di purificazione delle leghe metalliche in studio per il loro riutilizzo dopo eventuale contaminazione con H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> ed altre impurezze.
- Verranno pertanto studiati alcuni casi studio dove applicare il sistema DRAGON come ad esempio applicazioni navali (imbarcazioni a propulsione ibrida usando come riferimento traghetti operativi in Sicilia grazie alla collaborazione/esperienza tra UNIGE e CNR), applicazioni di mobilità (come auto, trucks e veicoli operativi/movimentatori, usando come riferimento lo yard truck studiato da UNIPAR/ENEA nel progetto H2020 H2PORTS), applicazioni stazionarie (e.g. comunità energetiche o anche off-grid dove integrare sistemi containerizzati, usando come riferimento il sistema studiato da UNITO nel progetto H2020 HyCARE, o pale eoliche flottanti, dove un sistema di stoccaggio idrogeno MH può funzionare come gravity based mooring system - UNIGE).

- **Impatto (OR7)**

- Determinazione dell'impatto ambientale dei prototipi del progetto DRAGON tramite analisi LCA al fine di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> nel ciclo di vita dell'idrogeno delle applicazioni proposte (UNITO-ENEA).
- Valutazione dell'impatto economico delle tecnologie all'idrogeno per i consumatori e creazione di modelli di business (UNITO).
- Sensibilizzazione delle comunità energetiche all'uso di tecnologie all'idrogeno. Determinazione della legislazione esistente relativa alla produzione e sfruttamento dell'idrogeno verde e supporto giuridico alla creazione di CER e realtà di autoconsumo di energie rinnovabili per lo sviluppo di una filiera idruri nazionale (UNITO).

## 6. RESPONSABILE DEL PROGETTO

**Marcello BARICCO** è nato a Torino (1958). Ha conseguito la Laurea Magistrale in Chimica nel 1982 (cum laude) e il Dottorato in Chimica nel 1987. Ha lavorato come ricercatore presso l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino (ora INRIM) per poi passare al Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Torino. Torino. Ha trascorso brevi periodi di ricerca presso la Brunel University, Uxbridge (UK) (1986), University of Cambridge (UK) (1993), Slovak Academy of Science (Slovacchia) (1995), University of Birmingham (UK) (1997 e 1998), ESRF - Grenoble (F) (2000), Università di Campinas (BR) (2003).

### Attività didattica

Ha ottenuto la posizione di Professore Associato nel 1998 e di Professore Ordinario nel 2004. Attualmente è **Professore Ordinario in Scienza e Tecnologia dei Materiali** (SSD ING-IND/22) presso l'Università degli Studi di Torino. Svolge attività didattica su diverse materie, in particolare Metallurgia, Impianti Chimici e Scienza dei Materiali. È membro del collegio dei docenti del dottorato in Chimica e Scienza dei Materiali dell'Università degli Studi di Torino. È stato relatore di circa 70 tesi di laurea magistrale e di 20 tesi di dottorato di ricerca.

### Attività di ricerca

L'attività di ricerca si basa principalmente sulla Scienza e Tecnologia dei Materiali. I contributi scientifici sono stati presentati in **375 articoli**, pubblicati su riviste internazionali e nazionali, e in numerosi interventi su invito in incontri internazionali e nazionali. I **principali temi di ricerca** possono essere classificati come segue:

- 1) Microstruttura e cinetica delle trasformazioni di fase nei materiali: proprietà magnetiche, meccaniche e chimiche dei materiali amorfi e nanocristallini.
- 2) Proprietà termodinamiche e diagrammi di stato: esperimenti e modellizzazione.
- 3) Stoccaggio di idrogeno: vettori di idrogeno, sviluppo di serbatoi di idrogeno, integrazione con sistemi a celle a combustibile.
- 4) Accumulo di energia: idruri per elettroliti solidi nelle batterie, analisi LCA di sistemi di accumulo di energia.

I **risultati delle attività scientifiche** si trovano in

- ORCID: [www.orcid.org/0000-0002-2856-9894](http://www.orcid.org/0000-0002-2856-9894) (Documenti 306)
- ResearchID: [www.researcherid.com/rid/B-4075-2013](http://www.researcherid.com/rid/B-4075-2013) (Documenti 315, Citazioni 4684, h-index 35)
- Scopus: [www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005039660](http://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005039660) (Documenti 320, Citazioni 5291, h-index 36)
- Web of Science: [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com) (Documenti 384, Citazioni 5772, h-index 35)
- Researchgate: [www.researchgate.net/profile/Marcello\\_Baricco](http://www.researchgate.net/profile/Marcello_Baricco) (Documenti 396, Citazioni 5808, h-index 35, RG punteggio 44,42)
- Google Scholar: [scholar.google.it/citations?user=DJZg4vcAAAAJ&hl=en](http://scholar.google.it/citations?user=DJZg4vcAAAAJ&hl=en) (Documenti 545, Citazioni 6652, h-index 39)

Svolge attività di referee per diverse riviste internazionali (es. J.Phys.Chem C, Int. J.Hydr. Ener., J. Alloys and Compd., etc.).

### Attività progettuale

È stato responsabile per l'Università di Torino in diversi **progetti di ricerca nazionali e internazionali** con enti pubblici e partner industriali:

#### Progetti Europei e Internazionali

- 1990 BRITE - Materiali magnetici dolci
- 1994 NATO -Rapida solidificazione
- 1997 GALILEO- Materiali magnetici
- 1998 British Council- Vetri metallici massivi
- 2000 Vetri metallici massivi- Resaerch Training Network RTN
- 2003 MCRTN-Vetri metallici massivi
- 2005 Leghe metalliche complesse NoE
- 2006 MCRTN-Stoccaggio di idrogeno
- 2007 ASP-RFBR-Microfili nanostrutturati
- 2009 FP7 FLYHY-Idruri per lo stoccaggio di idrogeno
- 2011 FP7 FCH JU SSH2S-Serbatoio di stoccaggio dell'idrogeno allo stato solido - **Coordinatore del progetto**
- 2012 7PQ FCHJU BOR4STORE-Materiali per lo stoccaggio di idrogeno a base di boro
- 2013 7PQ MC ITN ECOSTORE- Stoccaggio di energie rinnovabili
- 2017 ESA ROSSINI 2 e ROSSINI 3 – Materiali a abse di idruri per schermi da radiazione spaziali
- 2018 H2020 RISE – BE-ARCHEO: Beyond Archaeology - **Coordinatore del progetto**
- 2018 H2020 FCH JU - HyCARE - Hydrogen CARrier for Renewable Energy Storage - **Coordinatore del progetto**

#### Progetti nazionali

- 1996 ex 40 %-Sistemi metallici metastabili
- 1999 INFM- Sistemi metallici granulari



- 2002 PRIN- Leghe funzionali nanocristalline
- 2003 PRIN- Leghe metastabili
- 2005 PRIN- Leghe ferrose amorfe e nanocristalline
- 2007 PRIN- Leghe a base Ag rapidamente solidificate

#### Progetti regionali

- 2006 Reg. Piemonte - Materiali per lo stoccaggio dell'idrogeno
- 2007 Reg. Piemonte - HYSYVISION-Serbatoi di produzione per stoccaggio idrogeno
- 2007 Reg. Piemonte - Nanomat
- 2007 Progetto WWS
- 2012 Reg. Piemonte - H2FC – Serbatoi ad idruri metallici
- 2013 Reg. Piemonte - FAH2FC - Serbatoi ad idruri metallici in applicazioni navali
- 2013 Piatt. Automotive - Efficienza energetica di autoveicoli
- 2013 Reg. Piemonte STERIN - Stoccaggio di energia elettrica
- 2016 Piatt. Fabbrica Intelligente G4Compo Green-Factory per Compositi
- 2019 Piatt. Economia Circolare RECIPLAST – Approccio all'economia circolare per il riciclo di imballi e componenti auto fine vita in plastica

#### Progetti industriali

- 1988 CSM - Applicazione della colata planare
- 2002 ILTE - Materiali e processi per la stampa
- 2003 LEG.OR - Leghe per l'oreficeria
- 2007 TERRAVERDE - Tecnologie di recupero nichel
- 2007 TERMOMACCHINE - Applicazione di leghe amorfe
- 2008 SWATCH - Leghe amorfe a base di oro
- 2009 COGNE ACCIAI - Decromizzazione negli acciai inossidabili
- 2010 CENTRO RICERCHE FIAT - Materiali termoelettrici
- 2012 ENEL - Assorbimento di idrogeno nelle leghe
- 2014 BERTOLINI - Interazione tra farmaci e vetro
- 2015 TELECOM - Smart materials
- 2017 CENTRO RICERCHE FIAT - Ghise ad alto silicio
- 2017 TECNODELTA - Drone a idrogeno
- 2018 ECOTRE – Termodinamica delle leghe d'oro
- 2019 CENTRO RICERCHE FIAT - Analisi FEM dei processi di corrosione
- 2019 CNHi-IVECO – Progetto Dolphin per il mantenimento predittivo
- 2019 FINCANTIERI – Progetto Naviris – Stoccaggio di idrogeno in ambito navale
- 2020 FONDERIA 2A – HPDC4 Mobilità Sostenibile
- 2021 ALMAG – Solidificazione dell'ottone

E' valutatore di progetti per enti di ricerca nazionali ed internazionali, per i ministeri e per enti pubblici.

#### Attività istituzionale

Ha organizzato **scuole internazionali** su vetri metallici massivi e su idruri complessi e due scuole nazionali di metallurgia. È stato membro del comitato organizzatore e scientifico di vari convegni internazionali sulle leghe amorfe e gli idruri. È **presidente del NIS-Excellence Center** on "Nanostructured Interfaces and Surfaces" dell'Università di Torino, membro del Consorzio Interuniversitario per la Scienza e Tecnologia dei Materiali – INSTM - e dell'Associazione Italiana per l'Ingegneria dei Materiali (AIMAT). È stato coordinatore, ed è attualmente membro, del Comitato Tecnico di Metallurgia Fisica dell'Associazione Italiana di Metallurgia (Associazione Italiana di Metallurgia - AIM). Dal 2014 al 2019 è stato **vicerettore dell'Università di Torino**.

Le principali attività nel campo scientifico del progetto sono legate alla **Clean Hydrogen Partnership** (CHP, [www.clean-hydrogen.europa.eu](http://www.clean-hydrogen.europa.eu)), che è una partnership pubblico-privato in Europa a sostegno delle attività di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione nel settore dell'idrogeno e delle celle a combustibile. I membri di CHE sono la Commissione Europea, Hydrogen Europe Industry and Research. È stato selezionato come membro del **Comitato Scientifico di FCH JU**. È il rappresentante dell'Università di Torino in Hydrogen Europe Research, dove ha coordinato le attività del Gruppo di Lavoro sullo stoccaggio di idrogeno. Attualmente è **Road Map Leader** della RM6 sui vettori di idrogeno e RM14 su applicazione dell'idrogeno per i treni per Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research. Supporta le attività di EU come valutatore di progetti.



È anche attivo nella **European Energy Research Alliance** (EERA, [www.eera-set.eu](http://www.eera-set.eu)). È **coordinatore di un sottoprogramma** (SP7) sullo stoccaggio di idrogeno nel Joint Program su Fuel Cells and Hydrogen di EERA.

È un esperto italiano nel Task 40 sullo stoccaggio di energia mediante idrogeno dell'**International Energy Agency**-Hydrogen Implementation Agreement (TCP Hydrogen - IEA-HIA, [ieahydrogen.org](http://ieahydrogen.org)).

A livello nazionale, è membro del **Comitato Scientifico dell'Associazione Italiana per l'Idrogeno e le Celle a Combustibile** (H2IT, [www.h2it.org](http://www.h2it.org)) e ha collaborato allo sviluppo del piano nazionale per l'implementazione dell'idrogeno in Italia. È coordinatore del gruppo di lavoro sullo stoccaggio di idrogeno. Segue, per l'Università degli Studi di Torino, le attività nell'ambito del Cluster Tecnologico Nazionale sull'Energia.

Nell'ambito delle attività legate all'energia presso l'Università degli Studi di Torino, ha sviluppato un gruppo interno finalizzato al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici universitari. Il gruppo è ora inserito nelle attività del **Green Office dell'Università di Torino** (UniToGO, [www.green.unito.it](http://www.green.unito.it)). Collabora per l'Università di Torino alla RUS (Rete delle Università per la Sostenibilità). Attualmente è responsabile per l'Università di Torino delle attività **Renewable Energy nell'ambito del progetto UNITA**, per lo sviluppo delle Università Europee.

#### Attività di trasferimento tecnologico

Ha svolto attività specifiche sul trasferimento tecnologico, finalizzate all'applicazione nei processi industriali delle conoscenze sviluppate presso i laboratori di Ateneo. Ha contribuito nel 2010 allo **sviluppo di uno spin-off** (Compumat) all'interno dell'Incubatore dell'Università di Torino (2I3T). La società spin-off era finalizzata al supporto mediante modellizzazione (termodinamica, cinetica e basata su FEM) a prodotti e processi industriali. È stato **vicepresidente del Centro di Competenza CIM 4.0**, sviluppato a Torino nell'ambito del "Piano Industria 4.0". Nel 2021 ha promosso lo **sviluppo di una società spin off innovativa** (Methydor), finalizzata alle **applicazioni industriali degli idruri metallici**.

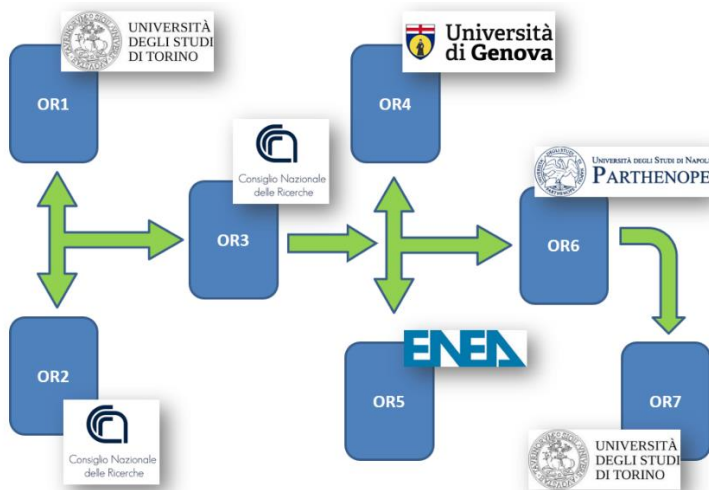
## 7. OBIETTIVI REALIZZATIVI DEL PROGETTO

OR	Soggetto proponente	Titolo OR
OR1	UNITO	Materiali – ottimizzazione delle composizioni per la purificazione e compressione di idrogeno e per l'immagazzinamento di calore
OR2	CNR	Ottimizzazione dei processi di sintesi dei materiali e sostenibilità
OR3	CNR	Ottimizzazione del management termico e definizione delle interfacce del sistema DRAGON
OR4	UNIGE	Analisi di integrazione e replicabilità del sistema di stoccaggio DRAGON (integrazione in applicazioni innovative, analisi termoeconomica, scale up, pre-prototipazione, controllo...)
OR5	UNIPAR	Sistemi di stoccaggio idrogeno per applicazioni di mobilità
OR6	ENEA	Testing e validazione sistemi di stoccaggio
OR7	UNITO	Impatto e politiche nazionali

*Il progetto DRAGON ha una durata di 30 mesi ed è articolato in 7 OR, operanti in maniera sinergica e collaborativa (figura sotto).*

*Ogni responsabile di OR promuoverà attività di disseminazione e comunicazione per quel che riguarda la promozione dei risultati del proprio OR e del progetto in-toto, attraverso pubblicazioni scientifiche, interviste, partecipazione ad eventi, tesi di laurea e dottorato, creazione di nuove opportunità di R&D, etc.*

*Un adeguato e bilanciato numero di risorse è stato destinato da ciascun partecipante sui propri OR (tabella sotto).*



OR	Soggetto proponente	Mesi persona
OR1	UNITO	79
OR2	CNR	78
OR3	CNR	45
OR4	UNIGE	48
OR5	UNIPART	72
OR6	ENEA	60
OR7	UNITO	36

## 7.1. OR1 DESCRIZIONE DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO

**OR1: Materiali – ottimizzazione delle composizioni per la purificazione e compressione di idrogeno e per l'immagazzinamento di calore.**

Soggetto preposto alla realizzazione: **UNITO**

Luoghi di svolgimento: Università di Torino, Dipartimento di Chimica, Via Giuria 7, 10125 Torino

OR1 è incentrato sullo sviluppo di nuove composizioni di idruri metallici (MH) su scala di laboratorio la cui formulazione sarà adattata all'obiettivo applicativo in particolare agendo sul tipo e quantità di elementi in lega: i) purificazione di H<sub>2</sub>; ii) stoccaggio di H<sub>2</sub>; iii) compressione di H<sub>2</sub>; iv) stoccaggio di calore. I materiali verranno elaborati partendo dallo stato dell'arte e andando a ottimizzare le proprietà con variazioni di composizione mirata. Inoltre, verrà fatta una completa caratterizzazione dei materiali prodotti per la determinazione di: i) densità gravimetrica e volumetrica di idrogeno, ii) condizioni maggiormente favorevoli per la attivazione, anche su scala industriale, iii) pelletizzazione in vista della produzione di bombole a idruri. Verrà infine presa in considerazione la parte di modellizzazione tramite calcoli ab-initio e Calphad, al fine di individuare le composizioni che presentino le migliori proprietà.

## 7.2. OR1 ELENCO DELLE ATTIVITÀ DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO E RELATIVA DESCRIZIONE

OR1 viene suddiviso in 5 task che prenderanno in considerazione lo sviluppo di materiali per i differenti elementi del sistema integrato. Per tutte le prime 3 task è previsto, oltre lo sviluppo di nuove composizioni, come dettagliato nella descrizione dei task, la completa caratterizzazione delle leghe progettate, sia dal punto di vista strutturale e microstrutturale, sia per la determinazione delle proprietà di assorbimento/desorbimento di idrogeno, la ciclabilità e le condizioni di attivazione. Inoltre, il task 1.4 è dedicata alla modellizzazione computazionale di supporto alle attività sperimentali per una ottimizzazione della ricerca delle composizioni migliori per le applicazioni considerate.

**OR1.1: purificazione di H<sub>2</sub>.** Gli MH possono subire delle riduzioni di capacità di stoccaggio in presenza di umidità, O<sub>2</sub>, CO<sub>x</sub>, zolfo e altre impurità. Risulta quindi essenziale lo studio di materiali che possano agire come purificatori dalle impurità, per preservare la purezza delle leghe nelle fasi successive per lo stoccaggio e la compressione. Si andrà ad adattare la composizione di leghe AB<sub>5</sub> (es. MmNi<sub>5</sub>) con sostituzioni di altri elementi, individuando le migliori composizioni in termini di numero di elementi e quantità. Infine, si collaborerà alla realizzazione del PROTOTIPO 2 (Purificatore).

**OR1.2: stoccaggio di H<sub>2</sub>.** In un'ottica di riduzione dei costi del materiale e di economia di gestione termica di assorbimento/desorbimento a T prossime a quella ambiente, verranno studiate leghe a base TiFe con opportune sostituzioni di V e/o Mn o altri elementi che riducano le temperature di stoccaggio aumentando la capacità

gravimetrica. Verrà infine studiata la possibilità di formare pellet tramite miscelazione con polimeri e pressione a temperatura ambiente, in modo da migliorare l'efficienza di riempimento di bombole con la riduzione di effetti di variazione di volume degli idruri durante i cicli di carica/scarica dell'idrogeno. Fra le leghe individuate, si selezioneranno quelle che mostrano le condizioni di attivazione più favorevoli in una ottica di applicazione industriale.

**OR1.3: compressione di H<sub>2</sub>.** Si procederà a: i) individuare MH idonei per raggiungere p=350 bar a T inferiori a 120 °C; ii) selezionare MH con cinetica di rapido assorbimento per consentire tempi di compressione brevi; iii) selezionare la combinazione ottimale di MH per i tre stadi del compressore, per ridurre al minimo il consumo di energia. Verranno prese in considerazione leghe a base TiCr<sub>2</sub> e TiMn<sub>2</sub> con sostituzioni di Mn, Ni, V, Fe. Infine, si collaborerà alla realizzazione del PROTOTIPO 3 (Compressore).

**OR1.4: stoccaggio di calore.** Si svilupperà un MH funzionante in un intervallo di temperatura di 100 – 200 °C, caratterizzato da una densità di energia superiore a 100 kWh/m<sup>3</sup> e una capacità gravimetrica superiore all'1% in peso, per recuperare efficacemente l'energia termica fornita da una fonte esterna. Saranno testati diversi MH (es. LaNi<sup>5</sup>, LaNi<sub>4,8</sub>Al<sub>0,2</sub>), perché lavorano in un intervallo di temperature prossime all'ambiente, stoccando più di 100 kg H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

**OR1.5: Metodi teorici,** quali calcoli ab-initio e Calphad verranno utilizzati come supporto alla parte sperimentale, per identificare le composizioni più idonee alle applicazioni definite nelle task precedenti e predire le proprietà degli idruri metallici studiati.

**Risultati specifici attesi:**

- Determinazione tramite calcoli ab-inizio e Calphad di idonee composizioni di idruri per assorbimento e compressione di H<sub>2</sub>
- Sviluppo di MH di composizioni adeguate per la purificazione di idrogeno prodotto da fonti rinnovabili.
- Realizzazione e caratterizzazione delle performance del PROTOTIPO 2.
- Sviluppo e caratterizzazione di idruri per l'assorbimento di H<sub>2</sub> del tipo TiFe con capacità gravimetriche elevate (2% wt)
- Realizzazione di leghe con pressioni di desorbimento uguali o maggiori di 350 bar a temperature inferiori a 150 °C
- Realizzazione e caratterizzazione delle performance del PROTOTIPO 3
- Individuazione e caratterizzazione di leghe ad alta capacità per lo stoccaggio di calore

### 7.3.OR1 TEMPI DI REALIZZAZIONE

OR 1 ha una durata complessiva di 30 mesi, ripartita come segue nei diversi tasks:

- OR1.1: M1 – M30
- OR1.2: M1 – M24
- OR1.3: M12 – M30
- OR1.4: M12 – M24
- OR1.5: M1 – M12

### 7.1.OR2 DESCRIZIONE DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO

**OR2: Ottimizzazione dei processi di sintesi dei materiali e sostenibilità**

Soggetto preposto alla realizzazione: **CNR**

Luoghi di svolgimento: CNR-ITAE, via S.Lucia sopra Contesse 5 – 98126 – Messina; CNR-ICMATE, via G. Previati 1/E – 23900 – Lecco; CNR-ISC, P.le A. Moro 5 - 00185 - Roma

Le attività di ricerca si svolgeranno nei tre Istituti CNR coinvolti, l'ITAE di Messina, ICMATE di Lecco e ISC di Roma. Il presente OR si propone il confronto tra diverse tecniche per la produzione di leghe metalliche da idrogenare, al fine di ottenere differenti microstrutture e individuare quella che presenta le migliori proprietà termodinamiche e cinetiche per l'immagazzinamento di idrogeno. Infatti, i diversi tipi di microstruttura possono essere sfruttate sia per migliorare la cinetica di immagazzinamento di idrogeno, sia per la gestione del calore sviluppato durante la formazione dell'idruro. Nell'ambito dell'OR2 CNR-ICMATE realizzerà leghe metalliche mediante vacuum arc melting e le caratterizzerà dal punto di vista strutturale e morfologico; CNR-ITAE realizzerà

per confronto le stesse leghe mediante ball-milling in modo da ottenere polveri nanostrutturate e le caratterizzerà per quanto riguarda la struttura e la morfologia. CNR-ISC investigherà le proprietà di assorbimento e desorbimento di idrogeno in funzione della temperatura, della pressione e del tempo delle diverse tipologie di materiali, in modo da ottimizzare i parametri di sintesi in base alle performance misurate. Inoltre, verrà verificata la resistenza dei materiali prodotti alla esposizione a gas contenenti impurezze quali CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub> (CNR-ITAE) e gli eventuali processi termici o di esposizione ad idrogeno puro necessari per rigenerare le leghe metalliche (CNR-ISC). Tale attività permetterà di valutare i materiali anche come sistemi di purificazione dell'idrogeno contaminato da impurezze. Come materiali di studio saranno presi in considerazione sistemi metallici esistenti, riformulando le composizioni atomiche considerando sia il costo della materia prima e la possibilità di impiego di scarti industriali, sia le indicazioni della CE relativamente alla riduzione dell'impiego dei materiali "critical raw materials". Saranno valutati formulazioni ternarie o quaternarie a base TiFe e composizioni più complesse High Entropy Alloys (HEA), che recentemente vengono proposte anche come leghe per accumulo di H<sub>2</sub> sotto forma di idruri. Le formulazioni saranno definite anche sulla base dei recenti studi di letteratura e vedranno uno dei punti fondamentale la sostituzione dell'Hf con altri metalli più economici e facilmente reperibili sul mercato europeo come Cr o Fe.

In questo OR2 si prevede, inoltre, l'impiego di additive manufacturing, a letto di polvere, per la realizzazione del PROTOTIPO 1 quale componente di reattori, per la verifica delle performance funzionali e di scambio termico.

## 7.2.OR2 ELENCO DELLE ATTIVITÀ DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO E RELATIVA DESCRIZIONE

Le attività che DRAGON svolgerà nell'OR2 saranno suddivise in 4 task; il primo si focalizzerà sulle diverse sintesi dei materiali metallici e sulla possibilità di realizzazione di un piccolo reattore attraverso tecnica di Additive Manufacturing; gli altri tre task si focalizzeranno invece sulle caratterizzazioni chimico-fisiche, di assorbimento e test di purificazione delle leghe metalliche ottenute.

OR2.1: Sintesi dei materiali: si seguiranno parallelamente due tecniche di sintesi diverse, una utilizzerà il vacuum arc melting mentre l'altra tecnica sarà il ball-milling ed i materiali ottenuti verranno caratterizzati e confrontati. Con la tecnica di vacuum arc melting si raggiungono i punti di fusione dei singoli elementi producendo dei piccoli lingotti metallici (100-200 g) a base di TiFe e HEA. Tale processo avverrà in condizioni di atmosfera inerte utilizzando crogioli in rame raffreddati ad acqua. Tale processo verrà ripetuto più volte per aumentarne l'omogeneità. I lingotti prodotti saranno infine frantumati per ottenere una polvere. La tecnica di sintesi del ball-milling prevede invece il mixing delle polveri metalliche di Ti e Fe e quelle multi-metallo HEA, inserite in una apposita giara con mulino planetario ad alta energia. Il ball-milling può essere effettuato sia in atmosfera inerte sia in atmosfera di idrogeno (ball-milling reattivo). In entrambi i casi si utilizzerà una glove box per caricare le polveri metalliche in ambiente inerte ed evitare la loro passivazione. Particolare studio verrà indirizzato ai parametri di ball-milling che influenzano le caratteristiche chimico-fisiche del materiale finale quali, velocità di rotazione, tempo e rapporto sfere/polvere.

Verrà inoltre eseguito uno studio preliminare sulla possibilità di sviluppare un prototipo di reattore, dalle piccole dimensioni, in AISI 316L attraverso la tecnica dell'Additive Manufacturing a letto di polvere, utilizzando un impianto Ranishaw AM400.

OR2.2: Caratterizzazioni chimico-fisiche: i materiali sviluppati verranno caratterizzati attraverso tecniche quali a) *XRD*, con la quale si potranno definire i parametri reticolari delle strutture cristalline in funzione dei rapporti stechiometrici per l'ottimizzazione dell'efficienza di assorbimento/rilascio di H<sub>2</sub>. Inoltre, si potranno verificare le modificazioni delle strutture cristallografiche al variare della temperatura grazie ad una cella climatica in grado di operare in un range di T tra -100 °C e 400 °C; b) *SEM-EDS*, verranno eseguite analisi morfologiche sui campioni sintetizzati ad alti ingrandimenti (fino a 300.000X) e con alto potenziale di fascio (fino a 30kV), inoltre verrà eseguita una analisi semi-quantitativa attraverso mapping su diverse zone dei campioni e si valuterà anche l'omogeneità dei metalli nella lega; c) *TEM*, l'elevata risoluzione delle immagini ottenute in trasmissione permetterà di verificare le strutture reticolari e le difettosità presenti a livello atomico delle leghe metalliche post sintesi e degli idruri metallici post test di assorbimento H<sub>2</sub>; d) *BET*, con tale tecnica, che utilizza come gas l'N<sub>2</sub>, si potrà verificare l'eventuale differenza in funzione dell'area superficiale, formazione, dimensione e distribuzione dei pori, dovuta alla diversa preparativa delle leghe metalliche; e) *TG-DSC*, queste tecniche termico-calorimetriche permetteranno di studiare, in un ampio range di T (da -90 °C a 1000 °C), eventuali variazioni nelle temperature di transizione di fase al variare di composizione e preparativa.

OR2.3: Test di assorbimento/desorbimento H<sub>2</sub>: caratterizzazione delle proprietà di assorbimento e desorbimento di idrogeno delle diverse tipologie di materiali, in modo da ottimizzare i parametri di sintesi in base alle performance misurate, sia dal punto di vista termodinamico (entalpia ed entropia di idrogenazione, pressione di equilibrio solido/gas in funzione della temperatura), sia dal punto di vista cinetico (tempi di carica e scarica)

attraverso apparecchiatura volumetrica di tipo Sievert. Con questa tecnica si potranno eseguire cinetiche e misure PCT (Pressure-Composition-Temperature) in un ampio range di T (da ambiente a 500 °C) e P (da 10<sup>-4</sup> a 200 bar).

**OR2.4: Test di resistenza a gas contaminanti:** con la stessa apparecchiatura volumetrica di tipo Sievert verrà verificata la resistenza dei materiali prodotti alla esposizione a gas contenenti impurezze quali CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub> e gli eventuali processi termici o di esposizione ad idrogeno puro necessari per rigenerare le leghe metalliche. Tale attività permetterà di valutare i materiali anche come sistemi di purificazione dell'idrogeno contaminato da impurezze. Inoltre, per verificare la presenza di eventuali impurezze e/o contaminanti nell'idruro metallico si utilizzeranno la a) *Spettrometria di massa*, con questa tecnica è possibile verificare la purezza dei gas durante i processi di desorbimento, in particolar modo dopo i test di "inquinamento forzato" con CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> sulla matrice degli idruri metallici e b) *XPS*, attraverso misure di spettroscopia fotoelettronica a raggi X sarà possibile rilevare a livello superficiale (da poche decine di nanometri a frazioni di micron, a seconda della composizione del materiale) la presenza di contaminanti.

#### **Risultati specifici attesi:**

- Individuazione delle idonee percentuali in peso dei singoli metalli di Ti e Fe in relazione ai risultati ottenuti dalle caratterizzazioni chimico-fisiche e di assorbimento gas.
- Valutazione dei metalli da utilizzare nella lega HEA e selezione dei 5 elementi che rispondono ai requisiti di economicità, non tossicità e possibilità di ottenerli da scarti di lavorazione da altre fonti.
- Individuazione della migliore tecnica di preparazione, tra vacuum arc melting e ball-milling, in relazione alla termodinamica della reazione e alla cinetica di assorbimento, quest'ultima fortemente influenzata dalla microstruttura degli idruri.
- Identificazione dei parametri di input, ottenuti da caratterizzazioni strutturali, termiche e volumetriche utili per lo sviluppo di un sistema integrato.
- Raggiungimento della capacità di assorbimento H<sub>2</sub> dell'ordine del 2 wt% in condizioni di T e P più basse possibili (prossime a quella ambiente) in modo da ridurre il costo dell'idruro metallico per kg di H<sub>2</sub>.
- Sviluppo di un piccolo reattore attraverso l'utilizzo della tecnica di Additive Manufacturing per validare e definire come ed in che modo avvengono gli scambi termici utilizzando quella tipologia di idruro metallico (TiFe o HEA) – realizzazione e caratterizzazione delle performance del PROTOTIPO 1
- Individuazione di una adatta procedura di purificazione dell'idruro, utilizzato come purificatore, attraverso test in apparecchiatura di tipo Sievert.

### **7.3.OR2 TEMPI DI REALIZZAZIONE**

OR 2 ha una durata complessiva di 30 mesi, ripartita come segue nei diversi tasks:

- OR2.1: M1-M24
- OR2.2: M3-M27
- OR2.3: M6-M30
- OR2.4: M12-M30

### **7.1.OR3 DESCRIZIONE DELL'OBBIETTIVO REALIZZATIVO**

#### **OR3: Ottimizzazione del management termico e definizione delle interfacce del sistema DRAGON**

Soggetto preposto alla realizzazione: **CNR**

Luoghi di svolgimento: CNR-ITAE, via S.Lucia sopra Contesse 5 – 98126 – Messina

L'OR3 è focalizzato sull'analisi dell'integrazione di sistema ottimale per massimizzare l'efficienza del processo. A tal fine, verranno sviluppate attività dedicate sia l'ottimizzazione del management termico sia le interfacce (hardware e di controllo) fra i diversi componenti del sistema DRAGON. Tale OR sfrutterà parte dei risultati ottenuti negli OR1 e OR2 e scambierà informazioni ed esperienze con l'OR4 e l'OR6, dove verrà svolta l'analisi di integrazione del sistema DRAGON in diversi ambiti applicativi ed il test prototipale

L'ottimizzazione del management termico partirà da un'analisi dettagliata dell'energia termica coinvolta, in termini di livelli di temperatura, potenze scambiate, cicli di carica e scarica. A partire da tale analisi, si studierà, mediante simulazione numerica, l'integrazione ottimale dei diversi reattori di idruri metallici da un punto di vista termico. Si investigherà la possibilità di sfruttare un sistema di accumulo centralizzato per ottimizzare i flussi

termici interni al sistema (forniti e richiesti dai diversi reattori ad idruri) ed anche per connettere sorgenti esterne (e.g. solare termico, calore di scarto). Inoltre, si procederà ad un'ottimizzazione del design dei reattori ad idruri, al fine di massimizzare l'efficienza di scambio termico, incrementando la cinetica di carica/scarica. La modellazione si baserà su parametri termo-fisici degli idruri, dei materiali di accumulo termico e dei fluidi termovettori misurati sperimentalmente.

Una volta identificato il sistema ottimale di management termico, si procederà alla realizzazione di un sistema in scala di laboratorio (Hardware-in-the-loop), in cui i flussi termici forniti ed estratti dai diversi reattori ad idruri verranno simulati mediante una stazione di prova disponibile, consentendo l'analisi dettagliata delle condizioni operative del sistema di gestione termica. Esso sarà opportunamente equipaggiato con sistemi di controllo capaci di massimizzare l'efficienza mediante il monitoraggio dello stato di carica e la conseguente gestione delle diverse fasi operative.

Sarà progettato un sistema di accumulo H<sub>2</sub> integrato con la gestione termica, dapprima attraverso una modellizzazione matematica ed infine attraverso lo sviluppo di un P&ID d'impianto.

Parallelamente saranno sviluppati gli algoritmi di gestione, che integrino logiche ottime per il recupero termico, compatibilmente con le funzionalità di accumulo H<sub>2</sub>. Sarà sviluppato un prototipo integrato con software di gestione. Infine, il sistema integrato sarà caratterizzato in laboratorio per verificare funzionalità e prestazioni.

## **7.2.OR3 ELENCO DELLE ATTIVITÀ DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO E RELATIVA DESCRIZIONE**

OR3 viene suddiviso in 5 task che saranno dedicate all'analisi della gestione termica del sistema di stoccaggio, purificazione e compressione dell'H<sub>2</sub> ed alla definizione delle interfacce del sistema, comprendente anche logiche di controllo innovative. Le attività consentiranno un avanzamento fino a TRL 4, mediante test in condizioni controllate di laboratorio sia del sistema integrato di accumulo e gestione termica che delle logiche di integrazione e controllo sviluppate. Tali risultati saranno anche utili nell'ambito dell'OR4 ed OR6, al fine di realizzare e testare il prototipo di larga scala.

OR3.1: Analisi delle condizioni operative. Sulla base delle proprietà degli idruri metallici impiegati nei diversi reattori del sistema DRAGON, si effettuerà un'analisi di dettaglio delle condizioni operative del sistema dal punto di vista della gestione termica. In particolare, le temperature operative di carica e scarica, le entalpie associate e le possibili potenze di carica e scarica verranno definite. Tali dati verranno quindi utilizzati al fine di effettuare uno screening di possibili materiali di accumulo (sia a cambiamento di fase che termochimici) e di fluidi termovettori impiegabili nel sistema di management termico.

OR3.2: Modellazione del sistema di gestione termica ed ottimizzazione dello scambio termico. Partendo dall'analisi precedente, verrà definita una piattaforma di simulazione, utilizzando software dedicati alla simulazione dinamica quali Modelica/Dymola, e piattaforme open access (e.g. OEMOF), in cui verranno simulate diverse configurazioni per il recupero e la fornitura di energia termica da e per i reattori ad idruri. Si analizzerà la possibilità di realizzare un sistema di gestione basato su un accumulo termico centralizzato, capace di immagazzinare energia e fornirla ai diversi livelli termici richiesti. Inoltre, si studierà l'integrazione di tale sistema con sorgenti ausiliarie esterne, sia da fonti rinnovabili che da calori di scarto. Al fine di incrementare la densità di accumulo termico, si studieranno soluzioni basate su materiali a cambiamento di fase o su processi termochimici reversibili. A tal fine, i materiali identificati nell'attività precedente verranno caratterizzati sperimentalmente (i.e. calore specifico, conducibilità termica, entalpia di cambiamento fase e di reazione) ed i dati sperimentali verranno integrati nel modello per ottenere performance più accurate possibili. Inoltre, si svilupperà un modello del sistema di accumulo termico (digital twin), che consenta un'analisi numerica dello stato di carica degli accumuli termici, identificando i parametri termo-fisici (e.g. temperatura, pressione) ed operativi (e.g. flusso del fluido termovettore) da monitorare per una stima accurata di tale grandezza durante il funzionamento dell'impianto. Parallelamente all'ottimizzazione del sistema di gestione termica, verrà svolta anche un'analisi del design di dettaglio dei reattori per l'integrazione degli idruri metallici. Il design comprenderà una simulazione agli elementi finiti, mediante software commerciale (e.g. Comsol Multiphysics, Fluent), in grado di modellare sia il trasferimento termico sul lato fluido termovettore che all'interno del reattore. Verranno studiate configurazioni in grado di massimizzare la densità di potenza, per esempio scambiatori alettati, fasci tubieri etc. Inoltre, verrà investigata la possibilità di sfruttare strutture porose ad elevata conducibilità termica (e.g. schiume metalliche e di grafite) per incrementare lo scambio in seno al materiale. Il risultato di tale analisi verrà quindi utilizzato per la fase di realizzazione prototipale del sistema di trattamento ed accumulo dell'idrogeno.

OR3.3: Design e test di un prototipo di sistema di gestione termica in scala laboratorio. Sulla base delle analisi teorico-sperimentali condotte nelle fasi precedenti, si procederà al design del sistema di gestione ed accumulo termico, per condurre attività di monitoraggio in scala laboratorio. Il target sarà un sistema in grado di gestire flussi

di calore dell'ordine dei 3-5 kW, con capacità di accumulo fino a 20 kWh. Il sistema verrà realizzato ed integrato in laboratorio, sfruttando stazioni di prova esistenti presso il CNR ITAE, al fine di studiarne, in modalità Hardware-in-the-loop, l'operatività. A tal fine, diversi profili di carica e scarica dei serbatoi di idruri e di fornitura di calore da sorgenti esterne verranno simulati in laboratorio, mentre il sistema di gestione termica opererà per massimizzare l'efficienza energetica complessiva. La metodologia definita per il monitoraggio dello stato di carica del sistema termico verrà implementata ed integrata con il modello digital twin dell'accumulo, e quindi connessa ad un protocollo di gestione intelligente, interfacciato con il sistema di gestione complessiva dell'impianto sviluppato nelle attività di sviluppo delle interfacce di sistema.

OR3.4: Progettazione di un sistema di accumulo H<sub>2</sub> integrato con la gestione termica. Modellizzazione matematica, P&ID d'impianto e sviluppo algoritmi di gestione. Saranno dapprima progettati sia i sistemi di controllo che gli impianti necessari affinché, a partire dalla sensoristica a bordo di un dispositivo commerciale di accumulo H<sub>2</sub>, la fase di carica e scarica del sistema possa essere gestita ottimizzando il recupero termico. Sarà studiato il trade-off ottimale tra la minimizzazione dei tempi di carica/scarica, la massima energia termica recuperabile, la sicurezza delle operazioni di carica/scarica e, infine, il minimo costo dovuto all'integrazione di sistema. Tale studio sarà supportato dalla modellazione matematica del sistema di energy management che tenga in considerazione i vincoli d'impianto e gli indicatori di performance in una visione multi-obiettivo.

OR3.5: Sviluppo del prototipo integrato e del software di gestione integrante le logiche ottimizzate. Saranno sviluppate le interfacce del sistema attraverso la realizzazione di un P&ID d'impianto e del software di gestione integrante le logiche ottimizzate. Saranno acquisiti i componenti principali e sviluppato un prototipo a TRL 4 che integri le funzioni principali di accumulo e recupero termico. Il dispositivo commerciale del sistema di accumulo, integrato con il prototipo di recupero del calore, sarà testato in laboratorio, al fine di verificare l'efficacia complessiva delle operazioni di carica/scarica e la gestione termica del sistema di accumulo, con il relativo recupero di calore. Sarà sviluppato un banco di prova che ospiterà il sistema integrato al fine della sua caratterizzazione in laboratorio. I test forniranno i dati necessari per poter analizzare i risultati ottenuti e verificare le prestazioni. Infine, saranno analizzati i dati per poter fornire un'analisi degli eventuali correttivi da prevedere in funzione dell'incremento del TRL. Tali risultati andranno a supporto degli altri OR del progetto, al fine di rendere più efficace la fase di scale up e gestione del sistema DRAGON.

#### **Risultati specifici attesi:**

- Definizione di una strategia efficiente di management termico del sistema ad idruri, focalizzato sulla massimizzazione dello sfruttamento dei calori generati e richiesti durante le fasi di carica e scarica dei reattori e sull'integrazione di fonti esterne rinnovabili o derivanti da cascami termici.
- Identificazione e design di un sistema di accumulo termico integrato, basato su tecnologie ad elevata densità di energia (i.e. latente o termochimica), in grado di massimizzare l'efficienza energetica dell'impianto.
- Design di dettaglio dei reattori ad idruri, al fine di massimizzare l'efficienza di scambio termico, sia lato fluido termovettore che in seno al materiale di accumulo. Valutazione dell'incremento delle performance cinetiche e di capacità di fornitura/asportazione di calore durante le fasi di scarica/carica.
- Valutazione, mediante setup sperimentale, delle performance, in termini di autosufficienza energetica e densità di accumulo del sistema di gestione termica. Analisi sperimentale di metodologie innovative per la valutazione dello stato di carica dei sistemi di accumulo termico, mediante uso di sensori a basso costo accoppiati a modelli fisici (i.e. digital twin).
- Progettazione di un sistema di accumulo H<sub>2</sub> integrato con la gestione termica. Sviluppo delle interfacce hardware e del software di gestione integrante le logiche ottime.
- Test e caratterizzazione del sistema integrato su piccola scala di laboratorio.

### **7.3.OR3 TEMPI DI REALIZZAZIONE**

OR 3 ha una durata complessiva di 30 mesi, ripartita come segue nei diversi tasks:

- OR3.1: M1-M9
- OR3.2: M6-M18
- OR3.3: M12-M24
- OR3.4: M12-M30
- OR3.5: M12-M30

## 7.1.OR4 DESCRIZIONE DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO

### **OR4: Analisi di integrazione e replicabilità del sistema di stoccaggio DRAGON (integrazione in applicazioni innovative, analisi termoeconomica, scale up, pre-prototipazione, controllo...)**

Soggetto preposto alla realizzazione: **UNIGE**

Luogo di svolgimento: DIME-TPG - Via Montallegro 1 - 16145 GENOVA; Innovative Energy Systems Laboratory - Campus di Savona - Via Armando Magliotto 4 - Savona

Capitalizzando anche i risultati dell'OR3, l'OR4 ha come obiettivo quello di studiare il sistema di stoccaggio DRAGON per applicazioni stazionarie in diversi contesti, allo scopo di fornire indicazioni all'OR5 e all'OR6 per quel che riguarda la realizzazione di prototipi e il loro test e di studiare il futuro scale up del sistema DRAGON.

OR4 studierà dunque, attraverso attività di modellazione e test da svolgersi nei laboratori UNIGE e grazie ai tool sviluppati da TPG, diverse applicazioni del Sistema DRAGON allo scopo di studiarne il funzionamento in casi studio reali e applicativi in ambito stazionario e di trasporti.

OR 4 si occuperà dunque di studiare l'integrazione dei materiali e sistemi di scambio/accumulo termico (provenienti da OR1-2-3) allo scopo di realizzare un prototipo containerizzato del sistema di stoccaggio DRAGON da utilizzarsi in primis per validare i modelli sviluppati in OR4 e poi, per una campagna di testing più robusta in OR6, da inviare a ENEA una volta svolto adeguato commissioning.

OR4 ha dunque l'obiettivo di:

- Progettare e realizzare un prototipo di sistema di stoccaggio containerizzato DRAGON per applicazioni stazionarie di piccola taglia capace di stoccare 5 kg di H<sub>2</sub>
- Identificare gli ambiti di applicazione e di utilizzo più promettenti per il sistema DRAGON attraverso un'analisi termoeconomica e analisi di tipo SWOT
- Studio di accoppiamento (attraverso modelli e impianto sperimentali) di fonti di calore diverse in ambito sia stazionario (e.g. settore industriale hard-to-abate, accoppiamento a impianti di teleriscaldamento, soluzioni power-to-hydrogen-to-power per flessibilizzazione di cicli combinati) che di mobilità (e.g. integrazione a bordo nave), allo scopo di rafforzare le analisi termo-economiche di cui sopra
- Comparare in tali ambiti l'utilizzo degli idruri con altri tipi di stoccaggio idrogeno (e.g. in pressione/liquido) anche valutandone (tramite analisi dinamica), la flessibilità e la responsività dei diversi sistemi di stoccaggio idrogeno

Fornire linee guida per lo scale up (sia per il design che per il controllo del sistema) e la prototipazione del sistema alla luce del design e delle attività di commissioning in OR4 oltrechè dai risultati di OR6.

## 7.2.OR4 ELENCO DELLE ATTIVITÀ DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO E RELATIVA DESCRIZIONE

L'OR4 verrà articolato nelle seguenti attività:

OR4.1 – Design, integrazione e commissioning di un prototipo di piccola taglia del sistema containerizzato DRAGON per stoccaggio H<sub>2</sub> in applicazioni stazionarie. Partendo dai sistemi e materiali studiati in OR1-2-3, obiettivo del OR4.1 è quello di progettare e realizzare un prototipo di stoccaggio di H<sub>2</sub> in grado di stoccare 5 kg di H<sub>2</sub> (500 kg polveri metallici). Tale prototipo sarà realizzato in forma containerizzata anche per facilitarne l'invio (per una campagna sperimentale più robusta e articolata in OR6) presso i laboratori ENEA. In OR4.1 si procederà pertanto a identificare il design del sistema di accumulo, la sua integrazione e prototipazione oltre che una prima fase di commissioning in cui il sistema di stoccaggio idrogeno DRAGON verrà testato con idrogeno in diversi gradi di purezza, anche per validare i modelli sviluppati nelle task di OR4.

OR4.2 – Analisi del sistema DRAGON accoppiato a diversi sistemi di generazione di idrogeno. Obiettivo del OR4.2 è quello di identificare il perfetto accoppiamento di sistemi di generazione di idrogeno con il sistema di stoccaggio idrogeno DRAGON, allo scopo di valorizzarne al meglio le sue peculiarità. Per fare ciò, partendo dalle informazioni raccolte da OR1-2-3, UNIGE svolgerà un'attività di simulazione e modellazione che preveda: 1) un'analisi di performance e design del sistema (per ciascun tipo di sistema di generazione idrogeno), 2) un'analisi dinamica del sistema (per studiare compatibilità dei transistori e proporre possibili strategie operative partendo anche da alcuni modelli dinamici di idruri come ad esempio LaNi<sub>5</sub>, MmNi<sub>5</sub>, MgH<sub>2</sub>); 3) un'analisi termoeconomica; 4) un'analisi di tipo SWOT.



Il sistema DRAGON verrà pertanto modellato (anche per le attività di OR4.3) attraverso modelli dedicati e i tool proprietari UNIGE (WECOMP, TRANSEO Etc.) per studiare l'accoppiamento del sistema DRAGON a diversi processi di generazione dell'idrogeno produzione di idrogeno e in varie combinazioni integrate di sistema quali (La lista potrà esser aggiornata in fase di progetto anche alla luce dei risultati provenienti dagli altri OR):

- Produzione di idrogeno per via elettrolitica (con diversi tipi di elettrolizzatore – SOEC, AEL, PEMEL - e studiando valorizzazione del calore di scarto degli elettrolizzatori per la gestione termica del sistema idruri) e stoccaggio tramite sistema DRAGON
- Produzione di idrogeno da reforming di syngas (proveniente da gassificazione di biomassa studiando valorizzazione del calore di scarto del gassificatore per la gestione termica del sistema idruri) e stoccaggio tramite sistema DRAGON
- Produzione di idrogeno da solar thermo-chemical water splitting (e valorizzazione del calore del concentratore solare per la gestione termica del sistema idruri) e stoccaggio tramite sistema DRAGON

I modelli degli accoppiamenti generazione H<sub>2</sub>/Stoccaggio H<sub>2</sub> DRAGON (soprattutto quelli dinamici) verranno validati attraverso una campagna sperimentale da svolgersi presso il laboratorio di Savona di UNIGE e in cui i carichi termici dei processi in analisi verranno emulati attraverso riscaldatori elettrici o sistemi analoghi.

La possibilità di accoppiare accumuli termici o elettrici per facilitare la gestione del sistema di generazione e stoccaggio idrogeno verrà studiata sia tramite attività di simulazione che attività sperimentali.

OR4.3 – Analisi termo-economica del sistema DRAGON in diversi scenari di applicazione e comparazione con sistemi di stoccaggio alternativi. Obiettivo del OR4.3 è quello di identificare gli ambiti di applicazione e di utilizzo più promettenti per il sistema DRAGON attraverso (come fatto in OR4.2) un'attività di simulazione multi-livello. Per fare ciò, partendo dalle informazioni raccolte da OR1-2-3, ma anche dai risultati/modelli di OR4.2 un modello termoeconomico e dinamico del sistema di stoccaggio DRAGON verrà realizzato attraverso i tool UNIGE (WECOMP/TRANSEO) per studiare l'applicabilità del sistema DRAGON in diversi contesti, sistemi di produzione di idrogeno e in varie combinazioni integrate di sistema. In tutti i seguenti casi, verrà individuato un caso studio di riferimento su cui svolgere uno studio di fattibilità e individuare delle correlazioni di “design e dimensionamento” dei sistemi.

Tra questi, UNIGE ha individuato come potenziali casi studio i seguenti (la lista potrà esser aggiornata in fase di progetto anche alla luce dei risultati provenienti dagli altri OR)

- Power-to-hydrogen-to-power per Impianti a fonte fossile (cicli combinati-turbine a gas anche ispirandosi alle attività svolte nel progetto FLEXNCONFU e motori a combustione interna e sfruttando il calore di scarto degli impianti di potenza per la gestione termica degli idruri)
- Power-to-hydrogen da impianti eolici off-shore flottanti dove il sistema di stoccaggio a idruri possa avere funzione di gravity based mooring/anchorage system.
- Power-to-hydrogen-to-industrial-process in Impianti industriali hard-to-abate (vetrerie, acciaierie, cementifici etc. ipotizzando l'integrazione in loco di elettrolizzatori per la produzione di idrogeno da stocarsi nel sistema DRAGON anche sfruttando il calore di scarto degli impianti di potenza per la gestione termica degli idruri)
- Power-to-hydrogen-to-polygenerative districts (ipotizzando l'integrazione di elettrolizzatori per la produzione di idrogeno da stocarsi nel sistema DRAGON in distretti poligenerativi anche sfruttando il calore di scarto degli impianti CHP e della rete di teleriscaldamento presente nel distretto per la gestione termica degli idruri)
- Integrazione di Fuel Cell e stoccaggio idruri a bordo nave a propulsione ibrida (fossile e idrogeno - anche sfruttando il calore di scarto dei motori di bordo la gestione termica degli idruri)
- Integrazione di Fuel Cell e stoccaggio idruri a bordo di veicoli movimentatori operanti in ambito portuale (studiati da ENEA-UNIPAR in H2PORTS)

Obiettivo delle attività di simulazione, sarà anche quello di comparare in tali ambiti l'utilizzo degli idruri con altri tipi di stoccaggio idrogeno (e.g. in pressione/liquido) anche valutandone (tramite analisi dinamica), la flessibilità e la responsabilità dei diversi sistemi di stoccaggio idrogeno

I modelli degli accoppiamenti generazione H<sub>2</sub>/Stoccaggio H<sub>2</sub> DRAGON (soprattutto quelli dinamici) verranno validati attraverso una campagna sperimentale da svolgersi presso il laboratorio di Savona di UNIGE e in cui i carichi termici dei processi in analisi verranno emulati attraverso riscaldatori elettrici o sistemi analoghi.

La possibilità di accoppiare accumuli termici o elettrici per facilitare la gestione del sistema di generazione e stoccaggio idrogeno verrà studiata sia tramite attività di simulazione che attività sperimentali.

OR4.4 – Linee guida per lo scale-up e la prototipazione del sistema DRAGON. Alla luce dei risultati delle attività OR4.1-4.2 e dei test del sistema containerizzato DRAGON, obiettivo dell'OR4.4 è di analizzare i driver e le barriere tecnologiche/non-tecnologiche (attraverso analisi SWOT e PESTLE) per il futuro scale up e applicabilità

del sistema DRAGON nei contesti studiati, anche grazie al supporto di stakeholders industriali esterni quali ad esempio i soci di H2IT (che supporta il progetto DRAGON) e i partner industriali del network dei membri del consorzio DRAGON

OR4.4 analizzerà i risultati di OR1-2-3; 4.1-4.2-4.3 fornendo una serie di linee guida per il design e il controllo dei sistemi prototipali che verranno realizzati e testati in OR5 e OR6, anche identificando i prossimi step per il raggiungimento della maturità tecnologica e commerciabilità del sistema DRAGON (TRL9 Roadmap), fornendo linee guida per lo scale up (sia per il design che per il controllo del sistema) e la prototipazione del sistema

**Risultati specifici attesi:**

- Design, integrazione e commissioning di un prototipo di sistema di stoccaggio containerizzato DRAGON per applicazioni stazionarie di piccola taglia capace di stoccare 5 kg di H<sub>2</sub> (PROTOTIPO 5)
- Definizione di linee guida per il design e il controllo e correlazioni empiriche (funzioni di dimensionamento) per il design del sistema DRAGON in diversi contesti applicativi e accoppiato a diversi sistemi per la produzione di idrogeno
- Validazione dei modelli dinamici UNIGE mediante setup sperimentale
- Caratterizzazione e test del sistema containerizzato DRAGON
- Comparazione delle performance del sistema DRAGON con altri sistemi di stoccaggio
- Realizzazione di almeno 6 studi di fattibilità per applicazione del sistema DRAGON integrato a vari sistemi di generazione idrogeno e contesti applicativi

### 7.3.OR4 TEMPI DI REALIZZAZIONE

OR 4 ha una durata complessiva di 30 mesi, ripartita come segue nei diversi tasks:

- OR4.1: M1-M21
- OR4.2: M1-M30
- OR4.3: M1-M30
- OR4.4: M21-M30

### 7.1.OR5 DESCRIZIONE DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO

#### **OR5 – Sistemi di stoccaggio idrogeno per applicazioni di mobilità**

Soggetto preposto alla realizzazione: **UNIPAR**

Luogo di svolgimento: Tutte le attività saranno svolte nella Regione Campania presso i laboratori del soggetto proponente: Università Parthenope, Dipartimento di Ingegneria - Centro Direzionale Isola C4 – 80143 Napoli e presso il Centro Ricerche ATENA - via Vicinale Visconti n.77 – 80147 Napoli

Le attività dell'OR5 saranno orientate alla progettazione di un innovativo sistema di stoccaggio idrogeno ad idruri metallici per applicazione a bordo di veicoli ibridi a celle a combustibile e alla realizzazione di un prototipo da testare in ambiente controllato.

La progettazione seguirà un approccio modulare, in modo da conferire grande flessibilità di applicazione al sistema proposto. Il focus sarà rivolto all'ottimizzazione del sistema in termini di layout e di gestione termica.

In particolare, verrà sviluppato un sistema di stoccaggio ibrido di energia, modulare, che preveda l'integrazione termica di serbatoi ad idruri metallici con il pacco batteria del veicolo elettrico a celle a combustibile. Questo sistema consente da un lato di incrementare notevolmente la densità energetica a bordo, dall'altro di favorire la gestione termica ottimale di entrambi i componenti, ossia il sistema ad idruri e la batteria, incrementando le prestazioni finali del veicolo. Tale soluzione tecnica è stata oggetto anche di un brevetto italiano n. 102019000005858 dal titolo "Sistema di accumulo ibrido dell'energia per applicazioni stazionarie, mobili e propulsive" con estensione internazionale WIPO WO2020213017 Hybrid Energy Storage System with chemical/electrochemical dual technology for mobile, propulsive and stationary applications, registrato dai ricercatori dell'Università Parthenope che partecipano a questo progetto.

La ricerca prevedrà altresì lo sviluppo di diversi schemi di integrazione di tale sistema all'interno dell'architettura del veicolo, a seconda della specifica tipologia di veicolo considerata. In tal senso, si analizzeranno soluzioni in cui il sistema di stoccaggio idrogeno complessivo è composto da unità multiple, di cui una unità ibrida, e le altre invece integranti un sistema di gestione termica dedicato, operante con acqua glicolata o materiale a cambiamento

di fase come fluido di lavoro. Al fine di ottenere tempi brevi di rifornimento verrà inoltre studiato un sistema innovativo che, mediante la connessione del serbatoio con la stazione di rifornimento, consenta di sfruttare opportunamente il calore di reazione che si sviluppa durante le fasi di assorbimento/desorbimento dell'idrogeno.

La fase di progettazione del sistema sarà supportata da attività di modellazione solida 3D e simulazione numerica. Questa consentirà di ottimizzare il design, le prestazioni, e valutare la scalabilità del sistema proposto. Obiettivo finale è la realizzazione di un prototipo avente capacità di idrogeno fino a 5 kg.

## **7.2.OR5 ELENCO DELLE ATTIVITÀ DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO E RELATIVA DESCRIZIONE**

Le attività previste nell'OR5 saranno svolte dal personale del gruppo MSE dell'Università di Napoli Parthenope, Dipartimento di Ingegneria. Tutti i ricercatori coinvolti (3PO, 3PA, 2RTD, 1 AR) hanno specifiche competenze nell'ambito dei sistemi energetici e una consolidata esperienza nello sviluppo e messa a punto di sistemi basati su tecnologie a idrogeno per la mobilità.

L'unità di ricerca base per questo progetto sarà costituita da un ricercatore a tempo determinato (RTD) e da un collaboratore tecnico con assegno di ricerca (AR), che lavoreranno a tempo pieno sul progetto. Per le attività di modellazione numerica, e per le valutazioni di impatto ambientale ed economico, l'unità base verrà supportata da due RTD e da un Professore Associato (PA), con esperienza nella modellazione termo-fluidodinamica e nelle analisi relative al ciclo di vita dei prodotti. Le attività di caratterizzazione chimico-fisico delle prestazioni del sistema di stoccaggio, durante la fase di sviluppo del prototipo, saranno seguite da due PA, in sinergia con il gruppo di ricerca di UNITO. La supervisione delle attività delle fasi di progettazione, realizzazione e sperimentazione del prototipo saranno svolte da due Professori Ordinari (PO), mentre il coordinamento generale e la supervisione dell'intero OR sarà affidato al responsabile scientifico dell'OR, anch'esso PO.

OR5.1 – Definizione dei requisiti. La fase progettuale partirà dalla definizione dei requisiti di progetto del sistema ibrido di stoccaggio dell'energia, tenendo conto dei vincoli tecnici per l'installazione a bordo di veicoli elettrici alimentati da batterie e celle a combustibile. Questa analisi verrà effettuata selezionando veicoli di riferimento di diversa tipologia e finalità d'uso, considerando differenti profili di missione, stimando di conseguenza energia e capacità dei sistemi di stoccaggio idrogeno. Saranno pertanto determinate le caratteristiche tecniche del sistema di stoccaggio di energia e i vincoli da rispettare per una corretta installazione a bordo.

L'analisi sarà condotta utilizzando modelli dinamici per la simulazione di powertrain ibridi basati sull'integrazione di batterie e celle a combustibile. Le simulazioni dinamiche del sistema veicolo-powertrain verranno eseguite con riferimento a differenti cicli di guida (standard e specifici) e differenti architetture del powertrain, (relativamente al dimensionamento ed alle curve caratteristiche di motore elettrico, celle a combustibile, e pacco batterie). Per diversi veicoli di riferimento, verrà dunque individuato il layout ottimale del powertrain ibrido, che minimizzi i consumi energetici garantendo al contempo le prestazioni attese in termini di velocità, accelerazione ed autonomia. In una fase iniziale le simulazioni saranno eseguite imponendo una strategia di energy management rule-based, basata sulla definizione di valori di soglia statici dello stato di carica della batteria (SOC). Successivamente, verranno impiegate strategie di energy management avanzate, basate sull'implementazione di algoritmi di ottimizzazione numerica, che consentano di ottimizzare l'intervento della cella a combustibile a supporto della batteria, in funzione della tipologia del ciclo di guida e del percorso.

I risultati delle precedenti analisi consentiranno di determinare accuratamente sia la richiesta di energia e di potenza dei veicoli selezionati, sia le caratteristiche dei sistemi di gestione termica di ciascun componente della power unit e del sistema di stoccaggio (batterie e idruri). In tale fase verranno definite, in collaborazione con l'Università di Torino e il CNR, le caratteristiche e la composizione degli idruri metallici da utilizzare. La selezione del materiale più idoneo sarà effettuata all'interno delle classi in grado di operare a temperatura ambiente (tra -20 °C e 45 °C) e a bassa pressione (inferiore a 30-40 bar), sulla base dei risultati ottenuti negli OR1 e OR2.

OR5.2 – Messa a punto del sistema ibrido. Tale attività consisterà nella progettazione di un sistema di accumulo di energia ibrido, costituito dall'integrazione di un serbatoio ad idruri metallici e un pacco batteria, per applicazione a bordo di veicoli a celle a combustibile. Il design del sistema sarà realizzato seguendo un approccio modulare e con l'obiettivo di ottenere un layout che conferisca flessibilità di installazione a bordo di veicoli diversi. Il target sarà un sistema avente capacità di accumulo complessiva fino a 5 kg di idrogeno, che garantisca al veicolo a celle a combustibile un'autonomia comparabile con quella di un analogo veicolo dotato di un sistema di propulsione tradizionale (motore a combustione interna alimentato a diesel o benzina).

Sulla base dei vincoli e dei requisiti tecnici individuati nel T5.1, per selezionati veicoli di riferimento, il sistema di accumulo verrà dimensionato e configurato. Verrà quindi opportunamente progettato lo schema di integrazione del sistema di accumulo ibrido all'interno di una selezionata architettura di powertrain. Tale schema sarà progettato in maniera tale da soddisfare tutti i requisiti tecnici a bordo del veicolo e sfruttare al meglio i processi di

idrogenazione/deidrogenazione che si verificano all'interno degli idruri metallici. Accanto all'ottimizzazione del sistema in termini di integrazione e gestione termica, verrà svolta anche una approfondita analisi del design, prendendo in considerazione geometrie sia cilindriche che planari per i serbatoi contenenti gli idruri metallici, in funzione anche della tipologia del pacco batteria, che potrà essere composto da celle cilindriche, pouch oppure prismatiche.

La definizione della geometria del sistema ibrido sarà sviluppata seguendo un duplice approccio: modularità/scalabilità e gestione termica integrata. A tal fine saranno accuratamente valutati gli effetti legati al layout del serbatoio sulle prestazioni complessive del sistema, in termini di cinetica dei processi di assorbimento/desorbimento (wt%H<sub>2</sub>/min), capacità di trasferimento del calore, distribuzione della temperatura all'interno sia degli idruri che delle batterie e pressione operativa.

La modellazione solida 3D del sistema, realizzata impiegando un software commerciale (SOLIDWORKS®), sarà d'ausilio alla progettazione e consentirà inoltre di valutare accuratamente pesi e ingombri del sistema proposto. L'attività di simulazione numerica verrà condotta al fine di determinare la configurazione geometrica ottimale del sistema e caratterizzarne le sue prestazioni termiche e cinetiche prima della fase realizzativa. Questa verrà condotta mediante software commerciale (COMSOL Multiphysics®), adottando una modellazione agli elementi finiti (FEM).

OR5.3 – Sviluppo prototipo sistema ibrido. Una volta definite la configurazione ottimale e lo schema di integrazione del sistema ibrido di accumulo all'interno del powertrain del veicolo, si passerà alla fase di realizzazione di un prototipo, costituito da uno o più moduli del sistema progettato.

In questa fase verranno condotti test specifici sui singoli componenti costituenti il sistema ibrido, sia per condizioni di riferimento che per condizioni operative realistiche. I test preliminari su componenti e prototipi elementari verranno eseguiti, in collaborazione con ENEA, allestendo un banco prova comprensivo di battery test system, sistema di acquisizione dati, controllore di pressione, e misuratore di portata, in dotazione nei laboratori dell'Università Parthenope. I dati sperimentali verranno quindi integrati nei modelli numerici (T5.2), al fine di raggiungere una soluzione tecnica ottimale per il sistema proposto.

La costruzione del prototipo finale, le lavorazioni meccaniche necessarie, e l'allestimento dei sistemi di prova per la sua verifica sperimentale verranno invece realizzati presso i laboratori del centro di ricerca ATENA, con il supporto di personale esterno.

Parallelamente a tali attività, verrà inoltre condotta una analisi costi-benefici al fine di determinare l'impatto economico e ambientale della soluzione proposta rispetto ad altre soluzioni più convenzionali, considerando tutte le fasi del suo ciclo di vita, dalla produzione allo smaltimento.

#### **Risultati specifici attesi:**

- Definizione dei requisiti progettuali del sistema di energy storage in funzione dei vincoli tecnici relativi ai veicoli ibridi batterie/celle a combustibile di riferimento.
- Modelli dinamici per powertrain ibridi e identificazione layout ottimali ibridi batterie/celle a combustibile.
- Strategie ottimali di energy management.
- Definizione della gestione termica dei componenti e del sistema di stoccaggio ibrido.
- Progetto del sistema ibrido di energy storage per applicazioni di mobilità.
- Schema di integrazione del sistema di energy storage per diverse architetture di powertrain.
- Modelli solidi 3D del prototipo.
- Anali delle prestazioni e ottimizzazione del sistema.
- Prototipi di sistemi ibridi di energy storage.
- Valutazione delle prestazioni dei singoli componenti del sistema di storage ibrido.
- Analisi costi-benefici relativa al sistema di energy storage proposto.
- Realizzazione del PROTOTIPO 4

### **7.3.OR5 TEMPI DI REALIZZAZIONE**

OR 5 ha una durata complessiva di 27 mesi, ripartita come segue nei diversi tasks:

- OR5.1: M1-M12
- OR5.2: M7-M21
- OR5.3: M10-M27

## 7.1.OR6 DESCRIZIONE DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO

### **OR6 – Testing e validazione sistemi di stoccaggio**

Soggetto preposto alla realizzazione: **ENEA**

Luogo di svolgimento: Centro ricerche ENEA Casaccia, Via Anguillarese 301, Roma, Centro ricerche ENEA di Portici, P.le Enrico Fermi 1, Napoli, ATENA scarl, via Vicinale Visconti 77, Napoli.

Le attività previste nell'OR6 saranno svolte dal personale del laboratorio Accumulo di Energia, Batterie e tecnologie per la produzione e l'uso dell'Idrogeno, dell'ENEA, Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (TERIN). Tutti i ricercatori coinvolti hanno specifiche competenze nell'ambito dei sistemi energetici e una consolidata esperienza nel testing e validazione di sistemi di stoccaggio di idrogeno.

Le attività dell'OR6 riguarderanno l'analisi sperimentale funzionale alla progettazione dei sistemi di stoccaggio proposti, e il testing e la validazione sperimentale dei prototipi realizzati.

Nello specifico, le attività riguarderanno in primo luogo lo sviluppo di metodologie di diagnostica per l'analisi termica dei serbatoi ad idruri metallici. Queste verranno inizialmente applicate in fase di progettazione e realizzazione dei prototipi per determinare preliminarmente le caratteristiche di scambio termico dei sistemi sviluppati e fornire indicazioni utili per la loro ottimizzazione.

Successivamente, si procederà con il set-up di un banco prova e di una campagna sperimentale per il testing dei prototipi realizzati. La sperimentazione sui prototipi sarà volta alla completa caratterizzazione dei sistemi sviluppati e delle loro prestazioni, in relazione a diverse condizioni operative, sia di riferimento che reali. Gli effetti legati al layout e alla configurazione dei sistemi sulle prestazioni generali saranno accuratamente valutati. Grande attenzione verrà posta alla caratterizzazione delle prestazioni termiche dei sistemi di stoccaggio realizzati. In particolare, per il prototipo di sistema ibrido idruri metallici/batterie, verranno valutate le prestazioni del sistema in relazione al comportamento termico delle batterie, analizzando la distribuzione di temperatura al loro interno durante un funzionamento tipico. Inoltre, verranno caratterizzate in tale fase anche le prestazioni cinetiche dei sistemi, al fine di determinare i tempi di riempimento/svuotamento ottenibili.

I risultati derivanti dalle misure sperimentali verranno sistematicamente comparati con quelli ottenuti dalle simulazioni numeriche eseguite sui modelli negli altri OR.

## 7.2.OR6 ELENCO DELLE ATTIVITÀ DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO E RELATIVA DESCRIZIONE

Le attività previste nell'OR6 saranno svolte dal personale di ENEA. Tutti i ricercatori coinvolti (9 ricercatori e 2 tecnici) hanno specifiche competenze nell'ambito dei sistemi energetici e una consolidata esperienza nel testing e caratterizzazione di sistemi basati su tecnologie a idrogeno per applicazioni stazionarie e nella mobilità.

La supervisione delle attività delle fasi di testing e caratterizzazione dei prototipi saranno svolte da due ricercatori, mentre il coordinamento generale e la supervisione dell'intero OR sarà affidato al responsabile scientifico dell'OR, anch'egli ricercatore.

OR6.1 – Sviluppo di sistemi di prova, diagnosi ed analisi termica dei serbatoi. Inizialmente, verrà sviluppata una metodologia di diagnostica volta alla determinazione della distribuzione della temperatura all'interno dei serbatoi ad idruri metallici. Questa verrà quindi applicata sia durante le fasi di progettazione e realizzazione dei prototipi, al fine di individuare la configurazione di sistema che favorisca una gestione termica ottimale, sia nella fase successiva di testing dei prototipi sviluppati.

In questa fase si procederà inoltre con la progettazione preliminare del set-up dei banchi prova, destinati alla sperimentazione sui prototipi in relazione a diverse condizioni operative, sia di riferimento che reali.

In questa fase/task verrà inoltre sviluppato un KPI Panel di progetto (comune a tutti gli OR sia per attività sperimentali/prototipali che di simulazione) e una "Testing methodology/plan" avente come obiettivo quello di monitorare lo stato di avanzamento delle attività di ricerca sui vari OR in maniera uniforme e il raggiungimento degli obiettivi di progetto, anche in corrispondenza degli obiettivi strategici del PNR-PNRR.

OR6.2 – Analisi sperimentale prototipo per applicazioni stazionarie. I prototipi realizzati dai proponenti verranno testati in ambiente controllato. Saranno emulate anche condizioni operative tipiche di stazioni di rifornimento per valutare l'efficacia del sistema di gestione termica di tutti i prototipi. Le condizioni operative terranno conto anche dei fattori di scala dimensionale tra i serbatoi stazionari e quelli dei veicoli da rifornire.

L'obiettivo di questa attività è anche quello di testare la flessibilità del sistema sviluppato al variare delle condizioni climatiche e del numero di rifornimenti previsti nell'arco di una giornata tipo. Verrà inoltre effettuata un'analisi del comportamento cinetico dei serbatoi stazionari durante le operazioni di svuotamento in differenti condizioni operative del sistema di gestione termica.

I primi due mesi di questa task (in attesa che i prototipi realizzati in OR4 raggiungano i laboratori ENEA) saranno dedicati alla messa appunto di un'adeguata infrastruttura di monitoraggio/testing secondo i KPI panels definiti in OR6.1.

OR6.3 – Analisi sperimentale prototipo sistema ibrido per applicazioni mobili. Tale attività consisterà nella sperimentazione in ambiente controllato del prototipo di un sistema di stoccaggio ibrido batterie/idruri metallici. L'analisi verrà condotta sia per le fasi di svuotamento del serbatoio che in quelle di riempimento. Nel primo caso saranno valutate le prestazioni del sistema di gestione termica, utilizzando i profili di missione stimati dalla Università Parthenope e testando il serbatoio integrato al variare delle sue condizioni operative: sia della batteria durante le fasi di carica e scarica, sia dei flussi di idrogeno desorbiti dai serbatoi a idruri. I test saranno ripetuti sia in condizioni operative di riferimento che in condizioni operative critiche, al fine di fornire una caratterizzazione esaustiva del prototipo. Durante le prove verranno misurati e caratterizzati tutti i parametri rilevanti, quali flusso di idrogeno, pressione e temperatura di prova, temperature superficiali e interne temperature dei moduli batteria. I primi due mesi di questa task (in attesa che i prototipi realizzati in OR5 raggiungano i laboratori ENEA) saranno dedicati alla messa appunto di un'adeguata infrastruttura di monitoraggio/testing secondo i KPI panels definiti in OR6.1.

**Risultati specifici attesi:**

- Sviluppo di metodologie (e linee guida) di testing per la caratterizzazione delle performance di sistemi e prototipi "multi-purpose" a MH
- Caratterizzazione delle performance dei PROTOTIPI 4 e 5
- Raccolta di "lessons learnt" dalla campagna sperimentale anche per futuri upscale e refinement del design dei sistemi prototipali DRAGON

### 7.3.OR6 TEMPI DI REALIZZAZIONE

OR 6 ha una durata complessiva di 30 mesi, ripartita come segue nei diversi tasks:

- OR6.1: M4-M16
- OR6.2: M17-M30
- OR6.3: M17-M30

### 7.1.OR7 DESCRIZIONE DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO

**OR7: Impatto e politiche nazionali.**

Soggetto preposto alla realizzazione: **UNITO**

Luoghi di svolgimento: Università di Torino, Dipartimento di Chimica - Dipartimento di Giurisprudenza - Dipartimento di Culture, Politica e Società - Dipartimento di Economia e Statistica, Campus "Luigi Einaudi", Lungo Dora Siena 100/A, 10154; Torino.

In OR7 il Dipartimento di Giurisprudenza di Unito sarà impegnato nello studio di: riforme normative; ruolo delle CER nella realizzazione di impianti preordinati all'impiego di idrogeno verde; riconversione delle aree industriali dismesse per la realizzazione di centri di produzione e distribuzione di idrogeno verde.

OR7 è incentrato principalmente su tre ambiti di ricerca di interesse per il diritto amministrativo. In primo luogo, il progetto è incentrato sull'analisi delle importanti riforme normative che il cammino della transizione energetica intrapreso dal nostro paese ha reso necessarie al fine di rendere effettivamente attuabili gli investimenti previsti nell'ambito del PNRR, con particolare riguardo alle semplificazioni procedurali e alla riduzione dei tempi previste in ambito autorizzatorio e per alcuni procedimenti in materia ambientale (Via e Vas). In secondo luogo il progetto è focalizzato sullo studio del ruolo che le comunità energetiche rinnovabili potranno assumere, con riferimento alla realizzazione di impianti preordinati all'impiego dell'idrogeno verde, alla luce della disciplina dettata dal d.lgs. 199 del 2021, attuativo della direttiva (UE) 2018/2001, e delle ulteriori novità legislative introdotte dal d.l. 1° marzo 2022, n. 17, c.d. "decreto bollette", convertito dalla legge 27 aprile 2022, n. 34. In terzo luogo la

ricerca si occuperà dell'esame dei progetti presentati dalle Regioni e dalle province autonome che verranno approvati, relativi alla riconversione di aree industriali dismesse per la realizzazione di centri di produzione e distribuzione di idrogeno verde, in particolare in ragione del fatto che la riconversione in centri per la produzione e distribuzione di idrogeno verde potrebbe rappresentare, almeno in parte, una soluzione alla carenza di infrastrutture abilitanti necessarie per la mobilità ad idrogeno.

Inoltre, in OR7, verrà affrontata dal Dipartimento di Economia e Statistica una valutazione economica delle tecnologie sviluppate. Verrà dato rilievo all'analisi di rischio e dei costi collegati allo sviluppo di tecnologie che prevedono l'uso di idrogeno. In particolare, verranno fatte delle valutazioni comparative guardando alla profittabilità dell'idrogeno per trasporti e stoccaggio in relazione alle batterie, tenendo in considerazione i recenti sviluppi della tassonomia verde dell'Unione europea. Particolare attenzione sarà posta alla remunerazione per progetti di stoccaggio (e mobilità) a idrogeno verde usati in ambito di comunità energetiche.

Il Dipartimento di Culture, Politica e Società si occuperà di rilevare il livello di conoscenza e dell'attitudine del pubblico e dei principali stakeholders rispetto alle tecnologie basate sull'idrogeno con attenzione specifica alla percezione del rischio diffuso nelle comunità locali ed ai conseguenti meccanismi generativi di potenziali resistenze e conflitti. In tal modo si forniranno ai decisori pubblici e privati elementi utili per l'identificazione di possibili strategie di informazione, discussione e coinvolgimento capaci di includere le diverse prospettive degli attori coinvolti in un processo di co-progettazione delle tecnologie e dei loro processi implementativi. In questo quadro verrà rivolta attenzione specifica al coinvolgimento e alla sensibilizzazione delle comunità energetiche per esplorare il potenziale delle tecnologie basate sull'idrogeno sia come sistemi di stoccaggio dell'energia prodotta da rinnovabili sia come integrazione coi servizi di mobilità.

Infine, il Dipartimento di Chimica sarà impegnato nella determinazione degli impatti ambientali dei prototipi proposti. Verrà effettuata una valutazione LCA sia della fase di produzione dei sistemi sia della fase di uso. Verranno quindi individuati gli aspetti produttivi a maggior impatto proponendo eventuali soluzioni per la loro limitazione. Si porrà particolare attenzione alla riciclabilità e al fine vita.

## **7.2.OR7 ELENCO DELLE ATTIVITÀ DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO E RELATIVA DESCRIZIONE**

OR7 viene suddiviso in 6 task.

OR7.1: analisi dei procedimenti autorizzatori e dei procedimenti di VIA e VAS che avranno ad oggetto i progetti di impianti per la produzione di idrogeno verde, in particolare alla luce delle semplificazioni procedurali e della riduzione dei tempi procedurali introdotte dalle recenti riforme normative.

OR7.2: supporto sotto il profilo giuridico, alla luce della normativa introdotta in attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, ed in particolare con riferimento alle novità previste dal d.lgs. 199 del 2021, attuativo della direttiva (UE) 2018/2001 e dal d.l. 1° marzo 2022, n. 17, c.d. "decreto bollette", convertito dalla l. 27 aprile 2022, n. 34, in ordine alla costituzione di CER e realtà di autoconsumo di energia rinnovabile che, per la produzione e l'accumulo di energia elettrica rinnovabile per il proprio consumo, optino per l'installazione di impianti di produzione di idrogeno verde.

OR7.3: studio dei progetti presentati dalle Regioni e dalle province autonome ed approvati dal MiTE preordinati a realizzare la riconversione di aree industriali dismesse per la realizzazione di centri di produzione e distribuzione di idrogeno verde, nello specifico anche nella prospettiva di un loro utilizzo come infrastrutture abilitanti necessarie per la mobilità ad idrogeno.

OR7.4: valutazione economica. Per l'analisi di rischio e dei costi collegati allo sviluppo di tecnologie che prevedono l'uso di idrogeno verrà fatta un'analisi accurata della letteratura esistente, verranno svolte delle interviste per conoscere il parere di esperti nel settore industriale ed accademico (expert elicitation) e verrà valutato con tecniche di economia sperimentale la percezione del rischio economico per i consumatori. Infine, verranno svolte delle simulazioni usando dei software di tipo bottom-up per capire come l'impatto di varie misure legate alla tassonomia verde (e diversi tassi di interesse applicati) si riflettono sulla profittabilità dell'idrogeno nel settore trasporti e stoccaggio.

OR7.5: attività di identificazione degli atteggiamenti dei cittadini verso le nuove tecnologie energetiche attraverso survey campionarie, focus group, e interviste qualitative con gruppi selezionati di popolazione. Sensibilizzazione delle comunità energetiche per comprendere le potenzialità dei sistemi di stoccaggio dell'energia prodotta dalle comunità/cooperative.

OR7.6: analisi LCA (Life Cycle Analysis). Il PROTOTIPO 4 e il PROTOTIPO 5 (per l'applicazione stazionaria e di mobilità) verranno studiati sia nella loro fase di produzione sia di uso per individuare gli aspetti più rilevanti come impatto ambientale al fine di adeguare il design dei sistemi minimizzando la produzione di CO2. Vi sarà

quindi interazione fra i partner del progetto durante la fase di calcolo degli impatti ambientali e la fase di design dei sistemi. Verrà utilizzato il software SimaPro 9.2 accoppiato con il database Ecoinvent v.3.7.1.

**Risultati specifici attesi:**

- Determinazione della legislazione esistente relativa alla produzione e sfruttamento dell'idrogeno verde.
- Supporto giuridico alla creazione di CER e realtà di autoconsumo di energie rinnovabili.
- Valutazione del rischio economico per i consumatori e dell'impatto delle misure legate alla tassonomia verde.
- Sensibilizzazione delle comunità energetiche all'uso di tecnologie all'idrogeno.
- Valutazione LCA degli impatti ambientali del PROTOTIPO 4 e PROTOTIPO 5

**7.3.OR7 TEMPI DI REALIZZAZIONE**

OR7 ha una durata complessiva di 30 mesi, ripartita come segue nei diversi tasks:

- OR7.1: M1 – M24
- OR7.2: M18 – M30
- OR7.3: M12 – M30
- OR7.4: M1 – M24
- OR7.5: M1 – M24
- OR7.6: M18 – M30

**8. RISULTATO INTERMEDIO ATTESO DEL PROGETTO**

OR	NOME DEL DELIVERABLE	TIPO	Data
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinazione di idruri con composizione adeguata per la purificazione di idrogeno (OR1.1)</li> <li>• Sviluppo, tramite metodi sperimentali e teorici, e caratterizzazione di leghe per assorbimento di H<sub>2</sub> con capacità di assorbimento elevate (2% wt) (OR1.2 - OR1.5)</li> </ul>	Rapporto Tecnico	M15
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Individuazione delle procedure di sintesi mediante due differenti tecnologie (Fusione ad acro-ball milling) di leghe per assorbimento di idrogeno (OR2.1)</li> <li>• Definizione di setup sperimentali e procedure per lo studio delle cinetiche e degli effetti di avvelenamento/rigenerazione di idruri metallici (OR2.2-OR2.4)</li> </ul>	Rapporto Tecnico	M15
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design del sistema di gestione termica e dei reattori del sistema DRAGON (OR3.2)</li> <li>• Validazione sperimentale in scala laboratorio del sistema di gestione termica integrato (OR3.3)</li> </ul>	Rapporto tecnico	M15
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design, prototipazione e commissioning del sistema DRAGON per applicazioni stazionarie PROTOTIPO 5 (OR4.1)</li> </ul>	Dimostratore	M15
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design, prototipazione e commissioning del sistema DRAGON per applicazioni mobili PROTOTIPO 4 (OR5.1)</li> </ul>	Dimostratore	M15
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definizione della campagna sperimentale e del set up per il testing e la caratterizzazione delle performance di sistemi e prototipi "multi-purpose" a MH (OR6.1)</li> </ul>	Rapporto tecnico	M15
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valutazione dell'impatto economico e di sensibilizzazione delle comunità energetiche all'uso di tecnologie all'idrogeno (OR7.4-OR7.5)</li> </ul>	Rapporto tecnico	M15

**9. RISULTATO FINALE ATTESO DEL PROGETTO**

OR	NOME DEL DELIVERABLE	TIPO	DATA
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Report su leghe con capacità di assorbimento di H<sub>2</sub> elevate (2% wt) (OR1.2 - OR1.5)</li> <li>• Realizzazione del PROTOTIPO 2 (OR1.1) e del PROTOTIPO 3 (OR1.3)</li> </ul>	Rapporto tecnico Dimostratore	M30



2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Report su leghe per lo stoccaggio di idrogeno: metodo di produzione, caratterizzazione microstrutturale e funzionale (OR2.1- OR2.3)</li> <li>Realizzazione di dimostratore di applicazione di tecniche di Additive Manufacturing alla realizzazione di dimostratori di reattori per l'uso di idruri metallici PROTOTIPO 1 (OR2.1)</li> </ul>	Rapporto tecnico Dimostratore	M30
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Report sull'ottimizzazione della gestione termica integrata e sugli algoritmi di gestione del sistema DRAGON (OR3.5)</li> </ul>	Rapporto tecnico	M30
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Report sulle attività di modelling per la replicabilità e l'integrazione del sistema DRAGON (OR4.2-OR4.3)</li> <li>Linee guida per upscale e replicazione del sistema DRAGON (OR4.4)</li> </ul>	Rapporto tecnico	M30
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sviluppo e testing preliminare del sistema di storage ibrido per applicazioni mobili (OR5.1)</li> </ul>	Rapporto tecnico	M27
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Report sulle attività di testing e caratterizzazione di sistemi e prototipi "multi-purpose" a MH (OR6.2 – OR6.3)</li> </ul>	Rapporto tecnico	M30
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinazione delle normative relative alla produzione e sfruttamento dell'idrogeno e supporto alla creazione di CER e comunità energetiche (OR7.2-OR7.3)</li> <li>Valutazione LCA degli impatti ambientali del PROTOTIPO 4 e PROTOTIPO 5 (OR7.6)</li> </ul>	Rapporto tecnico	M30

## 10. ULTERIORI INFORMAZIONI SULLE VOCI DI SPESA PREVISTE NEL PROGETTO

### UNITO

**Materiali e forniture:** 139.000 €. I costi previsti per le attività di Unito riguardano: acquisto di metalli puri per la realizzazione di idruri metallici, idrogeno e gas puri per le prove sperimentali, materiale di consumo per gli strumenti di misura utilizzati per le prove sperimentali. Verranno inoltre acquistati i componenti necessari per la realizzazione del compressore dimostratore, incluse le polveri di idruri metallici necessarie. Licenze software e banche dati sono necessarie per la realizzazione della parte del progetto legata alla simulazione e LCA.

**Servizi di consulenza:** 27.000 €. Sono previsti servizi di consulenza per la realizzazione di prototipi di compressore.

**Strumenti e attrezzature:** 80.000 €. Questa voce di spesa verrà utilizzata per acquistare un diffrattometro di raggi X necessario per la caratterizzazione delle polveri ad alta risoluzione.

### CNR

**Materiali e forniture:** le spese dei materiali del CNR sono suddivise per Istituto

- **ITAE:** 1° anno 45.000 € (metalli puri, gas puri, consumabili per stazione di prova testing sistemi termici), 2° anno 65.000 € (miscele gassose commerciali, consumabili per caratterizzazione materiali accumulo termico, sensori di misura proprietà termofisiche, schede di acquisizione dati sperimentali, licenza software simulazione), 3° anno 65.000 € (consumabili per stazione di prova test sistema integrato, sensori di monitoraggio, realizzazione prototipo di gestione termica)
- **ICMATE:** 1° anno 8.000 € (metalli puri, gas, attrezzature per forni fusori), 2° anno 7.000 € (Polveri, gas tecnici additive, materiali di consumo vari, consumabili per metallografia, SEM e XRD)
- **ISC:** 1° anno 7.000 € (gas, componenti da alta pressione per il funzionamento dell'apparecchiatura di tipo Sievert), 2° anno 3.000 € (materiali di consumo vari)

**Servizi di consulenza:** sono previsti 36.000 € di consulenze sulla produzione in larga scala di leghe metalliche (CNR-ITAE)

**Strumenti e attrezzature:** non sono previste

### UNIGE

**Materiali e forniture:** le spese dei materiali di UNIGE-TPG sono ripartite come segue

- 1° anno 30.000 € (consumabili per realizzazione di un banco di emulazione di diversi carichi termici da accoppiare al sistema a idruri DRAGON, sensori di misura proprietà termofisiche, licenza software simulazione, spese di viaggio e missioni, schede di acquisizione dati sperimentali e di controllo per i sistemi realizzati (COMPACT-RIO))

- 2° anno 45.000 € (gas puri/ miscele gassose commerciali per prove sperimentali, costi per l'adeguamento delle aree di laboratorio e per ospitare il prototipo di soluzione containerizzata DRAGON, adeguamento sensori di sicurezza e antincendio, sensori di misura proprietà termofisiche, spese di viaggio e missioni)
- 3° anno 15.750 € (gas puri/ miscele gassose commerciali, materiali di consumo vari, spese di viaggio e missioni)

**Servizi di consulenza:**

- 10.000 € di consulenze per il supporto alla realizzazione di studi di fattibilità per l'integrazione del Sistema DRAGON in ambito navale (aspetti di integrazione a bordo nave, aspetti di classifica navale etc.) (ANNO 2)
- 60.000 € di consulenze per l'integrazione e la prototipazione del prototipo del sistema idrogeno containerizzato DRAGON (35.000 € ANNO 1 – 25.000 € ANNO 2)

**Strumenti e attrezzature:** non sono previsti costi.

UNIPAR

**Materiali e forniture:** 164.700 €. I costi previsti riguardano: materiali direttamente connessi alle attività di ricerca e sviluppo del prototipo, componenti e materiali per realizzare il prototipo di serbatoio a idruri metallici; materiali e componenti per realizzare la gestione termica di batterie e di serbatoi ad idruri; centraline; materiali e componenti per costruire i sistemi di gestione e controllo dei serbatoi, idrogeno e gas puri per le prove sperimentali, sensori e trasduttori da integrare nel prototipo.

**Servizi di consulenza:** 79.300 €. Sono previsti servizi di consulenza per assistenza alla realizzazione dei sistemi di prova e prestazioni di servizi per attività e lavorazioni che non possono essere realizzate dal proponente nella realizzazione di prototipi.

**Strumenti e attrezzature:** non saranno necessari costi di attrezzature e strumentazioni, essendo questi già a disposizione del proponente.

ENEA

**Materiali e forniture:** 80.000 €. I costi previsti per l'esecuzione delle attività di ENEA riguardano l'adeguamento del set up sperimentale per l'esecuzione delle prove di testing e validazione dei prototipi, l'idrogeno consumato per il testing, sistema di monitoraggio e controllo, termocoppie, rilevatori, sensori e centraline per i sistemi di sicurezza.

**Servizi di consulenza:** 30.000 €. Saranno utilizzati per realizzare parti del set up sperimentale che non possono essere realizzate dal proponente.

**Strumenti e attrezzature:** non saranno necessari costi di attrezzature e strumentazioni, essendo questi già a disposizione del proponente.

### **III<sup>a</sup> PARTE: ELEMENTI VALUTATIVI**

#### **1. FATTIBILITÀ TECNICO-ORGANIZZATIVA**

*(Nel caso di progetto congiunto fornire le seguenti informazioni per singolo soggetto proponente)*

##### **1.1.A CAPACITÀ E COMPETENZE**

###### *UNITO*

Il Dipartimento di Chimica di Unito ha esperienza nello sviluppo e caratterizzazione di materiali per immagazzinamento di idrogeno e nello studio del Life Cycle Assessment (LCA), con la presenza di docenti e ricercatori che lavorano nell'ambito dell'immagazzinamento di idrogeno da oltre 20 anni. Il Dipartimento di Chimica è equipaggiato con gli strumenti necessari per la produzione di leghe metalliche, la loro caratterizzazione strutturale e microstrutturale e la determinazione della loro capacità di assorbimento/desorbimento di idrogeno, con la possibilità di effettuare studi cinetici e di determinare le condizioni di attivazione delle leghe. Unito è equipaggiato con il software SimaPro con il database Ecoinvent con cui è possibile fare studi LCA.

Il prof. Marcello Baricco, coordinatore del progetto, ha seguito progetti a livello europeo e coordina da anni il gruppo di ricerca sui materiali per immagazzinamento di idrogeno. La Prof.ssa Paola Rizzi si occupa di caratterizzazione di materiali metallici e di studio di impatto ambientale tramite LCA come testimoniato dalla sua produzione scientifica e dalla partecipazione a progetti europei. Il prof. Mauro Palumbo ha esperienza decennale sulla modellizzazione tramite calcoli ab-initio e Calphad, su cui è impegnata anche la Dott.ssa Marta Corno. Inoltre la Prof.ssa Pierangiola Bracco vanta pubblicazioni in ambito polimerico con l'esperienza necessaria per l'applicazione di tali materiali per la produzione di pellets.

Negli ultimi 3 anni il Dipartimento di Chimica di Unito è stato impegnato in un progetto regionale (CleanDronhy) finanziato con bando competitivo dalla regione Piemonte e in un progetto europeo HyCARE finanziato da "Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH-JU)" per un totale complessivo di finanziamento di 377.000 €. Il progetto HyCARE, di cui Unito è coordinatore, include in tutto 9 partner europei di cui 5 istituti di ricerca (Unito, CNRS, IFE, Hereon, FBK), 2 PMI (Tecnodelta srl, Stühff GmbH) e 2 grandi imprese (GKN Sinter Metals Engineering GMBH, ENGIE Lab CRIGEN). Oltre al coordinamento dell'intero progetto, Unito è impegnato su differenti fronti della ricerca, in particolare lo sviluppo di nuove leghe per assorbimento di H<sub>2</sub> e la loro integrazione nei sistemi di stoccaggio; lo studio LCA per la determinazione degli impatti ambientali legati alla produzione e funzionamento del sistema integrato; lo studio del Phase Change Material (PCM) utilizzato come accumulo termico. Le attività descritte hanno consentito la pubblicazione di più di 25 articoli negli ultimi 5 anni.

Il Dipartimento di Giurisprudenza può vantare la partecipazione ad alcuni progetti europei su studi condotti in materia di misure normative di contrasto al cambiamento climatico, impiego di energie rinnovabili, comunità energetiche rinnovabili ed autoconsumo collettivo di energia rinnovabile. All'interno del Dipartimento la prof.ssa Anna Maria Porporato è impegnata in tematiche legate all'ambiente.

Il Dipartimento di Economia e Statistica dispone di una parte rilevante delle competenze necessarie alla realizzazione della ricerca con esperienza nella valutazione del rischio climatico e nello studio di modelli alternativi per consentire la riduzione delle emissioni ed il raggiungimento degli obiettivi sul clima sia nazionali che Europei. La prof.ssa Valeria Di Cosmo, del Dipartimento di Economia e Statistica, ha recentemente concluso un progetto come Marie Curie fellow presso la FEEM di Milano dove ha lavorato sull'integrazione delle rinnovabili nei mercati energetici europei e ha studiato l'impatto ambientale delle nuove forme di generazione elettrica ed è membro del circuito Jean Monnet su circular economy e environmental sustainability coordinato dall'Università di Clermont Auvergne.

Il Dipartimento Culture, Politica e Società partecipa a differenti progetti di ricerca su tematiche inerenti al progetto, qui elencati: PATTERN - Providing operational economic appraisal methods and practices for informed decision-making in climate and environmental policies", Call HORIZON-CL5-2021-D1-01, Proposal number: 101056734. LEAP-RE Long Term EU-Africa Partnership for Research and Innovation actions in the area of renewable energy –. H2020 EU project 963530. eCREW - Establishing Community Renewable Energy Webs - Rolling out a business model and operational tool creating webs of households that jointly manage energy to improve efficiency and renewables uptake - H2020 EU project 890362. European coordinator (PI) "Comets - Collective action models for Energy Transition and Social Innovation", funded by European Commission on H2020-LC-SC3-2018-2019-2020 call. H2020 EU project 837722. ESACOM "Risparmio energetico ed ottimizzazione del comfort" coordinata da IREN finanziata dal Polo di Innovazione regionale dell'energia CLEVER. GEMex: Cooperation in Geothermal energy research Europe-Mexico for development of Enhanced Geothermal Systems and Superhot Geothermal Systems, Grant Agreement number: 727550. Il prof. Dario Padovan è impegnato nei progetti elencati ed è impegnato nelle tematiche energetiche, come testimoniato dalla sua produzione scientifica.

## 1.2.A QUALITÀ DELLE COLLABORAZIONI

### UNITO

Nell'ambito del presente progetto Unito sarà impegnato su 2 OR: OR1 e OR7.

OR1 è di fondamentale importanza per il progetto poiché coinvolge lo sviluppo di specifici idruri metallici (MH) che rappresentano il punto chiave per il design del sistema integrato proposto dal progetto. Gli MH che verranno proposti consentiranno di ottimizzare il funzionamento del sistema a differenti livelli: purificazione, compressione e stoccaggio di H<sub>2</sub>, accumulo di calore. A partire dalle polveri prodotte, sarà possibile costruire l'intero prototipo. I partner del progetto utilizzeranno quindi gli studi implementati da UNITO per integrare le varie parti del sistema e per la costruzione dei prototipi proposti nel progetto.

Inoltre, le attività del OR7 sono fondamentali per il progetto e saranno utilizzate da tutti i partner di progetto da un lato per la valutazione degli impatti ambientali dei prototipi proposti e dall'altro per una consulenza giuridica e di informazione, anche nei confronti dei cittadini ed imprenditori, nella prospettiva della realizzazione di CER e realtà di autoconsumo energetico caratterizzate dalla installazione di impianti di idrogeno verde, anche nell'ottica di un loro utilizzo per la mobilità sostenibile. Nell'ambito dell'attività progettuale potrebbero essere anche previste collaborazioni con gli enti locali. L'analisi congiunta di fenomeni economici (rischio e regolamentazioni) è fortemente connaturata all'analisi giuridica e normativa degli stessi fenomeni. Una collaborazione fra il dipartimento di Economia e Statistica ed il Dipartimento di Giurisprudenza è quindi necessaria per la valutazione dell'impatto di nuove regole al settore sia dal punto di vista della fattibilità dei progetti sia per valutarne la profittabilità.

## 1.3.A RISORSE TECNICHE E ORGANIZZATIVE

### UNITO

Il Dipartimento di Chimica di UNITO è già in possesso delle seguenti apparecchiature scientifiche: una serie completa di strutture necessarie per la chimica sintetica come reattori con agitatore, mulini a sfere, forni per fusione di leghe (forno ad arco, forno tubolare), tecniche di tempra rapida, forni per i trattamenti termici e una serie di tecniche di caratterizzazione strutturale e microstrutturale e per la determinazione delle proprietà di immagazzinamento di H<sub>2</sub>, tra cui: diffrazione dei raggi X (XRD), microscopia elettronica in trasmissione in alta risoluzione (HR-TEM), microscopia elettronica a scansione a emissione di campo (FESEM) e SEM, apparecchiature volumetriche di tipo Sievert (PCI), HP-DSC (calorimetro a scansione differenziale ad alta pressione). Le apparecchiature risultano adeguate alle richieste del presente progetto. Permettono infatti di raggiungere adeguatamente lo sviluppo di nuovi idruri metallici per la purificazione, immagazzinamento e compressione dell'H<sub>2</sub> e per l'accumulo di calore. Inoltre il software SimaPro incluso di database Ecoinvent, ambedue aggiornati all'ultima versione, consente una efficace determinazione dei costi ambientali della produzione e uso del sistema integrato proposto nel progetto.

UNITO intende acquisire un diffrattometro di raggi X con l'intento di migliorare la determinazione della struttura dei materiali prodotti. Uno strumento di ultima generazione per mette infatti di raggiungere più elevate risoluzioni e di più alte velocità di acquisizione del dato. Lo strumento verrà utilizzato per 24 mesi per cui si ipotizza un impegno sul progetto di 80000€ considerando l'ammortamento dello strumento nel corso del progetto (avendo lo strumento un costo previsto complessivo di 200000 € IVA inclusa).

UNITO dispone di strutture organizzative dedicate al supporto dei progetti di ricerca (Direzione ricerca: Area Supporto Alla Ricerca Polo Scienze della Natura; Area Servizi alla Ricerca, Polo Campus Luigi Einaudi) che saranno utilizzate per la parte gestionale del progetto. La parte di ricerca verrà invece organizzata dal responsabile del progetto, partendo dalle precedenti esperienze di coordinamento di progetti europei e regionali.

Il responsabile tecnico-scientifico del progetto ha maturato una ampia esperienza nella coordinazione di progetti di ricerca e di gruppi di lavoro grazie alla partecipazione a differenti progetti europei, nazionali e regionali. In particolare, ha coordinato in UNITO i seguenti progetti regionali: H2FC, Sterin, CleanDronhy, FA-H2FC. Ha inoltre coordinato (anche come coordinatore dell'intero progetto) i seguenti progetti europei: SSH2S, BOR4STORE, HyCARE.

Il Gruppo si avvarrà della collaborazione del gruppo di ricerca dell'Università di Bologna (prof. Luca Pasquini) per lo studio degli effetti della microstruttura sulle proprietà termodinamiche e cinetiche dell'assorbimento di idrogeno negli idruri metallici. La collaborazione potrà avvenire attraverso convenzioni di cui all'art. 6 comma 11 della legge 240/2010.

## 1.1.B CAPACITÀ E COMPETENZE

### CNR

Il Responsabile scientifico dell'obiettivo realizzativo 2 è affidato al Dr. Rolando Pedicini (SCOPUS Author ID: 8631443300 – ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0867-714X>), ricercatore a tempo indeterminato III livello, responsabile dell'attività H<sub>2</sub> storage per l'ITAE e referente per l'istituto all'interno di vari tavoli tematici sull'idrogeno in ambito nazionale e internazionale.

CNR-ITAE: parteciperà alle attività di progetto con 4 unità di personale di ruolo a tempo indeterminato, 1 Dirigente di Ricerca, 2 Ricercatori I Livello, 1 Ricercatore III Livello, aventi comprovata esperienza nello sviluppo di tecnologie di accumulo di idrogeno, sistemi innovativi di gestione ed accumulo di energia termica e di integrazione di sistemi basati su fonti rinnovabili. L'attività sullo stoccaggio dell'idrogeno vedrà coinvolti diversi laboratori, tra cui uno di sintesi, attrezzato di glove box, apparecchiatura di tipo Sievert e ball-milling, altri laboratori adibiti alla caratterizzazione di tipo SEM-EDS, TEM, BET. Tale attività è attualmente coinvolta in un progetto PON-NAUSICA-NAvi efficienti tramite l'Utilizzo di Soluzioni tecnologiche Innovative e low Carbon il cui budget totale del progetto è di € 3.193.424,93, inoltre è all'interno di tematiche in collaborazioni nazionali e internazionali con enti di ricerca e università.

L'attività di management termico verrà supportata da apparecchiature sperimentali per la caratterizzazione di materiali di e per la validazione sperimentale di prototipi in range di potenza variabili da pochi kW fino a 60 kW in fase di raffreddamento. Inoltre, verranno utilizzate le risorse software per le attività di simulazione, supportate da un cluster di calcolo dedicato. Nell'ambito dei sistemi innovativi di gestione ed accumulo termico, negli ultimi 3 anni il CNR ITAE è stato partner di 10 progetti Horizon H2020 e di 2 progetti Horizon Europe in fase di avvio, per un totale di finanziamento superiore a 4.3 M€.

Le attività di integrazione di sistemi hanno come finalità lo sviluppo di sistemi per applicazioni stazionarie e mobili che integrano le tecnologie sviluppate presso l'istituto e le fonti energetiche rinnovabili tra di loro e con tecnologie già esistenti. Le attività riguardanti il settore dell'idrogeno e dello storage energetico comprendono modellistica, prototipazione, realizzazione di dimostrativi, sviluppo e caratterizzazione di sistemi in parallelo con attività di progettazione e caratterizzazione di prodotti per il mercato in collaborazione con aziende. In particolare, la ricerca verte su accoppiamento di fonti energetiche rinnovabili con accumulo elettrochimico, celle a combustibile ed elettrolizzatori nei settori smart building, smart cities, smart mobility e smart grids. Le attività relative a questo progetto vedranno coinvolti diversi laboratori dell'istituto e del centro testing dell'ITAE.

Nell'ambito di queste attività negli ultimi 3 anni il CNR-ITAE è stato partner in 2 progetti H2020, 1 progetto di cooperazione internazionale ERANET, 3 progetti ad accordo di programma col MiTE (n°1 RdS e n°2 Mission Innovation) e diversi progetti nazionali per un totale di finanziamento superiore a 5.0 M€.

CNR-ICMATE: ha a disposizione al suo interno le risorse strumentali necessarie alla realizzazione delle attività previste nel progetto. Vanta un'esperienza trentennale nello sviluppo, sintesi e caratterizzazione di leghe metalliche innovative e funzionali, competenza ulteriormente ampliata negli ultimi dieci anni con l'introduzione di tecniche di produzione innovative, basate su processi di Fusione Laser Selettiva. Il personale che si dedicherà alle attività del progetto rappresenta appieno tali competenze: il Dr. Ausonio Tuissi è presente nella sede a partire dalla sua costituzione ed ha seguito progetti di sviluppo materiali su scala europea. L'Ing. Paola Bassani si occupa di caratterizzazione microstrutturale ad alto livello, come testimoniato anche dalla partecipazione a finanziamenti per l'accesso transnazionale a centri di eccellenza nella caratterizzazione microstrutturale. L'Ing. Carlo Alberto Biffi vanta ampia esperienza nei processi tecnologici innovativi di lavorazione e sintesi di metalli basati su sorgenti laser, in particolare vanta notevole esperienza su processi di Fusione Laser Selettiva. Il Dr. Tuissi, negli ultimi tre anni ha partecipato ai seguenti progetti: EMPATIA@Lecco - EMpowerment del PAzienTe In cAsa, Regione Lombardia e Fondazione Cariplo – Erogazioni Emblematiche Maggiori, rif. 2016-1428, 01 gennaio 2017 - 31 dicembre 2021.

CNR-ISC: metterà a disposizione tre unità di personale a tempo indeterminato (Dr. Annalisa Paolone, Dr. Oriele Palumbo e Dr. Rosanna Larciprete) che da anni svolgono attività di ricerca nello studio dell'interazione di materiali, anche bidimensionali, con idrogeno e nella caratterizzazione di materiali con tecniche di superficie. CNR-ISC dispone di laboratori equipaggiati con strumentazione idonea a eseguire le attività previste dal progetto. CNR-ISC gestisce annualmente almeno dieci progetti di ricerca a livello nazionale ed internazionale, la maggior parte dei quali in collaborazione con altri enti di ricerca. Le ricercatrici partecipanti al Progetto negli ultimi tre anni hanno partecipato e/o coordinato i progetti: Horizon H2020 "Silicon Alloying Anodes for Energy Dense Batteries comprising Lithium Rich Cathodes and Ionic Liquid Electrolytes for Safe High Voltage Performance"- Si DRIVE, Call LC-NMBP-30-2018 (2019-2023); 375 k€ per CNR-ISC; "Produzione e immagazzinamento di idrogeno in interfacce nanostrutturate graphene-nichel" bando "Progetti di Gruppi di Ricerca" LazioInnova/Regione Lazio (2017-2020) coordinato da ISC, 136 k€.

## 1.2.B QUALITÀ DELLE COLLABORAZIONI

### CNR

L'attività del CNR-ITAE nell'ambito dello stoccaggio dell'idrogeno è stata indirizzata fundamentalmente per applicazioni mobili e stazionari, per applicazioni navali in altri progetti in cui l'ITAE ha partecipato attivamente allo sviluppo di materiali assorbenti e design e caratterizzazione di tank. In questa attività, l'unità di personale coinvolta ha pubblicato in totale 31 lavori scientifici oltre ad un invito come Visiting Professor e altre due lezioni di master universitari tenutesi presso Università straniere (Messico, Brasile). Nell'attività dello storage l'ITAE è membro scientifico dell'H2 Europe Research e parte attiva dell'H2IT.

Nell'ambito dei sistemi di gestione ed accumulo termico è stata orientata sia ad applicazioni residenziali che industriali. In particolare, lo studio di processi alimentati termicamente per la produzione di calori di processo ed energia frigorifera, materiali per accumulo termico di breve durata e di lunga durata (stagionale). Tali attività hanno portato alla pubblicazione di circa 60 articoli scientifici negli ultimi 5 anni.

Nell'ambito dell'attività di integrazione di sistema sono state consolidate negli ultimi 5 anni importanti collaborazioni con aziende del settore energetico come Terna, FIAMM, SNAM, ENEL GreenPower, Fincantieri, ST Microelectronics, e sono stati sviluppati numerosi progetti di ricerca collaborativi e contratti di ricerca commissionata sia in ambito europeo che nazionale. ITAE è membro di EERA JP Smart Grids, Smart Cities e Storage. Fa parte del network EUREC e ERIG.

Il CNR-ICMATE ha coordinato e gestito numerosi progetti di ricerca internazionali e nazionali. L'Unità di Lecco ha partecipato in particolare al progetto - TIMES - Tecnologie e materiali per l'utilizzo efficiente dell'energia solare" nell'ambito dell'Accordo Quadro CNR-Regione Lombardia (206 k€). Inoltre nell'ambito dell'Accordo Quadro di Collaborazione sottoscritto in data 01/10/2015 l'ICMATE ha partecipato ad un progetto finanziato da Regione Lombardia e CNR Future Home for Future Communities - FHFFC – in cui l'Istituto ha partecipato nell'ambito delle tematiche "Smart Care" e "Smart Living" contribuendo allo studio, realizzazione e caratterizzazione di dispositivi prototipali integranti componenti metallici innovativi per la salute e il benessere della persona e per applicazioni nel settore della domotica e della sicurezza degli ambienti domestici.

Le unità di personale del CNR-ISC coinvolto nel progetto hanno una consolidata esperienza nello studio sperimentale di idruri e materiali per l'immagazzinamento di idrogeno, a partire dagli idruri complessi, alle leghe metalliche, ai materiali porosi o bidimensionali. Oltre ai Progetti citati nella sezione precedente, hanno partecipato a diversi progetti inerenti queste tematiche: "Hydrostore", nell'ambito del bando Industria 2015-Efficienza energetica (2007-2010); FIRB 2010 -"Idruri quali anodi innovativi per le batterie al litio" (2012-2017); POR Sicilia - "Nanomateriali per il Settore Energetico-Ecologico (2000-2006); PRIN2004 "Sintesi e caratterizzazione di materiali per l'immagazzinamento di idrogeno allo stato solido. Hanno pubblicato complessivamente circa 60 pubblicazioni inerenti gli idruri e i materiali per l'immagazzinamento e la purificazione di idrogeno. Le competenze e l'attività di ricerca svolta fino ad ora da CNR-ISC contribuiranno in maniera significativa alla definizione delle proprietà e delle prestazioni dei materiali rispetto all'efficienza di immagazzinamento e di rilascio di idrogeno e alla reversibilità dei processi.

Le attività di ricerca e sviluppo degli Istituti CNR coinvolti negli OR2 e OR3 avranno ricadute importanti non solo per il raggiungimento dell'obiettivo di ogni singolo OR ma, soprattutto, per fornire informazioni e risultati utili al raggiungimento degli obiettivi del progetto ovvero lo sviluppo di PROTOTIPI di stoccaggio, compressione e purificazione dalla scala di laboratorio fino alla scala pilota.

## 1.3.B RISORSE TECNICHE E ORGANIZZATIVE

### CNR

Il CNR-ITAE per lo studio e sviluppo delle attività sperimentali in questo progetto si avvarrà delle seguenti tecniche di caratterizzazione: mulino planetario ball-milling Fritsch Pulverisette con giara ad alta pressione, PCT Sievert per misure di assorbimento/desorbimento gas ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ) in un ampio range di T (da  $-196,15^\circ C$  fino a  $350^\circ C$ ) e P (vuoto fino a 150bars), SEM-EDS Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM Philips model XL30 S FEG) dotato di sonda EDX per determinare la composizione chimica dei campioni, TEM Philips CM12 con filamento di  $LaB_6$  e tensione di accelerazione di 120 kV, misure isoterme di adsorbimento/desorbimento  $N_2$  con Micromeritics ASAP 2020 in condizioni di temperature dell'azoto liquido, caratterizzazione delle proprietà termofisiche di materiali di accumulo termico (Mettler Toledo DSC1, Setaram Labsys Evo, DVS Vacuum), stazioni sperimentali per il testing di sistemi di management termico nei range 2-60 kW e software di simulazione dedicati (i.e. Comsol Multiphysics e Dymola/Modelica) ed un cluster di calcolo.

Alcune unità di personale sono coinvolte anche in un progetto PON per cui si prevede una piccola percentuale di sovrapposizione con questo progetto.

Banchi test per sviluppo sistemi di controllo, stazioni di prova sperimentali per caratterizzazione elettrica e camere per la caratterizzazione termo-climatica (-20 °C-+180 °C).

Il CNR-ICMATE dispone di strumentazione perfettamente rispondente alle esigenze delle attività di progetto. Per quanto riguarda la realizzazione dei campioni, presso la sede sono operative due macchine SLM (Renishaw, AM 400 e Sharebot), aventi condizioni operative complementari (grandi/piccoli volumi, due differenti potenze massime di fascio laser, modalità di scansioni preimpostate/modificabili,) che conferiscono un notevole grado di sicurezza circa l'ottenimento dei campioni desiderati, seppur si opererà su materiali per i quali non è disponibile una soluzione commerciale in termini di parametri di produzione. Per quanto riguarda la caratterizzazione microstrutturale dei campioni ottenuti, la sede dispone di tutte le attrezzature necessarie per la preparazione di sezioni micrografiche di materiale metallici e la loro caratterizzazione. In particolare, dispone di un microscopio FEG-SEM (SU70, Hitachi), corredato da rivelatore per elettroni secondari in camera ed in colonna, rivelatore per elettroni retro diffusi a quattro settori, e rivelatore per elettroni trasmessi, consentendo una prima caratterizzazione anche per sezioni sottili. Inoltre il sistema è completato da sonda EDX ed EBSD, per analisi simultanee di composizione e struttura cristallina rispettivamente. La sede dispone inoltre di un secondo SEM (Leo 1430, Zeiss), per osservazioni su campioni anche complessi e di dimensioni maggior, seppur con ingrandimento massimo minore, e di un microscopio ottico (Aristomet, Leica) dotato di fotocamera a colori ad alta risoluzione (Nikon), per una prima caratterizzazione delle microstrutture analizzate. Le informazioni raccolte a livello micrografico sono inoltre complementate dalle informazioni massive ottenute mediante diffrattometria a raggi x: la sede è infatti dotata di un diffrattometro operante con geometria Bragg-Brentato (X-pert, Philips) e dotato di due celle climatiche (Anton Paar) che consentono di eseguire misure sia a temperatura ambiente ma molto più interessante, anche a temperature comprese negli intervalli -100-400 °C e 25-1000 °C.

Il CNR-ISC possiede adeguate risorse strumentali per lo studio proposto nel presente progetto. In particolare, possiede: strumentazione Sievert per misure di assorbimento/desorbimento di idrogeno, termobilancia con spettrometro di massa per l'analisi dei gas desorbiti, calorimetro differenziale a scansione, apparato in ultra-alto vuoto per spettroscopia XPS. La Dr. Annalisa Paolone e Dr. Oriele Palumbo sono coinvolte nel progetto H2020 Si DRIVE, il cui termine è previsto al momento attuale il 31 gennaio 2023, quindi avranno al massimo una piccola sovrapposizione temporale con la presente proposta.

### 1.1.C CAPACITÀ E COMPETENZE

#### *UNIGE*

UNIGE parteciperà alle attività di progetto con 3 unità di personale di ruolo a tempo indeterminato (un professore ordinario, un professore associato e un tecnico di laboratorio) aventi comprovata esperienza nel design/prototipazione e nella modellazione di sistemi energetici innovativi e vedrà coinvolto l'utilizzo di tool in-house del gruppo TPG (WECOMP, TRANSEO per lo più ed HELM per lo studio in applicazioni navali) e dei laboratori idrogeno di UNIGE del campus di Savona.

Questi strumenti di ricerca sono attualmente coinvolti in passato in diversi progetti di ricerca tra cui:

- PON Tec-BIA (2018-2022 – finanziamento totale UNIGE 360 k€
- H2020 FLEXNCONFU (2020-2024 – finanziamento totale UNIGE 510 k€
- H2020 ENGIMMONIA (2021-2025 – finanziamento totale UNIGE 160 k€

Ai progetti di cui sopra, si aggiungono i finanziamenti relativi al laboratorio HI-SEA UNIGE-Fincantieri per la modellizzazione e lo studio sperimentale di sistemi celle a combustibile PEM a idrogeno (taglia 240 kW), inaugurato nel 2016 e attualmente operativo. Inoltre, il gruppo di ricerca UNIGE è sede dell'University Technology Center Fuel Cell Systems di Rolls-Royce plc UK dal 2004, e riceve finanziamenti per lo sviluppo teorico-sperimentale di celle a combustibile a bassa e alta temperatura, inclusi i sistemi ibridi.

Il Responsabile scientifico dell'obiettivo realizzativo affidato ad UNIGE è il prof. Aristide Massardo (SCOPUS Author ID: 7006343940 – ORCID ID:<https://orcid.org/0000-0002-2921-8746>), professore ordinario di Sistemi Energetici, già preside della Scuola Politecnica e responsabile di progetti industriali, europei e nazionali sulle tematiche riguardanti le tecnologie dell'idrogeno e delle celle a combustibile.

### 1.2.C QUALITÀ DELLE COLLABORAZIONI

#### *UNIGE*

UNIGE tramite il suo gruppo di ricerca TPG ([www.tpg.unige.it](http://www.tpg.unige.it)) è attiva nell'ambito della ricerca su sistemi energetici innovativi alimentati idrogeno sin dalla sua nascita, anche grazie ad attive collaborazioni in progetti co-finanziati internazionali ed industriali.

Nell'ambito del presente progetto UNIGE sarà impegnato sull'OR4 dove potrà valorizzare:

- Le proprie competenze di modelling (<http://www.tpg.unige.it/TPG/software/> )
- I propri laboratori (<http://www.tpg.unige.it/TPG/ies-laboratory/> )
- La propria esperienza ed approccio di ricerca ad alto trasferimento tecnologico, studiando i sistemi di stoccaggio idrogeno DRAGON sempre guardando al loro potenziale ingresso sul mercato e all'uso in applicazioni che non si limitino ai casi studio oggetto del progetto

I partner del progetto utilizzeranno quindi gli studi implementati da UNIGE per:

- Veder validate le performance (e i modelli) di idruri metallici, sistemi di scambio termico e di accumulo termico studiati in OR1-2-3, in un prototipo integrato che verrà realizzato presso i laboratori UNIGE-TPG di Savona.
- L'integrazione del prototipo trarrà vantaggio dai risultati di OR3 in team di sviluppo di strategie ottimizzate di gestione e controllo dei cicli termici e di carica/scarica del sistema di stoccaggio idrogeno
- Il prototipo integrato verrà poi testato attraverso una robusta campagna sperimentale in OR6
- I risultati di OR4.2-4.3-4.4 saranno rilevanti per OR7 per studiare l'impatto della tecnologia DRAGON e il suo futuro ingresso sul mercato

Nell'ambito dell'attività progettuale potrebbero essere anche previste collaborazioni con PM attive nel mondo delle tecnologie per la gestione dell'idrogeno oltre che di stakeholders pubblici/privati afferenti al network UNIGE-TPG, cercando anche di fare sinergia con i progetti EU attualmente in corso (e.g. ENGIMMONA, FLEXNCONFU) oltre che presentando i risultati a rilevanti attori industriali del tessuto industriale genovese che stano guardando con attenzione alle tecnologie dell'idrogeno (e.g. RINA, FINCANTIERI, ANSALDO GREEN TECH).

### 1.3.C RISORSE TECNICHE E ORGANIZZATIVE

#### *UNIGE*

Ai fini di svolgere attività di simulazione, TPG-DIME ha sviluppato diversi software originali, quali:

- W-TEMP – Web-based ThermoEconomic Modular Program, per l'analisi energetica, exergetica e termoeconomica di sistemi energetici tradizionali e innovativi al punto di progetto;
- W-ECOMP – Web-based Economic Cogeneration Modular Program, per la progettazione e l'ottimizzazione tempo-variante di sistemi energetici tradizionali e innovativi, inclusi quelli di cogenerazione;
- TRANSEO - Strumento basato su Matlab per la simulazione dinamica e lo sviluppo di sistemi di controllo.
- HELM – tool sviluppato in Matlab per l'analisi di scenari energetici a bordo di natanti

Ai fini di svolgere le attività sperimentali proposte in questo progetto, TPG utilizzerà le facilities presenti presso il campus di Savona in cui, in collaborazione con lo spin-off BluEnergy Revolution, TPG gestisce un laboratorio di prove unico nel suo genere per il test di sistemi fuel cell e di stoccaggio idrogeni (tra cui anche un sistema di gestione e monitoraggio idruri).

Il Gruppo si avvarrà della collaborazione del gruppo di ricerca dell'Università di Roma Tor Vergata (M.Gambini, M.Vellini) per attività relative alla modellazione dinamica di sistemi di accumulo di idrogeno basati su leghe metalliche (aspetti termici e di gestione di cicli di carica/scarica) per poter realizzare i propri studi di replicabilità in OR4.2-4.3, partendo da modelli per leghe "standard" (ad esempio LaNi<sub>5</sub>, MmNi<sub>5</sub>, MgH<sub>2</sub>) già sviluppati da questo gruppo di ricerca. La collaborazione potrà avvenire attraverso convenzioni di cui all'art. 6 comma 11 della legge 240/2010.

### 1.1.D CAPACITÀ E COMPETENZE

#### *UNIPAR*

L'Università degli Studi di Napoli Parthenope partecipa al progetto con il Dipartimento di Ingegneria e, in particolare, con il gruppo di ricerca Macchine e Sistemi Energetici MSE affiancato dal gruppo di Chimica e Ingegneria dei Materiali. Le attività di ricerca di entrambi i gruppi sono finalizzate a promuovere l'uso di tecnologie innovative capaci di coniugare le esigenze della disponibilità di energia a basso costo con le esigenze di sostenibilità ambientale: soluzioni per migliorare la qualità della vita, garantire la sostenibilità di prodotti e servizi, proporre modelli di economia circolare, minimizzare gli scarti e riutilizzare i materiali a fine vita. Le attività sono,



dunque, indirizzate a ideare, mettere a punto e sviluppare sistemi semplici, sicuri, affidabili e soprattutto economici: capaci di superare le barriere delle disuguaglianze economiche e rendere possibile l'offerta di tecnologie innovative a costi contenuti. L'impiego di tecniche di eco-progettazione, analisi del ciclo di vita e costi/benefici consente, inoltre, di realizzare sistemi multimodali verdi, puliti, economici e sicuri, capaci di incrementare il tasso di riciclo dei materiali utilizzati per la realizzazione dei veicoli e dei loro sistemi energetici di propulsione.

Il gruppo di ricerca è composto da 8 unità di personale a tempo indeterminato (3 PO, 3 PA, 2 RTD) e sarà integrato con due unità di personale a tempo determinato che saranno reclutate e dedicate al progetto (1 RTD/a e 1 collaboratore a progetto con assegno di ricerca). Attualmente il gruppo MSE coordina le attività di ricerca di 5 dottorandi e 4 collaboratori a progetto con assegno o borsa di studio. Il prof. Elio Jannelli, coordinatore del gruppo, vanta oltre trenta anni di esperienza nello sviluppo di sistemi e componenti per la conversione dell'energia con tecnologie a idrogeno. Ha registrato come inventore il già citato Brevetto n. 102019000005858 dal titolo "*Sistema di accumulo ibrido dell'energia per applicazioni stazionarie, mobili e propulsive*" con estensione internazionale WIPO WO2020213017 *Hybrid Energy Storage System with chemical/electrochemical dual technology for mobile, propulsive and stationary applications*. Principal Investigator e Responsabile Scientifico di numerosi progetti finanziati con fondi europei, ministeriali e regionali. La prof. Mariagiovanna Minutillo collabora al coordinamento delle attività di ricerca e sviluppo del gruppo MSE ed è particolarmente esperta nella modellazione termodinamica e termochimica di sistemi complessi e nella sperimentazione di celle a combustibile e sistemi di generazione e accumulo di idrogeno. Il prof. Ivan Arsie è esperto nella modellazione controllo e ottimizzazione di powertrain ibridi basati sull'integrazione di batterie e fuel cell. Il prof. Giovanni Di Ilio è esperto nella modellazione dinamica e fluidodinamica di componenti e sistemi energetici. Il prof. Claudio Ferone e la prof. Giuseppina Roviello sono esperti nella caratterizzazione chimico-fisica e meccanica di materiali polimerici ed inorganici. Il prof. Antonio Forcina e la prof. Antonella Petrillo sono esperti nell'applicazioni a sistemi complessi di modelli di *Lyfe Cycle Assessment* e *Cost Benefit Analysis*.

L'ammontare complessivo delle spese di ricerca e sviluppo sostenute dall'Università degli Studi di Napoli Parthenope per attività di ricerca fondamentale e ricerca industriale nell'ultimo triennio è di oltre 40 milioni di euro (3.766.742 € su 14 progetti europei, 14.501.612 € su 48 progetti nazionali e 2.030.891€ su 9 progetti regionali).

Di seguito si riporta un elenco dei progetti di ricerca e sviluppo realizzati negli ultimi 3 anni partecipati o coordinati dai componenti della sola unità di ricerca che partecipa al progetto. L'ammontare complessivo delle spese di ricerca e sviluppo sostenute utilizzando questi fondi è superiore a 3 milioni di euro.

- FuelSOME: Multifuel SOFC system with Maritime Energy vectors – Research and Innovation Action - Call EU-Horizon-CL5-2021-D2-0P, budget di progetto: 2.965.611 euro. Responsabile scientifico UniParthenope prof. Antonio Forcina.
- H2ICE: development of a hydrogen fueled hybrid powertrain for urban buses Bando MIUR PRIN 2020, budget progetto 767.483 euro. Responsabile scientifico UniParthenope prof. Ivan Arsie.
- e-SHyIPS: Ecosystem Knowledge in standards for hydrogen implementation on passenger ship – Research and Innovation Action - Call EU-H2020-JTI-FCH2020-1, budget di progetto: 2.500.000 euro. Responsabile scientifico UniParthenope prof. Giovanni Di Ilio
- H2PORTS: Implementing Fuel Cells and Hydrogen Technologies in Ports, FCH2-JU – Research and Innovation Action – Call EU-H2020-JTI-FCH2018-1, budget di progetto: 4.000.000 euro. Responsabile scientifico UniParthenope prof. Giovanni Di Ilio.
- HYLIVE: Hydrogen Light Innovative Vehicles - Bando Regione Campania POR FESR 2014/2020, budget di progetto: 2.000.000 euro. Coordinatore Progetto e Responsabile Scientifico prof. Elio Jannelli (UniParthenope)
- HERMES: High Efficiency Reversible technologies in fully renewable Multi-Energy System – Bando MIUR PRIN 2017, budget progetto 793.200 Responsabile scientifico UniParthenope prof. Elio Jannelli
- Consultazione per la revisione e il consolidamento delle linee strategiche di Ricerca e Innovazione nell'ambito di sviluppo "Automotive". POR CAMPANIA FSE 2014-2020 (2014IT055FOPO20). Costo complessivo progetto 510.000 Euro. Responsabile scientifico UniParthenope Prof. Mariagiovanna Minutillo
- SMITHS Vessel: Smart Innovative Technology for pitch and roll control devices on High Speed Vessels (Progetto Navi Veloci, Sviluppo di tecnologie innovative per la misura, la caratterizzazione e il controllo delle prestazioni degli scafi di navi veloci), Bando PON MISE CRESO H2020, budget di progetto: 3.047,342,50 euro. Coordinatore Progetto e Responsabile Scientifico prof. Elio Jannelli (UniParthenope)

## 1.2.D QUALITÀ DELLE COLLABORAZIONI

### UNIPAR

Il Gruppo Macchine e Sistemi Energetici (MSE) dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope ha consolidato negli ultimi anni specifiche competenze ed esperienze nello sviluppo di tecnologie per lo stoccaggio dell'idrogeno in idruri metallici. Le attività sono state indirizzate allo studio di configurazioni e geometrie di serbatoi capaci di ottimizzare sia la quantità di idrogeno stoccabile, sia la risposta dinamica delle fasi di assorbimento e desorbimento dell'idrogeno, intervenendo anche sulla gestione termica dei processi. Sono state studiate geometrie capaci di incrementare la superficie di scambio termico in sistemi passivi a convezione naturale e geometrie più compatte in sistemi dotati di impianti ausiliari di condizionamento termico. Per queste ultime soluzioni sono state studiate anche soluzioni ibride di stoccaggio dell'energia per veicoli elettrici: soluzioni basate sull'integrazione di serbatoi a idruri e batterie al litio, con configurazioni geometriche e dimensionali capaci di realizzare il mutuo condizionamento termico durante il funzionamento del veicolo. Infatti, nei veicoli elettrici con powerunit ibride (PFCEV: Plug In Fuel Cell Electric Vehicle) le batterie sono utilizzate nei transitori di potenza e le celle a combustibile forniscono sia l'energia richiesta dal profilo di missione, sia quella per la ricarica delle batterie. In questi veicoli le batterie devono essere efficacemente raffreddate, sia durante l'erogazione di corrente nei transitori di potenza che durante la ricarica. Dimensionando opportunamente i serbatoi ibridi è possibile raffreddare le batterie e riscaldare l'idruro nella fase di desorbimento, ottimizzando la gestione termica di entrambi i componenti. Il sistema ideato dai Ricercatori di UniParthenope è stato anche oggetto di registrazione di un brevetto industriale n. 102019000005858 dal titolo "*Sistema di accumulo ibrido dell'energia per applicazioni stazionarie, mobili e propulsive*" con estensione internazionale WIPO WO2020213017 *Hybrid Energy Storage System with chemical/electrochemical dual technology for mobile, propulsive and stationary applications*. Le attività di ricerca fondamentale hanno poi indirizzato le successive fasi di sviluppo di serbatoi per specifiche applicazioni nel settore della mobilità leggera (biciclette, scooter, trattorini industriali), mettendo a punto soluzioni idonee a garantire elevate autonomie anche per veicoli utilizzabili nella logistica dell'ultimo miglio. In questo progetto è previsto lo sviluppo di sistemi di stoccaggio idrogeno per applicazioni automotive che utilizzano lo stesso principio di funzionamento della mutua gestione termica di idruri e batterie.

Tutte le attività di sviluppo sono state condotte utilizzando idruri commerciali che presentano oggi elevati costi e prestazioni dei materiali non ottimizzate per le specifiche prestazioni. La collaborazione con gli altri partner di progetto (UNITO e CNR) permetterà di sperimentare anche materiali innovativi allo scopo di incrementare le prestazioni in termini di densità volumetrica e, soprattutto gravimetrica dei sistemi di accumulo idrogeno in idruri. Il Gruppo si avvarrà della collaborazione del gruppo di ricerca dell'Università di Sassari (prof. Gabriele Mulas) per la caratterizzazione delle leghe da utilizzare per il prototipo dimostratore. La collaborazione potrà avvenire attraverso convenzioni di cui all'art. 6 comma 11 della legge 240/2010.

Per portare i prototipi di laboratorio fino alla scala pilota sarà utilizzata la rete di collaborazione Atena e, quindi, le competenze e le attrezzature presenti nel Centro Ricerche di Ponticelli e presso le aziende associate. Atena ha sede legale presso il Dipartimento di Ingegneria di UniParthenope ed è partecipata anche da altre università ed enti di ricerca co-proponenti (UniGE ed ENEA). Il Distretto Atena promuove ambienti innovativi e culturalmente dinamici in cui università e imprese assumono ciascuno il proprio ruolo per l'obiettivo comune dello sviluppo della società attraverso processi di coevoluzione in linea con la visione della Commissione Europea che riconosce il ruolo fondamentale della ricerca quale elemento trainante per lo sviluppo socioeconomico. Atena ha trasformato un opificio industriale in un centro di ricerca, valorizzando le collaborazioni università-impresa (coworking) creando joint lab, fab lab e maker space per lo sviluppo sinergico delle tecnologie del futuro e per la formazione on the job. La collaborazione con Atena e con i suoi soci consentirà di eseguire tutte le lavorazioni meccaniche necessarie per portare i prototipi di laboratorio fino alla scala pilota e di testarli in laboratorio per la verifica delle condizioni operative reali.

La percentuale dell'ammontare complessivo delle spese del progetto a carico di UniParthenope per la realizzazione dei *Sistemi di stoccaggio idrogeno per applicazioni di mobilità* (OR5) è di circa il 21%. La percentuale per le prestazioni dei prestatori di servizi sui costi dell'OR5 è inferiore al 12%.

## 1.3.D RISORSE TECNICHE E ORGANIZZATIVE

### UNIPAR

Le attività di ricerca dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope saranno condotte utilizzando il laboratorio di Sistemi Energetici ed il laboratorio interdipartimentale di Chimica e Ingegneria dei Materiali. Nei laboratori sono già disponibili apparecchiature e strumentazioni adeguate per l'esecuzione delle attività di ricerca fondamentale necessarie per lo sviluppo di sistemi di stoccaggio idrogeno per applicazioni di mobilità descritto nell'OR5.

In particolare, per la caratterizzazione chimico-fisico-meccanica delle polveri di idruro prima del riempimento e dopo l'attivazione saranno utilizzati strumenti per l'analisi termogravimetrica (TGA), un calorimetro differenziale a scansione (DSC), un microscopio elettronico a scansione (SEM con EDX), una bilancia di precisione su tavolo inerziale, una termobilancia, uno spettrometro FT-IR con ATR, un Diffrattometro RX, un dinamometro, una termocamera HD e le Glove Box per operare in atmosfera inerte. Per la realizzazione dei pacchi batterie da integrare ai serbatoi a idruri saranno utilizzati banchi di lavoro con saldatrice a punti da banco e cappe di aspirazione, stampanti 3D per la prototipazione rapida degli alloggiamenti di batterie e tubi. Per la realizzazione dei serbatoi per il contenimento degli idruri, per le testate di collegamento e per i sistemi di condizionamento termico ausiliari saranno utilizzati i centri di lavoro computerizzati disponibili presso i soci di Atena. L'attivazione dei serbatoi sarà eseguita con idrogeno prodotto da elettrolizzatori PEM disponibili nei laboratori di UniParthenope presso il Centro Ricerche di Ponticelli. Le attività sperimentali saranno condotte utilizzando i banchi prova per il flussaggio dei serbatoi e sistemi di prova per fuel cell e batterie già disponibili.

UniParthenope dispone inoltre dei seguenti laboratori, allestiti nel centro di ricerche di Ponticelli con apparecchiature tecnologiche di ultima generazione:

- *un laboratorio modellazione solida e prototipazione* attrezzato con potenti workstation grafiche, sistemi di scansione 3D, stampanti e plotter laser, sistemi latek e unità di prototipazione rapida di grande formato;
- *una sala prova per la sperimentazione di sistemi ibridi di propulsione* attrezzato con banco prova AVL PUMA, freno dinamico AVL per prova motori elettrici e termici fino a 160kW, rilievo ciclo indicato, consumo combustibile, consumo olio, misura del blow-by;
- *una sala prova m.c.i. stazionaria* attrezzato con banco prova e freno a correnti parassite Borghi e Saveri per prova motori fino a 200 kW, rilievo ciclo indicato, analisi emissioni; strumentazioni di misura portata aria, bilancia consumo combustibile, principali parametri motoristici;
- *un laboratorio per la sperimentazione di celle a combustibile a bassa temperatura* attrezzato con due banchi prova monocella BT e HT, un banco prova per stack PEM fino a 2,5 kW, un banco prova reformer; un gascromatografo a doppia colonna;
- *un laboratorio celle a combustibile ad alta temperatura* attrezzato con due banchi prova monocelle MCFC, banco prova per stack SOFC fino a 5kW, banco prova SOFC reversibili con short stack da 100 W, un sistema di poligenerazione SOF da 2,5 kW;
- *un laboratorio sistemi propulsivi elettrici e a idrogeno* attrezzato con banchi prova per potenze fino a 5 kW, banchi prova sistemi di accumulo a idruri metallici; banchi prova convertitori;
- *un laboratorio per lo sviluppo di celle microbiche* attrezzato con banchi prova per monocelle e stack, potenziostato per la caratterizzazione degli elettrodi, misuratori di pH, temperatura, etc.;
- *un laboratorio materiali* attrezzato con strumentazioni per la caratterizzazione termica e mineralogica dei materiali, per la produzione di elettrodi in materiale composito a matrice polimerica, impastatrici e forni di essiccazione;
- *un laboratorio elettronica* attrezzato con oscilloscopi, tester ed altre strumentazioni;
- *un'officina meccanica* con tornio, frese, trapani a colonna, filettatrici elettriche ed altre macchine utensili.

Per quanto attiene alle risorse organizzative, UniParthenope ha un ufficio dedicato alla gestione di progetti di ricerca e procedure chiare per la gestione delle attività. Il Responsabile Scientifico dell'obiettivo realizzativo avrà la responsabilità di assicurare l'allocazione ed il coinvolgimento delle risorse previste dal Piano di Project Management, autorizzare l'organizzazione delle attività di ricerca assicurare il supporto nel superamento delle eventuali barriere organizzative, coordinare il rapporto con i consulenti e i collaboratori esterni. Il Responsabile Scientifico del progetto garantirà l'efficace conduzione del progetto, curerà il coordinamento legale, finanziario, amministrativo, etico e tecnico; provvederà alla comunicazione e alle modalità di reporting, monitorerà lo stato di avanzamento e riferirà all'ufficio progetti di Ateneo per gestire le conoscenze acquisite e la proprietà intellettuale.

Durante l'intera durata del progetto il responsabile scientifico coordinerà l'applicazione della procedura di gestione delle conoscenze, competenze e tecniche affinché il progetto venga eseguito efficacemente ed efficientemente sulla base delle cinque fasi che caratterizzano qualsiasi progetto: inizio, pianificazione, esecuzione, monitoraggio e controllo, chiusura. Il progetto ha individuato gli obiettivi e le finalità da raggiungere in accordo con i consulenti, sin dalla costruzione e preparazione della proposta progettuale.

Il Responsabile scientifico dell'obiettivo realizzativo (OR5) affidato ad UniParthenope è il prof. Elio Jannelli, Scopus Author ID: 6602640307; <http://orcid.org/0000-0002-8605-9905>. Ordinario di Sistemi Energetici, componente del Comitato Nazionale di Valutazione della Ricerca (CNVR) del Ministero dell'Università e della Ricerca, Amministratore Unico di ATENA scarl – Distretto Alta Tecnologia Energia e Ambiente. Direttore del Laboratorio di Sistemi Energetici. Già Presidente del Comitato scientifico di ATENA ([www.atenaweb.com](http://www.atenaweb.com)) dal 2014 al 2017 e Prorettore alla Ricerca scientifica dal 2017 al 2021. Coordinatore del corso di Dottorato in Energy Science and Engineering (ESE) fino al 2013. Coordina il Gruppo di "Macchine e Sistemi Energetici" formato da più di 25 ricercatori, tra docenti, collaboratori a tempo determinato e dottorandi. Esperto di sistemi ibridi che

integrano energie rinnovabili e tecnologie a idrogeno e celle a combustibile per applicazioni mobili, stazionarie e propulsive. Ha sviluppato metodologie di analisi termo-economiche e codici di calcolo per la modellazione delle prestazioni e l'ottimizzazione di sistemi di poligenerazione in tutte le condizioni operative. I risultati dell'attività di ricerca hanno portato allo sviluppo di numerosi prototipi: gruppi di continuità a idrogeno; sistemi di microgenerazione con celle a combustibile integrate con reformer di gas naturale; sistemi energetici reversibili per applicazioni aeronautiche sistemi di propulsione ibridi per veicoli leggeri; cartucce innovative per lo stoccaggio di idrogeno a bassa pressione; generatori di energia elettrica con celle microbiche. Ha coordinato oltre 30 progetti di ricerca come PI. Negli ultimi anni ha gestito un budget per R&S di circa 30 M€ e ha ottenuto 15 M€ dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca per la costituzione del primo Centro di ricerca sulle tecnologie "Fuel Cell" in Campania. La sua attività scientifica è incentrata su tematiche inerenti i sistemi energetici convenzionali ed innovativi (fuel cell) per la produzione di energia elettrica e/o termica, i motori a combustione interna, le tecnologie basate sull'impiego delle fonti rinnovabili e quelle basate sulla produzione ed utilizzo dell'idrogeno. Le competenze sono provate dalle oltre 140 pubblicazioni nazionali e internazionali e dal fatto che è revisore esperto per molte riviste internazionali. È stato responsabile scientifico di numerosi progetti di ricerca che hanno portato alla messa a punto e sviluppo di prototipi su scala da laboratorio per i quali, in molti casi, si è passati alla fase di trasferimento tecnologico.

La consistenza del gruppo di Ricerca (oltre 25 unità di personale tra dipendenti a tempo determinato e con contratto di collaborazione) assicurano la compatibilità di questo progetto con i già citati tre progetti europei e con il progetto PRIN che dovranno essere realizzati nello stesso arco temporale del presente progetto. L'articolazione temporale delle attività previste per la realizzazione dell'obiettivo realizzativo non comporta sovrapposizioni temporali con altri progetti e consente di assicurare il rispetto dei vincoli di durata del progetto, a norma di quanto previsto dall'Avviso.

Il Gruppo si avvarrà della collaborazione del gruppo di ricerca dell'Università di Sassari (G.Mulas) per attività relative alla caratterizzazione dei materiali da utilizzare nel PROTOTIPO 4. La collaborazione potrà avvenire attraverso convenzioni di cui all'art. 6 comma 11 della legge 240/2010.

### 1.1.E CAPACITÀ E COMPETENZE

#### *ENEA*

L'ENEA impiega attualmente oltre 2.300 persone, dislocate in 11 centri di ricerca in tutta Italia. I profili più rappresentativi sono ricercatori e tecnologi con 1423 unità e 850 unità di collaboratori tecnici e operatori. Il Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (TERIN) conduce studi, ricerca e sviluppo di tecnologie, metodologie, processi, prodotti e impianti prototipali con l'obiettivo di aumentare la quota di fonti di energia rinnovabili e differenziare le fonti energetiche nel medio-lungo termine riducendo le emissioni inquinanti, favorendo la decarbonizzazione energetica, aumentando l'efficienza energetica e riducendo il costo dell'energia. Il personale di TERIN ha una riconosciuta esperienza nel campo della produzione e utilizzo dell'idrogeno pulito, smart sector integration, ottimizzazione degli usi finali, sostenibilità e resilienza nella filiera energetica.

Negli ultimi 10 anni l'ENEA ha partecipato a circa 1.120 progetti, con una percentuale media di successo del 21% nei bandi UE nel periodo 2014-2020, superiore alla media dei partecipanti italiani (13,2%) e di quella UE (11,9%). La percentuale di successo dei progetti coordinati è del 17% (media IT 8,6%). I progetti finanziati dal programma H2020 danno un contributo di circa 27,3 milioni di euro; ulteriori 6 milioni di euro derivano da progetti finanziati dai bandi del programma Euratom di fissione e radioprotezione, oltre a 1,8 milioni di euro derivanti dalla partecipazione ai progetti della JTU Fusion4Energy. Nel 2020 l'ENEA ha coordinato 28 progetti, pari al 17% dei 169 partecipanti, gestendo per questi progetti un budget complessivo di circa 74 milioni di euro.

Nel settore specifico della ricerca e sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno, ENEA partecipa e coordina numerosi progetti, sia a livello nazionale che europeo. In particolare, negli ultimi 3 anni ENEA ha svolto attività di ricerca nell'ambito della Ricerca sul Sistema Elettrico Nazionale (finanziamento ENEA 66,0 M€) sviluppando tecnologie innovative per la produzione di idrogeno basate su percorsi elettrochimici e termochimici e studiando diverse soluzioni di P2G per la flessibilità della rete; tecnologie rinnovabili per aumentare la flessibilità della rete; tecnologie e sistemi per l'accumulo di energia (elettrochimica e termica) focalizzati su materiali avanzati per batterie; celle solari ad alta efficienza e materiali innovativi per applicazioni fotovoltaiche; sviluppo di reti intelligenti, CCUS, comunità energetiche, mobilità elettrica, ecc. ENEA è il beneficiario di un progetto finanziato da Mission Innovation, Hydrogen demo Valley, che ha l'obiettivo di realizzazione il primo ecosistema ad idrogeno nazionale, che al tempo stesso rappresenta un cluster, replicabile, in cui implementare e sperimentare strategie di gestione coordinata del connubio domanda-offerta di idrogeno. Tale progetto vede un contributo di 14 M€ per la realizzazione dell'infrastruttura. Infine, lo scorso marzo, è stato sottoscritto un Accordo di Programma (AdP) tra

MiTE ed l'ENEA per attività di R&S sull'idrogeno verde e pulito nell'ambito del PNRR Piano Ricerca idrogeno (finanziamento ENEA: 75 M€).

A livello europeo, ENEA partecipa a diversi progetti finanziati dall'UE sui temi del settore idrogeno, quali: AD ASTRA, SO-FREE, PROMETEO, BLAZE, Waste2Watts, Waste2Grids, qSOFC, HyLAW, BALANCE, NELLHI, SOCTESQA, INNOSOFC, SCoReD 2.0, COMETHY, ASCENT, MCFC-CONTEX, e-SHyIPS, H2Ports. Dal 2008 ad oggi, ENEA ha partecipato e coordinato 16 progetti di collaborazione (di cui 12 finanziati dall'UE, 6 dei quali in qualità di coordinatore), contribuendo alla creazione di una catena del valore europea sullo sviluppo di sistemi e tecnologie dell'idrogeno e di celle a combustibile, esplorando concept innovativi di produzione di componenti e integrazione di sistemi, con un contributo di circa 8 M€.

Oggi i principali progetti di ricerca sull'idrogeno afferiscono al Laboratorio Accumulo di Energia, Batterie e tecnologie per la produzione e l'uso dell'Idrogeno, del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili, attraverso il quale l'ENEA svolge attività di ricerca, sviluppo, sperimentazione e qualificazione sull'intera catena del valore dell'idrogeno, dalla produzione agli usi finali. Una delle principali linee di ricerca riguarda la produzione di idrogeno da fonte rinnovabile con attività relative a: ricerca di base sui materiali alle valutazioni tecnico-economiche di sistema, modellazione teorica dei componenti, progettazione e realizzazione di prototipi operanti in condizioni reali, con l'obiettivo ultimo di favorire l'affermazione dell'intero sistema a idrogeno da un punto di vista tecnico, economico e ambientale.

Il gruppo di ricerca impegnato sul progetto è composto da 11 unità di personale (9 ricercatori e 2 tecnici); tali unità coinvolte dispongono di specifiche competenze nell'ambito dei sistemi energetici e una consolidata esperienza nel testing e caratterizzazione di sistemi basati su tecnologie a idrogeno per applicazioni stazionarie e nella mobilità.

Il personale tecnico di ENEA dispone delle capacità e competenze per gestire e collaborare con soggetti terzi, grazie alla capacità tecnologica, sperimentale e gestionale, come risultato di anni di attività di ricerca e sviluppo nel settore.

## 1.2.E QUALITÀ DELLE COLLABORAZIONI

### *ENEA*

L'ENEA è presente, come rappresentante per l'Italia, in numerosi organismi europei, intergovernativi, organismi di regolamentazione e iniziative internazionali volte a promuovere lo sviluppo delle energie pulite. In questo contesto, ENEA è coinvolta da diversi anni, in qualità di membro o rappresentante nazionale, in comitati esecutivi e gruppi di lavoro di esperti che si occupano di ricerca e sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno, quali:

- Clean Hydrogen Partnership, nella quale ENEA partecipa per la costruzione delle roadmap nei vari settori di sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno e delle celle a combustibile;
- European Energy Research Alliance (EERA) Joint Programme su celle a combustibile e idrogeno, nel quale ENEA partecipa su diversi tavoli;
- IEA TCP Hydrogen, in cui il Task 35 Renewable Hydrogen Production dedicato alla produzione di idrogeno da rinnovabile;
- IEA TCP Advanced Fuel Cells, in cui coordina l'Annex 33 dedicato alle applicazioni stazionarie e partecipa agli Annex 32 (Celle ad ossidi solidi) e Annex 36 (Modellazione dei sistemi FC);
- Clean Hydrogen Alliance, piattaforma per l'idrogeno dell'Unione Europea che riunisce al suo interno industria, ricerca, istituzioni pubbliche e società civil;
- Mission Innovation IC 8 (Renewable and Clean Hydrogen), nel quale ENEA partecipa con propri esperti al GdL istituito presso il MiSE (che vede anche la partecipazione di membri CNR, RSE, inter alia) per rappresentare l'Italia nella Innovation Challenge sull'idrogeno, piattaforma intergovernativa che promuove la collaborazione e il coordinamento internazionale con l'obiettivo di accelerare lo sviluppo di un mercato globale dell'idrogeno, identificando e superando le principali barriere tecnologiche alla produzione, distribuzione, stoccaggio e uso dell'idrogeno su larga scala;
- Clean Hydrogen Mission, nell'ambito di Mission Innovation 2.0, coordinata da ENEA a livello nazionale;
- IPHE, International Partnership of Hydrogen Economy, in cui ENEA partecipa a supporto del MiTE;

L'ENEA è membro del Technical Committee on Fuel Cells (IEC TC105) della International Electrotechnical Commission e Convenor del Working Group 13 on Reverse Fuel Cell Stacks and Systems, che operano in materia di standardizzazione e trasferimento tecnologico all'industria e alla regolamentazione transnazionale. I ruoli ricoperti da ENEA consentono all'Agenzia di mantenere una posizione di assoluto rilievo a livello internazionale, nonché di rafforzare il network con i diversi stakeholder di settore.

A livello nazionale, l'ENEA è presente in tutti i Gruppi di Lavoro sull'Idrogeno istituiti dal MiTE (Trasporti, Energia e Regolazione) che vedono la partecipazione dei principali stakeholder italiani. L'ENEA fornisce consulenza al MiTE anche sotto forma di Technology Brief su idrogeno e celle a combustibile e tecnologie correlate, è membro direttivo dell'Associazione nazionale dell'idrogeno (H2IT) e svolge attività di supporto e consulenza tecnico-scientifica a supporto del Ministero dello Sviluppo Economico italiano nell'ambito degli Importanti Progetti di Comune Interesse Europeo (IPCEI) sull'idrogeno.

Infine, ha finalizzato un accordo strategico con Confindustria, nel cui contesto è stato condotto uno studio per la valutazione del potenziale di utilizzo dell'idrogeno in diversi settori industriali.

L'ENEA ha in essere accordi quadro e collaborazioni industriali per lo sviluppo delle tecnologie ed il trasferimento tecnologico: ARCO, ERREDUE GAS, ENI, ENEL GREEN POWER, ENEL X, SNAM, FINCANTIERI, GRIMALDI, HYDEP, Maire Tecnimont (Nextchem), MCPHY, SAPIO, SGI, SIAD, SOLID POWER, Toyota Material Handling Manufacturing Italy, TRENITALIA, FIORENTINI GAS, ARISTON, BOSH, ICI CALDAIE, RINA/CSM, SAIPEM, FBK.

La collaborazione con gli altri partner di progetto (UNITO, CNR, UNIGE e UNIPAR) permetterà di sperimentare soluzioni innovative di sistemi di accumulo di idrogeno, ad elevate prestazioni in termini di densità volumetrica e, soprattutto gravimetrica dei sistemi di accumulo idrogeno in idruri.

La percentuale dell'ammontare complessivo delle spese del progetto a carico di ENEA per il testing e la validazione dei sistemi di stoccaggio idrogeno per applicazioni stazionarie e di mobilità (OR6) è di circa il 12%. La percentuale per le prestazioni dei prestatori di servizi sui costi dell'OR6 è inferiore al 12%.

### 1.3.E RISORSE TECNICHE E ORGANIZZATIVE

#### *ENEA*

L'ENEA dispone di laboratori avanzati, impianti sperimentali e strumentazioni di eccellenza che saranno utilizzati per lo svolgimento del seguente progetto, con particolare riferimento alla realizzazione di studi, prove, valutazioni, analisi e servizi di formazione e valorizzazione dei risultati. ENEA dispone di laboratori attrezzati per il testing di diverse tecnologie e sistemi, quali banchi prova per la valutazione delle performance di celle a combustibile a bassa ed alta temperatura, banchi prova per il testing di sistemi di elettrolisi, e banchi prova per il testing di sistemi di accumulo con idruri metallici. Le risorse strumentali e le apparecchiature scientifiche che verranno utilizzate sono idonee e rispondenti alle attività di ricerca e sviluppo a carico di ENEA.

ENEA dispone di procedure organizzative ottimizzate per la gestione dei progetti di ricerca e sviluppo e delle relative attività, quali: pianificazione delle risorse umane, tecniche e finanziarie su proposta del responsabile di progetto ed autorizzata dal diretto responsabile organizzativo; assegnazione delle attività al personale ed impostazione del sistema di contabilità delle ore (time sheet), su richiesta del responsabile organizzativo ed operata dal personale di supporto alla gestione dei progetti; acquisizione delle risorse finanziarie su richiesta del delegato, assegnazione da parte dell'amministrazione centrale e, tramite processi di approvvigionamento, acquisizione di beni e servizi; controllo su avanzamento tecnico - economico del progetto a cura del responsabile del progetto; predisposizione del rendiconto finanziario, a cura del personale di supporto alla gestione dei progetti, sulla base delle evidenze contabili rilevate (time sheet, fatture, pagamenti); emissione del rendiconto finanziario.

Il Responsabile scientifico dell'obiettivo realizzativo affidato ad ENEA è l'ing. Viviana Cigolotti, Scopus Author ID: 24178405900, <https://orcid.org/0000-0002-3262-1288>, ricercatrice del Laboratorio Accumulo di Energia, Batterie e tecnologie per la produzione e l'uso dell'Idrogeno, del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili, e responsabile di progetti europei e nazionali sulle tematiche riguardanti le tecnologie dell'idrogeno e delle celle a combustibile. I suoi principali temi di ricerca riguardano lo studio delle tecnologie dell'idrogeno e delle celle a combustibile per diverse applicazioni e casi d'uso. La sua principale esperienza è nella produzione, accumulo e utilizzo di idrogeno in applicazioni stazionarie (cogenerazione e poligenerazione (elettricità, calore e freddo) e per applicazioni mobili e/o trasportabili. In particolare, ha esperienza nella ricerca e sviluppo di celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFC) per applicazioni stazionarie, celle a combustibile ad elettrolita polimerico (PEM FC) per applicazioni mobili; concentrazione e separazione di CO<sub>2</sub> tramite tecnologia MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell), sistemi di accumulo di energia mediante idruri metallici e celle microbiche (MFC) per il trattamento dei rifiuti organici. Coordina e partecipa a diversi progetti nazionali ed europei incentrati sull'implementazione delle tecnologie dell'idrogeno e delle celle a combustibile in diverse applicazioni, in collaborazione con enti di ricerca, università e player industriali di rilievo internazionale. È rappresentante italiano del Technology Collaboration Programme Advanced Fuel Cell della IEA ([www.ieafuelcell.com](http://www.ieafuelcell.com)) e Operating Agent dell'Annesso 33 – Fuel Cell for Stationary Applications; rappresentante ENEA in Hydrogen Europe Research ([www.hydrogeneurope.eu/research/](http://www.hydrogeneurope.eu/research/)) e Coordinatore della Roadmap 3 "Role of Electrolysis" del TC1 "Hydrogen Production" in qualità di membro di Hydrogen Europe Research. È revisore di progetti europei Horizon 2020 e Horizon Europe e di articoli scientifici su riviste internazionali di settore. È autrice di numerosi articoli

scientifici nei settori sopra citati su riviste o atti di convegni internazionali. È membro del comitato editoriale di alcune riviste scientifiche. È Chairman della conferenza internazionale European Fuel Cells and Hydrogen Piero Lunghi Conference, 2021 ([www.europeanfuelcell.it](http://www.europeanfuelcell.it)). E' European Project Manager presso ATENA Scarl - High-Technology District for Energy and Environment ([www.atenaweb.com](http://www.atenaweb.com)).

La consistenza del gruppo di ricercatori presenti nel Dipartimento TERIN assicurano la compatibilità di questo progetto con i già citati progetti europei e con i progetti nazionali che dovranno essere realizzati nello stesso arco temporale del presente progetto. L'articolazione temporale delle attività previste per la realizzazione dell'obiettivo realizzativo non comporta sovrapposizioni temporali con altri progetti e consente di assicurare il rispetto dei vincoli di durata del progetto, a norma di quanto previsto dall'Avviso.

## 2. QUALITÀ DEL PROGETTO

*(Nel caso di progetto congiunto fornire le seguenti informazioni per singolo soggetto proponente)*

### 2.1.A VALIDITÀ TECNICA

#### *UNITO*

La principale innovazione apportata da Unito nell'OR1 è la realizzazione di idruri metallici innovativi la cui formulazione verrà opportunamente adeguata alla gestione dell'idrogeno a tutti i livelli: purificazione, compressione e stoccaggio. Si rende quindi necessario sviluppare materiali che garantiscano bassi costi e alta efficienza a basse temperature (T) e pressioni (p), con un'adeguata gestione del calore per migliorare l'efficienza del ciclo.

Una ampia letteratura è attualmente disponibile sugli idruri metallici, ma sono ancora presenti molti spazi di innovazione in particolare andando a ottimizzare le composizioni anche partendo da calcoli ab inizio e Calphad. A seconda della applicazione, differenti saranno le tipologie di MH utilizzate, quindi l'innovazione sarà apportata a differenti livelli.

1) purificazione. L'innovazione proposta è nello sviluppo di leghe a partire da MmNi5 con sostituzioni per aumentare la capacità di assorbire impurezze preservando le polveri usate per l'immagazzinamento di H<sub>2</sub>. In letteratura ci sono pochi studi legati all'avvelenamento di queste leghe, si rende quindi necessario uno studio più sistematico.

2) immagazzinamento. Per la miglior gestione del ciclo di assorbimento/desorbimento e per una riduzione dei costi di gestione è necessario spostarsi verso MH che operino vicino a temperatura e pressione ambiente il cui svantaggio principale è la capacità gravimetrica limitata (ad es. 1.3% in peso di H per LaNi5). Innovazione apportata: nuove formulazioni con capacità di immagazzinamento vicino al 2% in peso per applicazioni stazionarie con conseguente riduzione dei costi del sistema di stoccaggio. TiFe verrà opportunamente sostituito con V e/o Mn o altri elementi che riducano le temperature di stoccaggio aumentando la capacità gravimetrica. Inoltre, si studierà il livello di impurezze e fasi secondarie necessarie a ottenere facili vie di attivazione (elevata cinetica, basse temperature di attivazione e basse pressioni di H<sub>2</sub> richieste). Infine, si lavorerà per la ricerca di sostituenti che garantiscano una riduzione dei costi, limitando l'uso di Critical Raw Materials (CRM).

3) compressione. Principale avanzamento è rappresentato dalla formulazione di nuovi idruri metallici che garantiscano pressioni di desorbimento pari a 350 bar o superiori a T minori di 150°C. Le leghe TiCr2 verranno sostituite con Mn, Ni, V, Fe o altri elementi individuati tramite simulazione.

4) accumulo di calore. Non sono al momento studiati in letteratura MH per lo specifico scopo di immagazzinamento di calore. L'innovazione proposta è evidenziata dallo sviluppo di idruri metallici che possano assorbire calore in modo reversibile con costi associati inferiori a 15 €/kg, efficienza energetica superiore a 95%, temperatura di esercizio inferiore a 200 °C) e densità di energia volumetrica superiore a 80 kWh<sub>th</sub>/m<sup>3</sup>.

Un elemento di validità del progetto per quanto riguarda l'OR7 è rappresentato, in particolare, dall'obiettivo di prestare consulenza sotto il profilo giuridico agli autoconsumatori di energia rinnovabile che vogliano costituire CER o realtà di autoconsumo di energia rinnovabile declinando la possibilità, riconosciuta dal d.lgs. 199 del 2021, di produrre e accumulare energia elettrica rinnovabile per il proprio consumo attraverso la realizzazione di impianti di produzione a fonti rinnovabili direttamente interconnessi all'utenza del cliente finale (e, in virtù delle modifiche introdotte dal disegno di legge di conversione in legge del d.l. 17 del 2022, c.d. "decreto bollette", direttamente interconnettibili all'utenza del cliente finale anche con collegamento diretto), scegliendo di installare impianti di produzione di idrogeno verde. Per la parte economica: non vi sono al momento studi sull'impatto della EU taxonomy sull'idrogeno verde. Manca, in particolare, un'analisi approfondita del settore trasporti e di come

potrebbe variare la competitività dei veicoli a idrogeno (specialmente a lunga percorrenza) rispetto ai veicoli elettrici tenendo conto dei materiali rari, il rischio paese e i costi connessi ai due investimenti. Inoltre verrà valutata la profittabilità dell'idrogeno per lo stoccaggio di rinnovabili, con particolare riferimento alle comunità energetiche di autoconsumo tramite un'analisi della letteratura e dei dati disponibili.

## 2.2.A RISULTATI ATTESI

### UNITO

In generale per OR1 sviluppato da Unito i risultati attesi sono legati allo sviluppo di MH innovativi che presentano, rispetto alle leghe già presenti in letteratura i seguenti vantaggi: i) capacità di immagazzinamento vicino a 2% in peso in condizioni di T e p vicino a ambiente; ii) riduzione dei costi di MH (inferiori a 40€/kg), iii) temperature di immagazzinamento inferiori a 50°C, iv) pressioni di assorbimento/desorbimento di 20/2 bar, compatibili con un elettrolizzatore commerciale a monte e una cella a combustibile a valle, v) facile processo di attivazione (cicli a temperatura vicina a T ambiente con basse pressioni di H<sub>2</sub>), vi) aumento della pressione di equilibrio a T inferiori a 150 °C fino a 350 bar per MH per la compressione di H<sub>2</sub>.

Uno dei risultati attesi dal progetto di ricerca proposto nell'ambito del OR7 è rappresentato dall'incremento delle CER e delle realtà di autoconsumo energetico nello specifico con riguardo all'installazione di impianti di produzione di idrogeno verde. Si intende favorire tale crescita attraverso l'attività di supporto sotto il profilo giuridico che sarà possibile prestare agli autoconsumatori di energie rinnovabile. Altro risultato che si ritiene concretamente raggiungibile è rappresentato dall'assistenza che si potrebbe prestare alle Regioni e alle province autonome, titolari dei progetti di riconversione di aree industriali dismesse per la realizzazione di centri di produzione e distribuzione di idrogeno, nello svolgere l'attività di integrazione delle informazioni desumibili dai citati progetti con quelle disponibili in altre banche dati, quali, ad esempio, le esistenti Banche dati del riuso. Tutto questo anche nella prospettiva di agevolare maggiormente il recupero e il riuso delle aree anche nell'ottica di contribuire a risolvere il problema concreto della carenza di infrastrutture abilitanti necessarie per la mobilità ad idrogeno. Per la parte economica, ci si attende una valutazione di net present values o internal rate of return di tecnologie di trasporto basate su idrogeno comparate a tecnologie esistenti. Infine ci si attende di sensibilizzare i cittadini e decisori sulle potenzialità dei sistemi di stoccaggio dell'energia prodotta dalle comunità/cooperative e integrazione coi servizi di mobilità.

## 2.3.A EFFICIENZA, SOSTENIBILITÀ E DURABILITÀ

### UNITO

In OR1, UNITO avrà la possibilità di sviluppare nuove leghe con proprietà avanzate rispetto a quanto attualmente presente in letteratura e in commercio. La ottimizzazione di MH è facilmente raggiungibile e consentirà lo sviluppo di nuovi sistemi di accumulo di idrogeno.

In OR7, articolandosi il progetto di ricerca proposto da UNITO in attività di ricerca, di studio e di consulenza giuridica, si ritiene che le finalità innovative indagate dalla ricerca possano essere raggiunte e diffuse determinando un minimo consumo di risorse. Inoltre, i risultati che saranno prodotti dall'attività di ricerca proposta potranno essere sostenuti nel tempo attraverso la programmazione, in continuità con le attività svolte, di ulteriori attività quali la consulenza giuridica a vantaggio degli autoconsumatori di energia rinnovabile, nella direzione di implementare la creazione di CER e di realtà di autoconsumo di energia rinnovabile e l'attività di collaborazione a favore delle Regioni e delle province autonome nell'integrazione delle informazioni desumibili dai progetti con quelle disponibili nelle esistenti Banche dati del riuso.

## 2.1.B VALIDITÀ TECNICA

### CNR

Il maggior elemento di innovazione nell'OR2 consiste nel confronto diretto delle prestazioni delle medesime leghe ottenute attraverso due tipi differenti di sintesi al fine di investigare quale produce le migliori proprietà di assorbimento/desorbimento di idrogeno, evita maggiormente il compattamento delle polveri che di solito si osserva nei prototipi a base di idruri che porta ad una perdita di capacità, assicura il miglior scambio termico. Inoltre, sarà utilizzata la tecnica dell'additive manufacturing per la realizzazione di un piccolo reattore progettato secondo criteri di efficienza energetica e scambio termico.



La principale innovazione introdotta nell'ambito dell'OR3 è relativa allo sviluppo di un sistema integrato in grado di gestire in maniera ottimale tutte le fasi di purificazione, accumulo e compressione dell'idrogeno, massimizzando lo sfruttamento dei flussi interni di energia termica e di sorgenti esterne da fonte rinnovabile e di scarto. Sarà sviluppato un sistema integrato in grado di minimizzazione dei tempi di carica/scarica, massimizzare l'energia termica recuperabile, mantenere alti livelli di sicurezza durante le operazioni di carica/scarica e, infine, minimizzare il costo dovuto all'integrazione di sistema.

## 2.2.B RISULTATI ATTESI

### *CNR*

Nell'ambito dell'OR2 sarà valutato l'impatto delle tecniche di sintesi sulle proprietà di assorbimento/desorbimento di idrogeno dei materiali in oggetto, sulla cinetica e sulla ritenzione della struttura con il procedere dei cicli di carica e scarica di idrogeno, al fine di mantenere la porosità iniziale entro variazioni inferiori al 10%. Saranno poi investigati anche con tecniche di analisi di superficie i processi utili per rigenerare la lega una volta esposta a gas contenente impurezze (acqua, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub>). Ci si aspetta di definire i migliori parametri per la sintesi e per la rigenerazione dei materiali.

Nell'ambito dell'OR3, il design e la realizzazione di un sistema integrato che comprenda la gestione termica ed energetica di un impianto per accumulo e compressione di idrogeno rappresenta un'innovazione radicale nel settore, che si prevede possa accelerare il futuro sviluppo di tale tecnologia verso una completa commercializzazione in larga scala. Il risultato principale sarà rappresentato da un incremento dell'efficienza complessiva del processo pari ad almeno il 30% rispetto ad un sistema non ottimizzato.

## 2.2.C EFFICIENZA, SOSTENIBILITÀ E DURABILITÀ

### *CNR*

La valutazione dell'impatto della produzione delle leghe metalliche attraverso due tecniche di sintesi sulle loro proprietà di idrogenazione è un risultato assolutamente raggiungibile nell'ambito dell'OR2 del progetto. Questo studio potrà essere lo spunto per la realizzazione di prototipi di serbatoi basati su tali leghe.

L'attività svolta nell'OR3 avrà come target primario lo sviluppo di un sistema di gestione integrato in grado di massimizzare l'efficienza globale del processo, riducendo il consumo di fonti primarie per la gestione termica del processo di carica, scarica, purificazione e compressione dell'idrogeno. Tale approccio consentirà un più rapido sviluppo della tecnologia, rendendola competitiva rispetto a sistemi concorrenti.

CNR-ITAE metterà a disposizione le apparecchiature e gli strumenti già presenti nei laboratori del CNR-ITAE, ritenuti adeguati per lo sviluppo delle attività e senza la necessità di ulteriori investimenti da parte dell'ente finanziatore. Parte dell'energia elettrica usata al CNR-ITAE è prodotta da fonte rinnovabile (impianti fotovoltaici).

## 2.1.C VALIDITÀ TECNICA

### *UNIGE*

La principale innovazione introdotta nell'ambito dell'OR4 è relativa a:

- 1) al design e alla prototipazione di un sistema di stoccaggio idrogeno a idruri metallici containerizzato capace di stoccare 5 kg di H<sub>2</sub>
- 2) allo sviluppo e validazione (tramite campagna sperimentale) di modelli dinamici e termoeconomici che permetteranno di studiare l'applicabilità del Sistema DRAGON accoppiato a diversi impianti/processi di produzione idrogeno e in contesto applicativi, tra cui quelli promossi nell'ambito del PNRR (e.g. hard-to-abate industries)

## 2.2.C RISULTATI ATTESI

### *UNIGE*

Realizzazione di un prototipo di sistema di stoccaggio idrogeno a idruri metallici containerizzato capace di stoccare 5 kg di H<sub>2</sub> per applicazioni stazionarie

Sviluppo di una suite di modelli (design di performance "steady state", analisi dinamica, analisi termoeconomica) che permetta, valorizzando i risultati di OR1-2-3, di studiare la replicabilità del sistema DRAGON in diversi

contesti, indirizzando gli obiettivi di performance generali del sistema (definiti in OR1-2-3) in vari contesti e anche in scala maggiore rispetto a quanto verrà testato in OR5-OR6.

L'obiettivo è quello inoltre di creare, dalla modellistica sviluppata in OR4, una serie di correlazioni empiriche e una serie di linee guida per upscale/replicazione/manufacturing che possano accelerare lo sviluppo della tecnologia DRAGON e la sua completa commercializzazione in larga scala.

### 2.3.C EFFICIENZA, SOSTENIBILITÀ E DURABILITÀ

#### *UNIGE*

L'attività svolta nell'OR4 avrà come target primario la realizzazione di un prototipo di sistema di stoccaggio di idrogeno DRAGON per applicazioni stazionarie (da testare in OR6) e lo sviluppo (e la validazione grazie all'apparato sperimentale UNIGE) di un insieme di tools/modelli che consentiranno un più semplice design e replicabilità della tecnologia, rendendola competitiva rispetto a sistemi concorrenti in molti settori studiati nell'OR.

UNIGE metterà a disposizione le apparecchiature e gli strumenti già presenti nei laboratori del campus di Savona, ritenuti adeguati allo sviluppo delle attività (se non per un aggiornamento dei sistemi di misurazione/monitoraggio/controllo e la manutenzione dell'elettrolizzatore presente in loco) e senza la necessità di ulteriori investimenti da parte dell'ente finanziatore. Parte dell'energia elettrica usata ai laboratori del campus di Savona è prodotta da fonte rinnovabile (impianti fotovoltaici) afferenti alla locale Smart Polygeneration Microgrid.

### 2.1.D VALIDITÀ TECNICA

#### *UNIPAR*

L'Università degli Studi di Napoli Parthenope svilupperà una nuova tecnologia di stoccaggio idrogeno a bassa pressione per applicazioni di mobilità e la porterà dal laboratorio fino alla scala pilota. La nuova tecnologia è basata sull'accumulo di idrogeno in idruri metallici, e la sua validazione contribuirà alla decarbonizzazione dei sistemi di propulsione e a promuovere la mobilità sostenibile con sistemi a idrogeno. Le attività progettuali saranno incentrate sulla ricerca di configurazioni geometriche ottimali dei serbatoi e sulla messa a punto di avanzati sistemi integrati di gestione termica, per ottenere soluzioni tecniche efficienti, economiche e sicure. La concezione di modularità delle soluzioni consentirà di estenderne le potenzialità applicative. Inoltre, le attività progettuali saranno orientate ad incrementare la resa energetica del sistema di stoccaggio di idrogeno, in termini di capacità e di gestione termica, rispetto ai sistemi tradizionali, superando al contempo le limitazioni legate a costi e sicurezza. Un vantaggio significativo dei sistemi di stoccaggio basati sugli idruri metallici, rispetto alle altre tecnologie, è infatti quello di poter operare a basse pressioni (minore di 30 bar) e temperature operative prossime a quelle ambiente. Inoltre, la possibilità di operare a contenuti valori di pressione consente la semplificazione dell'infrastruttura di rifornimento e, conseguentemente, un abbattimento dei costi legati allo stoccaggio dell'idrogeno in forma gassosa ad alta pressione.

Le criticità relative allo stoccaggio sono quelle che probabilmente limitano maggiormente la diffusione delle tecnologie a idrogeno. Infatti, tutti i metodi attualmente utilizzati presentano forti limitazioni in termini di capacità energetica, caratteristiche cinetiche, sicurezza o costi. La tecnologia di stoccaggio oggi più comunemente adottata è quella dell'idrogeno compresso in forma gassosa all'interno di serbatoi ad alta pressione (fino a 700 bar per le applicazioni automotive). I serbatoi ad alta pressione consentono di raggiungere valori di densità gravimetrica (massa idrogeno su massa sistema di stoccaggio) compresa tra il 3.5% e il 5.5%, a seconda della tipologia di serbatoio e materiali impiegati e una densità volumetrica che varia tra il 17 gH<sub>2</sub>/L e i 26 gH<sub>2</sub>/L. Questi valori sono molto distanti dagli obiettivi prefissati dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti (DOE), che rappresenta un riferimento internazionale e che stabilisce il raggiungimento di valori pari a 6.5% e 50 gH<sub>2</sub>/L di densità gravimetrica e volumetrica. Inoltre, i serbatoi ad alta pressione sono molto costosi, a causa dei materiali utilizzati per la costruzione dei serbatoi, che devono rispondere ad esigenze di resistenza meccanica molto elevate, ma soprattutto a causa degli aspetti relativi alla compressione dell'idrogeno: nel caso di gas compresso a 700 bar, una quantità significativa del potere calorifico inferiore dell'idrogeno (circa il 15%) viene spesa per comprimere il gas alla pressione di esercizio. Ne consegue una perdita netta di energia, dato che la pressione dell'idrogeno deve essere comunque successivamente ridotta fino ai livelli di pressione richiesti dalle celle a combustibile, di solito inferiori ai 10 bar. Infine, anche se la tecnologia dell'idrogeno compresso è regolamentata da rigorosi standard e normative, la questione legata alla sicurezza è pur sempre un aspetto cruciale e i potenziali rischi inerenti all'utilizzo di un gas ad alte pressioni dà luogo ad una percezione di insicurezza e mancata accettazione di tale tecnologia da parte dell'opinione pubblica, che ne limita fortemente la sua diffusione.

Rispetto alla tecnologia del gas compresso, lo stoccaggio di idrogeno all'interno degli idruri metallici presenta una densità gravimetrica inferiore, ma al contempo numerosi potenziali vantaggi, tra cui: i) una elevata densità volumetrica; ii) sicurezza intrinseca, grazie sia alle condizioni operative, che richiedono basse pressioni e temperature prossime a quella ambiente, sia alla natura endotermica delle reazioni di desorbimento dell'idrogeno; iii) alte prestazioni durante l'intero ciclo di vita; iv) grande flessibilità d'utilizzo, grazie alla grande variabilità delle proprietà termodinamiche che è possibile ottenere variando la composizione del materiale di base.

Gli elementi di validità del progetto sono pertanto molteplici e legati allo sviluppo su scala pilota di un sistema di stoccaggio di idrogeno per applicazioni di mobilità che:

- i) sia efficiente e sicuro;
- ii) possieda alta densità volumetrica di energia;
- iii) sia affidabile, in grado di fornire idrogeno alle pressioni e alle portate richieste;
- iv) favorisca tempi di rifornimento brevi, senza la necessità di una complessa infrastruttura di rifornimento;
- v) sia integrato termicamente in maniera ottimale con i componenti esterni (es. cella a combustibile e batterie del sistema di propulsione del veicolo);
- vi) consenta di ridurre drasticamente i costi di investimento e di esercizio.

Le attività progettuali previste in questa proposta costituiranno un significativo avanzamento, rispetto allo stato dell'arte nazionale e internazionale, delle conoscenze sull'impiego degli idruri metallici per lo stoccaggio di idrogeno e, soprattutto, sui processi di scambio termico durante le fasi di assorbimento e desorbimento dell'idrogeno. L'implementazione di sistemi di gestione termica risulta necessaria a causa della natura esotermica/endotermica dei processi di assorbimento/desorbimento. Tipicamente, il sistema di gestione termica per un serbatoio ad idruri metallici consiste in uno scambiatore di calore che sfrutta del calore di scarto per favorire il riscaldamento durante il desorbimento. I fenomeni termici derivanti dalle reazioni chimiche di desorbimento e assorbimento dell'idrogeno negli idruri metallici possono essere inoltre sfruttati opportunamente per generare caldo e freddo da utilizzare all'interno dei veicoli, per varie e specifiche applicazioni, quali ad esempio il condizionamento del veicolo stesso o la gestione termica dei singoli componenti presenti a bordo del veicolo (es. celle a combustibile e pacco batteria), o nelle stazioni di rifornimento.

## 2.2.D RISULTATI ATTESI

### *UNIPAR*

I risultati attesi dalle attività di UniParthenope (OR5) concernono lo sviluppo di sistemi di stoccaggio idrogeno a bassa pressione, capaci di ridurre ingombri e pesi dei sistemi di propulsione dei veicoli che prevedono l'integrazione di batterie e celle a combustibile. In tali sistemi, l'utilizzazione delle batterie per fornire la potenza necessaria ai transitori di accelerazione consente di ridurre la potenza delle celle a combustibile e, di conseguenza, il costo dei sistemi di propulsione a idrogeno. Infatti, l'offerta di veicoli a idrogeno è oggi limitata a berline di grande potenza o a SUV. Inoltre, è di particolare rilevanza la possibilità di integrare batterie e serbatoi a idruri metallici per stoccare idrogeno a bassa pressione che consente sia di effettuare il mutuo condizionamento termico (raffreddare le batterie e riscaldare gli idruri), sia di stoccare idrogeno a bassa pressione, sia di incrementare la densità gravimetrica e volumetrica dei tradizionali pacchi batterie. Nello stesso volume di un pacco batterie è possibile realizzare anche un serbatoio di idrogeno incrementando sensibilmente la densità volumetrica e gravimetrica dei tradizionali sistemi di energy-storage dei veicoli elettrici. Di grande rilevanza è altresì la possibilità di stoccare idrogeno a bassa pressione (<30bar) per ridurre i rischi connessi allo stoccaggio di gas compresso ad alta pressione e i costi di rifornimento. Nello specifico, la rilevanza dei risultati attesi con il nuovo sistema di stoccaggio è sintetizzabile nei seguenti punti:

- i) significativa riduzione dei problemi di sicurezza legati alle alte pressioni;
- ii) semplificazione dell'integrazione dei sistemi a idrogeno in veicoli per la mobilità e il trasporto, anche di potenza ridotta;
- iii) drastica riduzione dei costi di rifornimento, semplificazione delle infrastrutture e del sistema di stoccaggio (30%);
- iv) sensibile riduzione di ingombri e costi dei sistemi di condizionamento termico dei componenti del sistema di accumulo (>500 Wh/l)

L'originalità è attestata dal fatto che il "concept" del nuovo sistema prevede la progettazione, messa a punto e sviluppo di un sistema di stoccaggio ibrido basato su un brevetto già registrato dai ricercatori della Parthenope.

Il raggiungimento degli obiettivi di progetto verrà attestato quantitativamente. Attraverso le attività progettuali, si propone di sviluppare un sistema di stoccaggio dell'idrogeno a bordo di veicoli stradali a celle a combustibile in grado di raggiungere capacità fino a 5 kg di idrogeno. Ambizione del progetto è inoltre quella di raggiungere per tali sistemi densità volumetriche di 40 gH<sub>2</sub>/L e un tasso di assorbimento dell'idrogeno pari a circa 0.1 wt%H<sub>2</sub>/min, al fine di garantire un rifornimento veloce, in linea con i tempi previsti per le applicazioni selezionate. Infine, l'impiego dei sistemi di stoccaggio proposti, in sostituzione di serbatoi a gas compresso, ambisce a ridurre i costi di rifornimento di circa il 30%, grazie ad una riduzione dell'impatto economico legato alla compressione dell'idrogeno.

### 2.3.D EFFICIENZA, SOSTENIBILITÀ E DURABILITÀ

#### UNIPAR

Il presente progetto risponde ad alcune delle maggiori sfide tecnologiche nell'ambito dei sistemi energetici, ovvero: i) agevolare lo sviluppo di veicoli a idrogeno efficienti e affidabili, ii) ridurre i costi e i tempi di sviluppo delle infrastrutture di rifornimento idrogeno iii) sviluppare sistemi di stoccaggio idrogeno in grado di ottimizzare l'utilizzo delle energie rinnovabili.

Le finalità innovative del progetto vanno oltre il risultato dell'obiettivo di realizzare un nuovo sistema di stoccaggio idrogeno per la mobilità. Infatti, la diffusione e la valorizzazione dei risultati ottenuti consentirà di compiere un importante passo in avanti e di contribuire all'attuazione e alla formazione di strategie politiche nazionali ed europee per la riduzione dei costi di realizzazione e sviluppo delle infrastrutture di rifornimento idrogeno. I miglioramenti tecnologici generati dal progetto potranno essere ulteriormente sviluppati anche oltre la fine del periodo di finanziamento. I risultati potranno, infatti, essere utilizzati e valorizzati a lungo termine, anche tramite la commercializzazione delle soluzioni proposte. Attraverso il raggiungimento dei suoi obiettivi, il progetto intende muovere un primo concreto, e significativo passo verso l'effettiva introduzione dell'idrogeno nel settore della mobilità su gomma, a livello nazionale ed europeo. Inoltre, grazie ai suoi risultati, il progetto potrà dare luogo, in prospettiva, alla nascita di una nuova filiera produttiva ad alta tecnologia per la realizzazione di sistemi di stoccaggio di idrogeno innovativi e anche per "nuovi concept" delle stazioni di rifornimento. Tra i comparti industriali potenzialmente coinvolti, non vi sono dunque solo quelli direttamente correlati ai prodotti di mobilità, ma anche quelli relativi allo stoccaggio di energia da fonte rinnovabile, in generale.

Tali finalità e l'effettiva implementazione su larga scala delle soluzioni proposte, si prevede potranno essere perseguite anche dopo il termine del periodo di finanziamento di questo progetto, a fronte di un consumo di risorse inferiore a quello richiesto dalle attuali tecnologie utilizzate nelle applicazioni in oggetto.

Le attività di questo progetto sullo sviluppo di soluzioni di stoccaggio sono incentrate infatti sull'efficientamento dei sistemi, a livello sia energetico che economico. Oltre a soddisfare requisiti di sostenibilità ambientale, i veicoli che beneficeranno della tecnologia proposta saranno caratterizzati da una elevata efficienza, che porterà conseguentemente ad una riduzione dell'impiego di risorse.

I sistemi progettati saranno concepiti per essere facilmente realizzabili, manutenibili, e saranno realizzati con l'utilizzo di tecnologie tradizionali per il loro sviluppo. Inoltre, il progetto favorirà una semplificazione drastica dell'infrastruttura di rifornimento, che potenzialmente non dovrà prevedere numerosi stadi di compressione, con benefici in termini economici oltre che energetici.

Per tali motivi, è atteso che i risultati del progetto siano in grado di essere portati ad un livello successivo di avanzamento e di sostenersi nel tempo, oltre il limite temporale del progetto stesso.

### 2.1.E VALIDITÀ TECNICA

#### ENEA

La principale innovazione introdotta nell'ambito dell'OR6 è relativa:

1) sviluppo di KPIs/metodologie di testing per sistemi "Multi-purpose" basati su MH: dato il molteplice scopo/obiettivo del sistema MH DRAGON, il monitoraggio congiunto è necessario di differenti proprietà termofisico-chimiche. Per fare ciò, ENEA svilupperà innovativi approcci di misure dirette/Indirette e architetture di monitoraggio/sensoristica/misura anche per poter fornire un continuo monitoraggio operativo del sistema per ragioni di controllo e diagnostica

2) raccolta di lessons learnt per il futuro upscale e refinement del design dei prototipi 4-5 dalla campagna sperimentale a TRL5 da svolgersi presso i laboratori ENEA

## 2.2.E RISULTATI ATTESI

*ENEA*

Validazione a TRL5 dei prototipi 4 e 5 del progetto DRAGON e validazione delle performance previste in OR1-2-3 in termini di: i) efficienza della gestione termica del ciclo di carica-scarica, ii) ridotta isteresi e alta ciclabilità dei materiali di accumulo idrogeno, iii) tempi di rifornimento/carica-scarica dei serbatoi analoghi o inferiori a quelli dei sistemi di stoccaggio idrogeno in pressione

## 2.3.E EFFICIENZA, SOSTENIBILITÀ E DURABILITÀ

*ENEA*

L'attività svolta nell'OR6 avrà come target primario il testing dei prototipi realizzati in OR4-5: la possibilità di validare a TRL5 la tecnologia DRAGON permetterà un più semplice design e replicabilità della tecnologia, rendendola competitiva rispetto a sistemi concorrenti in molti settori.

ENEA metterà a disposizione le apparecchiature e gli strumenti già presenti nei laboratori del Centro Ricerche della Casaccia, del Centro Ricerche di Portici, e dei laboratori di ATENA Scarl (Napoli) e Casaccia, ritenuti adeguati allo sviluppo delle attività (se non per un aggiornamento dei sistemi di misurazione/monitoraggio/controllo e la manutenzione dei sistemi di produzione/gestione idrogeno presenti in loco) e senza la necessità di ulteriori investimenti da parte dell'ente finanziatore. Parte dell'energia elettrica usata ai laboratori di Portici è prodotta da fonte rinnovabile (impianti fotovoltaici).

## 3. IMPATTO DEL PROGETTO

*(Nel caso di progetto congiunto fornire le seguenti informazioni per singolo soggetto proponente)*

### 3.1.A POTENZIALITÀ DI SVILUPPO

*UNITO*

OR1: Il Dipartimento di Chimica di Unito, tramite lo sviluppo di nuovi idruri metallici in OR1, aprirà nuovi sviluppi nel campo industriale e della ricerca applicata. In particolare: 1) la purificazione dell' $H_2$  è nodale in un'ottica di produzione da fonti rinnovabili per attuare una filiera di  $H_2$  ultra-puro necessario sia in fase di immagazzinamento sia in fase di sfruttamento da parte di celle a combustibile. Lo sviluppo di nuove leghe porta quindi a aperture industriali da un lato alla produzione di nuove leghe e dall'altro alla produzione di sistemi di purificazione a basso costo di produzione e uso. 2) l'immagazzinamento di  $H_2$  su scala industriale può essere stimolato dalla scoperta di nuove leghe a costi contenuti e con capacità di immagazzinamento estese rispetto all'esistente. 3) la compressione dell' $H_2$  al momento viene effettuata tramite compressori meccanici che, utilizzando parti in movimento, sono rumorosi e energeticamente costosi. I vantaggi nell'uso di MH per la compressione idrogeno rispetto ai compressori meccanici includono l'assenza di contaminazioni, un ingombro ridotto, nessuna parte mobile, costi di manutenzione e rumorosità ridotti e, utilizzando il calore da fonti esterne, un consumo di energia elettrica molto basso. La determinazione di MH adatti alla compressione di  $H_2$  può quindi portare a uno sviluppo determinante di stazioni di ricarica di bombole per la mobilità sostenibile, 4) il campo al momento inesplorato dell'accumulo di calore può essere trainato da questo progetto verso una futura applicazione industriale con la evidente possibilità di estenderne la applicazione a campi differenti rispetto a quello della filiera dell' $H_2$ .

OR7: Gli studi sociali economici e giuridici portati avanti nell'ambito dell'OR7 permetteranno il raggiungimento di una piena consapevolezza da parte delle comunità e dei decisori dell'importanza delle tecnologie all'idrogeno, stimolandone la diffusione anche a livello locale e stimolando la formazione di comunità energetiche.

### 3.2.A POTENZIALITÀ TECNOLOGICA

*UNITO*

OR1: Le attività proposte nell'ambito del OR1 sono volte ad aprire nuovi scenari nella parte di filiera dell'idrogeno legata in particolare al suo immagazzinamento, compressione e purificazione. Il design di nuovi materiali per l'immagazzinamento permette infatti di evidenziare nuovi campi di utilizzo dell'idrogeno. Le conoscenze acquisite verranno divulgate tramite la pubblicazione di articoli scientifici su riviste ad alto Impact Factor e tramite la partecipazione a congressi internazionali.

OR7: Le attività proposte nell'ambito dell'OR7 sono di stimolo per la creazione di comunità di autoconsumatori di energia rinnovabile, e hanno come potenziale la creazione di CER e di realtà di autoconsumo di energia rinnovabile. Inoltre, si auspica che le attività del progetto possano agire da traino per lo sviluppo di attività di collaborazione a favore delle Regioni e delle province autonome nell'integrazione delle informazioni desumibili dai progetti con quelle disponibili nelle esistenti Banche dati del riuso. Inoltre, si prevede di divulgare le conoscenze acquisite in articoli scientifici su riviste ad alto Impact Factor e tramite la partecipazione a congressi internazionali.

### 3.3.A IMPATTO AMBIENTALE

#### UNITO

OR1: gli impatti ambientali dei sistemi sviluppati sono limitati in quanto si svilupperanno leghe con un contenuto limitato o assente di critical raw materials (CRM).

OR7: Il dipartimento di chimica affronterà la dimensione dell'impatto ambientale del sistema integrato proposto tramite valutazione LCA sia della fase di produzione del sistema sia della sua fase di uso. Verranno quindi individuati gli aspetti produttivi a maggior impatto proponendo eventuali soluzioni per la loro limitazione. Inoltre, le nuove conoscenze generate dall'attività di ricerca in tema di idrogeno potranno avere una preziosa ricaduta nel veicolare da un lato gli autoconsumatori di energie rinnovabili a scegliere impianti di produzione di idrogeno verde e dall'altro gli imprenditori a produrre idrogeno verde, utilizzando aree dismesse, per la mobilità, contribuendo, di conseguenza a realizzare la transizione energetica e il raggiungimento dell'obiettivo ultimo della neutralità climatica entro il 2050.

### 3.1.B POTENZIALITÀ DI SVILUPPO

#### CNR

OR2: l'individuazione della tecnica e dei parametri di sintesi migliori per la produzione delle leghe è importante come linea guida per future applicazioni industriali. È quindi facilmente prevedibile che a valle dello studio di fattibilità realizzato in questo progetto, la comunità industriale sia attratta dall'utilizzo della tecnica individuata nel campo degli idruri.

OR3: l'attività svolta sul sistema integrato getterà le basi per future attività di ricerca dedicate allo sviluppo e la validazione della soluzione proposta su larga scala ed a TRL più elevati. In particolare verranno sfruttate le esperienze ed i contatti internazionali dei partner, per proporre a livello Europeo, nell'ambito del programma Horizon EU, ulteriori attività di ricerca, specificamente dedicate all'integrazione e validazione tecnologica in ambiente rilevante. Inoltre, le attività svolte dal CNR in collaborazione con partner aziendali sia nazionali che internazionali verranno sfruttate per promuovere una filiera produttiva che adotti la tecnologia sviluppata, portandola sul mercato nei prossimi anni. Elemento chiave per la larga penetrazione nel mercato delle tecnologie ad idrogeno è rappresentato dalla capacità di ottenere dispositivi di produzione, stoccaggio e utilizzo dell'idrogeno sempre più efficienti e meno costosi. Il progetto, ed in particolare l'OR3, ha proprio come target principale la riduzione del costo e l'incremento dell'efficienza del processo di stoccaggio dell'idrogeno. I risultati del progetto potranno essere sfruttati industrialmente dalle aziende di settore, specialmente in campo navale, grazie alle basse pressioni di stoccaggio della tecnologia sotto indagine, che rappresentano un'importante sicurezza intrinseca nelle applicazioni navali.

### 3.2.B POTENZIALITÀ TECNOLOGICA

#### CNR

OR2: Le conoscenze prodotte nell'ambito dell'OR2 del progetto saranno pubblicate su riviste scientifiche e verranno pubblicizzate presso industrie operanti nel campo dei materiali (SAES Getters, Centro Sperimentale Materiali).

OR3: Le attività relative allo sviluppo del sistema integrato nell'OR3 avranno un impatto scientifico rilevante (target almeno due articoli scientifici su rivista internazionale) e saranno anche oggetto di presentazioni specifiche

a conferenze e workshop internazionali (e.g. Sustainable Places, Applied Energy Conference etc.). Inoltre, la tecnologia innovativa di accumulo termico centralizzato e la metodologia di controllo dello stato di carica, rappresentano un'innovazione radicale nel settore della gestione di sistemi termici, che potranno avere ricadute per applicazioni sia di piccola scala (residenziali) che di larga scala (impianti di teleriscaldamento ed industriali).

### 3.3.B IMPATTO AMBIENTALE

*CNR*

OR2: nella presente proposta di OR2 è stato minimizzato l'utilizzo di materiali facenti parte dei "critical raw materials". Infatti, l'utilizzo di leghe TiFe e HEA, in cui si sostituiscono metalli come l'Hf, è volta proprio ad abbattere questo problema. Inoltre, parte altrettanto importate in questo progetto riguarda la possibilità di riutilizzare metalli riciclati da lavorazioni industriali ed utilizzarli nelle sintesi delle leghe metalliche. In tale contesto la riutilizzazione degli scarti metallici rientra nella cosiddetta "economia circolare".

OR3: dal punto di vista ambientale, l'attività svolta nell'OR3 avrà una doppia funzione, aumentare l'efficienza globale del sistema di stoccaggio, ridurre i consumi di energia primaria, utilizzando materiali di accumulo termico a basso impatto ambientale.

### 3.1.C POTENZIALITÀ DI SVILUPPO

*UNIGE*

OR4: come per l'OR3, l'attività svolta sul sistema integrato in OR4 getterà le basi per future attività di ricerca dedicate allo sviluppo e la validazione della soluzione proposta su larga scala ed a TRL più elevati, oltreché alla commercializzazione e replicazione del Sistema DRAGON. In particolare, verranno sfruttate le esperienze ed i contatti internazionali dei partner, per proporre a livello Europeo, nell'ambito del programma Horizon EU, ulteriori attività di ricerca, specificamente dedicate all'integrazione e validazione tecnologica in ambiente rilevante e/o all'utilizzo del sistema DRAGON/degli idruri in variegati contesti applicativi. Il prototipo di sistema di stoccaggio DRAGON per applicazioni stazionarie che verrà realizzato in OR4 (capitalizzando i risultati di OR1-2-3), verrà testato tramite una robusta campagna di test in OR6, diventando un potenziale laboratorio per future analisi sugli idruri. Inoltre, le attività svolte da UNIGE in collaborazione con partner aziendali sia nazionali che internazionali verranno sfruttate per promuovere potenziali end-user per un test a più alta scala/TRL del sistema DRAGON, allo scopo di testare la sua affidabilità e portandola sul mercato nei prossimi anni anche in contesti non studiati nell'ambito del progetto DRAGON (e.g ambito navale/marittimo sfruttando le rilevanti collaborazioni in essere tra UNIGE e FINCANTIERI). I modelli sviluppati nell'OR4 saranno facilmente utilizzabili per ulteriori attività di design di sistemi sperimentali e non, così come le correlazioni e le linee guida di up-scale che verranno individuate ricapitolando i risultati delle tasks relative a OR4.

### 3.2.C POTENZIALITÀ TECNOLOGICA

*UNIGE*

OR4: il prototipo di sistema di stoccaggio DRAGON containerizzato per applicazioni stazionarie che verrà realizzato in OR4 verrà già testato (ad es. nello spostamento verso i laboratori ENEA) nella sua funzionalità di sistema facilmente integrabile e trasportabile. I modelli sviluppati in OR4 avranno un impatto scientifico rilevante (target almeno tre articoli scientifici su rivista internazionale) e saranno anche oggetto di presentazioni specifiche a conferenze e workshop internazionali (e.g. European Fuel Cell Conference, Applied Energy Conference etc.). Inoltre, lo studio della valorizzazione di cascami termici in diversi settori (industriale, civile, marittimo etc.) per la miglior gestione del sistema DRAGONS (studiate in OR4) faciliteranno l'applicabilità del sistema DRAGONS in diversi settori aumentandone il suo impatto potenziale.

### 3.3.C IMPATTO AMBIENTALE

*UNIGE*

OR4: dal punto di vista ambientale, l'attività svolta nell'OR4 avrà una doppia funzione: i) aumentare l'efficienza globale del sistema di stoccaggio trovando per ciascun tipo di sistema di produzione idrogeno il miglior sistema (in termini di design e gestione) per lo stoccaggio di idrogeno (OR4.1); ii) facilitare la replicabilità, il design e la valutazione della bontà tecnico-economica del Sistema DRAGON grazie ai modelli e alle correlazioni sviluppate.

### 3.1.D POTENZIALITÀ DI SVILUPPO

#### UNIPAR

OR5: il sistema di stoccaggio proposto dai ricercatori di UniParthenope avrà un impatto significativo sullo sviluppo di veicoli a celle a combustibile alimentati a idrogeno. Tali veicoli rappresentano oggi una realtà (alla fine del 2020 si contano circa 35000 veicoli commerciali circolanti a livello globale), ma la loro definitiva affermazione ed il raggiungimento di volumi di produzione significativi, necessari per ottenere una economia di scala, rimangono ancora obiettivi lontani. Ciò è dovuto da un lato all'attuale mancanza di una infrastruttura diffusa, e dall'altro a limitazioni di carattere tecnologico ed economico. Proponendo una tecnologia in grado di aumentare la resa energetica a bordo del veicolo, e quindi la sua autonomia, e al contempo in grado di abbattere i costi, il progetto pone le basi per un decisivo sviluppo di tale classe di veicoli.

In particolare, il sistema di stoccaggio di energia ibrido proposto nell'ambito di questo progetto, grazie alla sua elevata modularità e flessibilità d'applicazione, è specificamente concepito per soddisfare le esigenze e i requisiti di un ampio range di classi di veicoli stradali. Tra questi, candidati ideali all'applicazione della tecnologia proposta sono tutti quei veicoli in cui l'elevato peso del veicolo stesso e la variabilità di peso dei carichi trasportati mitigano il principale svantaggio legato agli idruri metallici, ossia una bassa capacità gravimetrica. Tuttavia, le elevate prestazioni che il progetto si propone di raggiungere per il sistema di stoccaggio proposto consentiranno di estendere il campo di applicazione e sviluppo anche ad altre classi di veicolo.

Al fine di promuovere l'introduzione effettiva delle tecnologie a idrogeno, lo sviluppo del veicolo deve essere affiancato da un progresso anche nel campo delle applicazioni stazionarie. I costi relativi alla compressione dell'idrogeno nelle stazioni di rifornimento e, in generale, nei sistemi di accumulo che prevedono lo stoccaggio dell'idrogeno in forma gassosa ad alta pressione rappresentano infatti un ostacolo. I risultati del progetto mirano pertanto ad avere un impatto significativo anche sullo sviluppo dell'infrastruttura: la evitata necessità di pressioni elevate a bordo del veicolo a idrogeno implica una semplificazione dei sistemi di accumulo stazionari, con una drastica riduzione dei costi legati alla compressione.

Alla luce di queste considerazioni, il progetto pone solide basi per un importante futuro sviluppo industriale delle conoscenze acquisite durante la realizzazione del progetto stesso, favorendo direttamente e indirettamente il processo di transizione energetica e di decarbonizzazione della mobilità e del settore energetico. In particolare, ci si aspetta che le nuove conoscenze acquisite grazie al progetto permettano una rapida industrializzazione delle stesse ed un rapido e significativo impatto economico sul mercato, in quanto rispondenti a delle chiare esigenze di innovazione.

### 3.2.D POTENZIALITÀ TECNOLOGICA

#### UNIPAR

OR5: la proposta progettuale è caratterizzata da un impatto scientifico e tecnologico molto elevato, poiché propone un significativo avanzamento delle conoscenze e della tecnologia nel campo dello stoccaggio di idrogeno. L'attività di ricerca prevista aprirà auspicabilmente la strada allo sviluppo e all'effettiva implementazione di una nuova generazione di sistemi di stoccaggio dell'idrogeno, per applicazioni sia mobili, nei veicoli a celle a combustibile, che per applicazioni stazionarie, quali stazioni di rifornimento e stazioni di accumulo da fonti rinnovabili. Obiettivo del progetto è infatti quello di superare le maggiori limitazioni che caratterizzano i sistemi di stoccaggio oggi maggiormente impiegati in tali ambiti, dando luogo a soluzioni innovative fondamentali per lo sviluppo dell'intera filiera dell'idrogeno.

Il contesto di ricerca è assolutamente attuale. Il progetto è infatti perfettamente coerente con le direttive e gli obiettivi di ricerca stabiliti a livello nazionale ed internazionale. A livello europeo, le attività previste sono perfettamente in linea con i programmi di finanziamento della Clean Hydrogen Partnerships.

La conoscenza che il progetto intende generare ha, inoltre, carattere trasversale, in quanto comprende disparati ambiti scientifici e per ognuno di essi prospetta ricadute positive. Il progetto fa infatti leva su un approccio multidisciplinare che coinvolge competenze in diversi campi, tra cui: materiali, propulsori ibridi a celle a combustibile/batteria, misurazione e diagnostica dei componenti del gruppo propulsore del veicolo, gestione termica dei sistemi energetici, gestione termica del veicolo e dei suoi componenti, gestione dell'energia a bordo e integrazione dei sistemi di propulsione, modellazione dei sistemi energetici. Per questa ragione, il progetto ha un grande potenziale di ulteriore sviluppo in diversi settori della ricerca applicata ai sistemi energetici.

Oltre che di tipo scientifico, tecnologico, ambientale ed economico, il progetto avrà un impatto anche di tipo sociale: i suoi risultati contribuiranno a ridurre la comune percezione di insicurezza legata all'utilizzo di idrogeno, oggi ancora piuttosto diffusa nell'opinione pubblica. Il funzionamento a bassa pressione e la natura endotermica



delle reazioni chimiche che avvengono all'interno del materiale idruro metallico durante il desorbimento dell'idrogeno conferiscono al sistema proposto in questo progetto una intrinseca elevata sicurezza. Questo è uno dei punti di forza del progetto, che ha tra i suoi obiettivi quello di dimostrare che l'idrogeno possa essere considerato un vettore energetico sicuro. Attraverso la realizzazione di tale obiettivo, il progetto mira pertanto a dare un contributo sostanziale alla filiera dell'idrogeno.

I risultati del progetto verranno tradotti in pubblicazioni scientifiche, comunicazioni a conferenze internazionali e, possibilmente, ulteriori brevetti. Verranno inoltre intraprese specifiche azioni di divulgazione e comunicazione, atte a diffondere e valorizzare i risultati, consentendo così di contribuire all'attuazione e alla formazione di strategie politiche nazionali ed europee, condividere soluzioni e know-how, e favorire lo sviluppo di nuovi partenariati. Le attività di comunicazione e disseminazione avranno anche il ruolo di far comprendere l'impatto che i risultati prodotti nel progetto possono avere sulla società, e rendere l'opinione pubblica più consapevole degli aspetti di carattere ambientale ed economico connessi con l'utilizzo delle tecnologie proposte.

Il progetto accrescerà naturalmente le competenze dei singoli partecipanti, rafforzerà le infrastrutture di ricerca e ne migliorerà pertanto le capacità, contribuendo a creare dei centri di riferimento per le tecnologie a idrogeno nel panorama della ricerca nazionale e internazionale.

Gli obiettivi ambiziosi e l'alto livello di innovazione alla base di questo progetto richiedono l'impegno di personale altamente qualificato. Allo stesso tempo, UniParthenope promuove l'eccellenza dei giovani ricercatori. Pertanto, accanto al personale già in essere, composto da numerosi dottorandi, assegnisti di ricerca, ricercatori, e professori di ruolo, si prevede di finanziare borse di ricerca e reclutare personale giovane e specializzato, non solo per lo svolgimento delle attività progettuali, ma anche per seguire le fasi successive della ricerca e del futuro sfruttamento industriale dei risultati raggiunti.

### 3.3.D IMPATTO AMBIENTALE

UNIPAR

OR5: il presente progetto di ricerca è volto allo sviluppo di nuove innovative soluzioni che superino lo stato dell'arte nelle tecnologie di stoccaggio di idrogeno e che abbiano un impatto dirompente nel settore energetico e della mobilità e, conseguentemente, sulla società.

L'idea alla base delle soluzioni proposte mira ad incrementare le prestazioni energetiche dei sistemi in cui queste verranno implementate, migliorare gli aspetti di sicurezza legati all'utilizzo dell'idrogeno e ridurre i costi all'interno della filiera dell'idrogeno stesso. Ciò si tradurrà inevitabilmente in una significativa riduzione dell'impatto ambientale, dovuta sia alla maggiore efficienza dei sistemi che faranno uso della tecnologia proposta, ma anche e soprattutto alla spinta che la tecnologia proposta darà all'adozione dell'idrogeno come vettore energetico in generale.

L'iniziativa messa in atto dal progetto risulta pertanto perfettamente allineata con gli obiettivi nazionali ed europei e, in particolare, supportando la sostenibilità del settore energetico e della mobilità mediante lo sviluppo di tecnologie in grado di contribuire fortemente all'abbattimento delle emissioni e alla conseguente mitigazione del rischio di cambiamenti climatici, aderisce alle traiettorie tecnologiche e alle priorità individuate nell'ambito del PNRR.

### 3.1.E POTENZIALITÀ DI SVILUPPO

ENEA

OR6: l'attività di validazione svolta in OR6 getterà le basi per future attività di ricerca dedicate allo sviluppo e la validazione della soluzione proposta su larga scala ed a TRL più elevati, oltrechè alla commercializzazione e replicazione del Sistema DRAGON. In particolare, verranno sfruttate le esperienze ed i contatti internazionali dei partner, per proporre a livello Europeo, nell'ambito del programma Horizon EU, ulteriori attività di ricerca, anche per rendere i laboratori ENEA un potenziale laboratorio per future analisi sugli idruri. Inoltre, le attività svolte da ENEA in collaborazione con partner aziendali sia nazionali che internazionali verranno sfruttate per promuovere potenziali end-user per un test a più alta scala/TRL del sistema DRAGON, allo scopo di testare la sua affidabilità e portandola sul mercato nei prossimi anni anche in contesti non studiati nell'ambito del progetto DRAGON.

### 3.2.E POTENZIALITÀ TECNOLOGICA

ENEA

OR6: i prototipi 4-5 che verranno testati presso i lab ENEA in OR6 verranno comparati con altre soluzioni di stoccaggio già studiate da ENEA in progetti precedenti anche per poter generare un impatto scientifico rilevante (target almeno tre articoli scientifici su rivista internazionale) e saranno anche oggetto di presentazioni specifiche a conferenze e workshop internazionali (tra cui la Conferenza “Piero Lunghi - European Fuel Cell Conference” di cui ENEA è organizzatore). La promozione dei risultati di progetto avverrà anche in eventi legati alla IEA task o ai WG di H2IT o Hydrogen Europe in cui ENEA è coinvolta.

### **3.3.E IMPATTO AMBIENTALE**

*ENEA*

OR6: dal punto di vista ambientale, i risultati dei test svolti in OR6 permetteranno di validare l'aumento dell'efficienza globale del sistema di stoccaggio e il relativo efficientamento di sistemi power-to-hydrogen, andando dunque a ridurre ulteriormente le emissioni della filiera di produzione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno

## **IV<sup>a</sup> PARTE: ULTERIORI ELEMENTI**

### **4.A RISPETTO DEL PRINCIPIO DI NON ARRECARRE DANNO AGLI OBIETTIVI AMBIENTALI**

#### **UNITO**

L'analisi proposta verrà fatta con l'intento di valutare tecnologie alternative, nel pieno rispetto del principio di "neutralità tecnologica" prevista dal bando. Lo sviluppo di polveri per tecnologie a idrogeno rientra appieno nel quadro del non arrecare un danno significativo" (DNSH) agli obiettivi ambientali. Gli idruri metallici sviluppati e le applicazioni proposte verranno studiate in modo da poter essere considerate "conformi con i criteri tassonomici".

### **4.B RISPETTO DEL PRINCIPIO DI NON ARRECARRE DANNO AGLI OBIETTIVI AMBIENTALI**

#### **CNR**

Le attività di sviluppo di leghe metalliche per svariate applicazioni, quali accumulo idrogeno, purificazione gas, accumulo termico, rientra appieno nel quadro del non arrecare un danno significativo" (DNSH) agli obiettivi ambientali. Inoltre, una parte importante sarà la possibilità di riutilizzare metalli di scarto in disuso provenienti da altri settori industriali, così facendo si tende a ridurre l'impatto sull'ambiente che alcuni metalli potrebbero avere. In relazione alla tecnologia di stoccaggio utilizzata, al fine di garantire il rispetto del principio DNSH connesso con la mitigazione dei cambiamenti climatici e la significativa riduzione di emissioni di gas a effetto serra, saranno adottate tutte le tecnologie disponibili perché lo stoccaggio di idrogeno possa essere considerato "conforme con i criteri tassonomici". Nelle attività di stoccaggio, le condizioni di emergenza e le eventuali condizioni di rilascio accidentale (di composti a base idrogeno, di gas refrigeranti, altre emissioni climalteranti), saranno analizzate allo scopo di realizzare tutte le necessarie misure di mitigazione degli impatti.

### **4.C RISPETTO DEL PRINCIPIO DI NON ARRECARRE DANNO AGLI OBIETTIVI AMBIENTALI**

#### **UNIGE**

Il prototipo di sistema di stoccaggio DRAGON per applicazioni stazionarie che verrà realizzato in OR4 (capitalizzando i risultati di OR1-2-3), verrà integrato e pre-validato (commissioning) in un laboratorio UNIGE (H2LAB) attualmente operativo secondo le direttive di legge riguardanti l'utilizzo e la manipolazione di sostanze infiammabili ed esplosive. Il prototipo verrà trasportato presso ENEA nel rispetto delle normative del trasporto e opportunamente inertizzato prima del trasporto stesso.

Nelle attività di testing, le condizioni di emergenza e le eventuali condizioni di rilascio accidentale (di composti a base idrogeno, di gas refrigeranti, altre emissioni climalteranti), saranno analizzate allo scopo di realizzare tutte le necessarie misure di mitigazione degli impatti.

### **4.D RISPETTO DEL PRINCIPIO DI NON ARRECARRE DANNO AGLI OBIETTIVI AMBIENTALI**

#### **UNIPAR**

Le attività di ricerca previste da UniParthenope sono in linea con l'applicazione del DNSH rispetto alla normativa vigente che riguardano il contributo che tali attività dovranno offrire alla neutralità climatica. Infatti il principio DNSH favorisce soluzioni che privilegiano veicoli elettrici e a idrogeno destinati ai trasporti. Il progetto è altresì in linea con la creazione di centri di produzione, distribuzione e impiego su scala locale di idrogeno, prodotto utilizzando unicamente fonti di energia rinnovabili («idrogeno verde»).

Il progetto prevede inoltre di sviluppare soluzioni in linea con quanto previsto dal DNSH di realizzare impianti e tecnologie per l'immagazzinamento dell'energia attraverso la produzione e lo stoccaggio di idrogeno da fonti rinnovabili (cfr. scheda n.15 - produzione di idrogeno e scheda n. 19 - stoccaggio di idrogeno). Infatti, la produzione e lo stoccaggio di idrogeno, se prodotto dall'elettrolisi dell'acqua e in conformità ai principi tassonomici, può essere funzionale alla transizione tecnologica prevista dal RFF (o PNRR). Per quanto riguarda le diverse modalità di

accumulo dell'idrogeno, il DNSH prevede lo studio e lo sviluppo nuovi processi quali assorbimento chimico in idruri metallici.

Durante le attività progettuali verrà utilizzato idrogeno prodotto utilizzando elettrolizzatori PEM alimentati da impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili per la sperimentazione dei sistemi di stoccaggio innovativi in linea con quanto previste dal DNSH: *“La necessità di accumulare l'energia rinnovabile prodotta in eccesso sotto forma di idrogeno, alle condizioni specificate nella deve tener conto della produzione delle apparecchiature per produrre idrogeno: gli elettrolizzatori, appunto. La necessità di disporre di tali apparecchi su larga scala stimola lo sviluppo e la industrializzazione di tecnologie sempre più efficienti e a costi ragionevoli con l'effetto di ridurre gli investimenti e il costo industriale dell'idrogeno prodotto. Tenendo conto del continuo avanzamento delle tecnologie di elettrolizzatori disponibili in una fase industriale o preindustriale, la presente Misura si applica indipendentemente dalla tecnologia adottata, ossia, la PEM – Proton Exchange Membrane di maggiore diffusione, gli elettrolizzatori Alcalini (EAT), la tecnologia AEM (Anionic Exchange Membrane) o quelli ad Alta Temperatura (HTE). La tecnologia PEM consente, al momento, la più grande capacità produttiva attualmente installata in un impianto di produzione (fino a 20 MW di potenza)”*.

#### **4.E RISPETTO DEL PRINCIPIO DI NON ARRECARE DANNO AGLI OBIETTIVI AMBIENTALI**

ENEA

I PROTOTIPI 4 e 5 del progetto DRAGON verranno validati presso i laboratori del Centro Ricerche della Casaccia, del Centro Ricerche di Portici, e dei laboratori di ATENA Scarl (Napoli) in un setup sperimentale attualmente operativo secondo le direttive di legge riguardanti l'utilizzo e la manipolazione di sostanze infiammabili ed esplosive.

Nelle attività di validazione dell'OR6, le condizioni di emergenza e le eventuali condizioni di rilascio accidentale (di composti a base idrogeno, di gas refrigeranti, altre emissioni climalteranti), saranno analizzate allo scopo di realizzare tutte le necessarie misure di mitigazione degli impatti.

## 5. CRONOPROGRAMMA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>OR1</b>																														
OR1.1																														
OR1.2																														
OR1.3																														
OR1.4																														
OR1.5																														
<b>OR2</b>																														
OR2.1																														
OR2.2																														
OR2.3																														
OR2.4																														
<b>OR3</b>																														
OR3.1																														
OR3.2																														
OR3.3																														
OR3.4																														
OR3.5																														
<b>OR4</b>																														
OR4.1																														
OR4.2																														
OR4.3																														
OR4.4																														
<b>OR5</b>																														
OR5.1																														
OR5.2																														
OR5.3																														
<b>OR6</b>																														
OR6.1																														
OR6.2																														
OR6.3																														
<b>OR7</b>																														
OR7.1																														
OR7.2																														
OR7.3																														
OR7.4																														
OR7.5																														

### 5.1. CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITÀ

OR	Soggetto proponente	Titolo OR	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5
<b>OR1</b>	UNITO	Materiali – ottimizzazione delle composizioni per la purificazione e compressione di idrogeno e per l’immagazzinamento di calore	Completamento della Task OR1.5 Realizzazione di calcoli ab-initio e Calphad che verranno utilizzati come supporto alla parte sperimentale, per identificare le composizioni più idonee per le tasks di OR1.		Completamento task OR1.2-OR1.4 Individuazione e caratterizzazione delle leghe più idonee per applicazioni di stoccaggio H <sub>2</sub> e termico Realizzazione del prototipo 3		Completamento task OR1.1 - OR1.3 – OR1.5 Individuazione e caratterizzazione delle leghe più idonee per purificazione e compressione H <sub>2</sub> Test del prototipo 3
<b>OR2</b>	CNR	Ottimizzazione dei processi di sintesi dei materiali e sostenibilità	Identificazione delle prime leghe da sintetizzare e caratterizzare in OR2.1-2.2		Prima campagna sperimentale in OR2.1-2.2 e calibrazione	Completamento task OR2.1	Test del prototipo 1

			Setup test bench per prove sperimentali in OR2.1-2.2-2.3-2.4		dei risultati anche in parallelo a OR1	Primi risultati sperimentali di OR2.3-2.4 Realizzazione e prototipo 1	Completamento task OR2.2-2.3-2.4
<b>OR3</b>	CNR	Ottimizzazione del management termico e definizione delle interfacce del sistema DRAGON	Completamento OR3.1 e definizione delle condizioni di funzionamento anche per identificazione dei migliori sistemi di accumulo		Design delle interfacce termiche (scambiatori di calore) e loro ottimizzazioni e (anche tramite analisi numerica) e degli scambi termici	Sviluppo di modelli di gestione dinamica – completamento OR3.3 – validazione dei modelli tramite un prototipo di sistema integrato (TES+ MH) in laboratorio	Validazione dei modelli di gestione dinamica e controllo del sistema integrato (gestione accumuli termici e H <sub>2</sub> )
<b>OR4</b>	UNIGE	Analisi di integrazione e replicabilità del sistema di stoccaggio DRAGON (integrazione in applicazioni innovative, analisi termoeconomica, scale up, pre-prototipazione, controllo...)	Sviluppo modelli per OR4.2-4.3 Design del sistema per OR4.1 anche alla luce dei risultati preliminari di OR1-2-3 Identificazione casi studio da analizzare in OR4.2-4.3		Finalizzazione e del prototipo 4 Raccolta dati utili per simulazioni OR4.2-4.3	Validazione dei modelli OR4.2-4.3 anche grazie ai risultati di OR6	Validazione e refinement dei modelli sviluppati nei task di OR4 – definizione di linee guida per upscale e replication
<b>OR5</b>	UNIPAR	Sistemi di stoccaggio idrogeno per applicazioni di mobilità	Analisi delle condizioni operative per il prototipo 5	Modellazione 3D e design del prototipo Completamento OR5.1	Finalizzazione del prototipo 5		Analisi costi benefici e linee guida per scale up e replication
<b>OR6</b>	ENEA	Testing e validazione sistemi di stoccaggio	Sviluppo di un KPI panel per la campagna sperimentale e preparazione dell'apparato sperimentale		Test dei prototipi 4-5		
<b>OR7</b>	UNITO	Impatto e politiche nazionali	In collaborazione con OR4, analisi dei potenziali scenari applicativi del sistema DRAGON per studiarne aspetti normativi e di replicabilità (business and market analysis)		Raccolta dati da OR1-2-3-4-5 per lo sviluppo di modelli LCA	Completamento task OR7.1-7.4-7.5	Analisi dell'impatto che DRAGON può avere sullo "scenario idrogeno" italiano e sulle policy nazionali

## 5.2. CRONOPROGRAMMA REALIZZATIVO

OR	Soggetto proponente	Titolo OR	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5
OR1	UNITO	Materiali – ottimizzazione delle composizioni per la purificazione e compressione di idrogeno e per l’immagazzinamento di calore	Individuazione della più idonea sintesi tra le leghe studiate per applicazioni di compressione e stoccaggio grazie a calcoli teorici e prime caratterizzazioni		Caratterizzazione delle proprietà termo-fisico-chimiche delle leghe identificate e realizzazione del prototipo 3		Ottimizzazione e di una procedura di sintesi degli idruri identificati per applicazioni di compressione e stoccaggio
OR2	CNR	Ottimizzazione dei processi di sintesi dei materiali e sostenibilità	Individuazione della più idonea sintesi tra le leghe studiate (TiFe e HEA)		Individuazione dei parametri termici e cinetici della lega scelta quale materiale assorbente;		Ottimizzazione e di una procedura di purificazione degli idruri contaminati
OR3	CNR	Ottimizzazione del management termico e definizione delle interfacce del sistema DRAGON	Analisi delle condizioni operative e sviluppo di un sistema di simulazione della gestione termica e dell’integrazione del sistema energetico		Simulazione del design del reattore ad idruri. Realizzazione del sistema integrato in scala laboratorio.		Test sperimentale e validazione delle logiche di controllo sviluppate.
OR4	UNIGE	Analisi di integrazione e replicabilità del sistema di stoccaggio DRAGON (integrazione in applicazioni innovative, analisi termoeconomica, scale up, pre-prototipazione, controllo...)	Design del prototipo (sistema di stoccaggio DRAGON per applicazioni stazionarie) Sviluppo dei modelli e identificazione dei casi studio da modellare/validare		Realizzazione e commissioning del prototipo (sistema di stoccaggio DRAGON per applicazioni stazionarie) Setup dell’impianto sperimentale (insieme ad OR6) per la validazione dei modelli di OR4.2-4.3 alla luce dei risultati di OR1-2-3 e dei casi studio individuati in anno I		Validazione dei modelli anche grazie a risultati OR6 Benchmark delle tecnologie di accumulo idrogeno competitors alla luce dei risultati di OR4.2-4.3
OR5	UNIPAR	Sistemi di stoccaggio idrogeno per applicazioni di mobilità	Design del prototipo (sistema di stoccaggio DRAGON per applicazioni di mobilità) Sviluppo dei modelli 3D, di performance stazionarie e dinamiche		Realizzazione e commissioning del prototipo (sistema di stoccaggio DRAGON per applicazioni di mobilità)		Validazione dei modelli anche grazie a risultati OR6 e redazione linee guida per replicazione e upscale
OR6	ENEA	Testing e validazione sistemi di stoccaggio	Attività preparatorie alla campagna sperimentale in concerto con OR4-5		Validazione dei prototipi 4-5 e dei modelli di OR4-5 – monitoraggio delle performance di		

				progetto grazie a KPI Panel sviluppato in OR6.1	
<b>OR7</b>	UNITO	Impatto e politiche nazionali	Primo assessment degli aspetti di compatibilità normativa (e di certificazione materiali/prodotto) per studiare commerciabilità sistemi DRAGON	Valutazione di business model e procedure autorizzative per l'applicazione del sistema DRAGON nei casi studio di replicabilità individuati in OR4	Analisi dell'impatto che DRAGON può avere sullo "scenario idrogeno" italiano e sulle policy nazionali

### 5.3. CRONOPROGRAMMA DI SPESA

Soggetto proponente	Anno I (12 mesi)	Anno II (12 mesi)	Anno III (6 mesi)
UNITO	OR1: 40% OR7: 45%	OR1: 45% OR7: 40%	OR1: 15% OR7: 15%
CNR	OR2: 40% OR3: 30%	OR2: 40% OR3: 50 %	OR2: 20% OR3: 20%
UNIGE	OR4: 40%	OR4: 43%	OR4: 17%
UNIPAR	OR5: 30%	OR5: 40%	OR5: 30%
ENEA	OR6: 30%	OR6: 50%	OR6: 20%



## 6. RISORSE FINANZIARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO

(Nel caso di progetto congiunto fornire le seguenti informazioni per singolo soggetto proponente)

**DISCLAIMER:** la compilazione delle seguenti tabelle da parte dei proponenti è purtroppo avvenuta seguendo approcci diversi da parte di ciascun ente, non essendo chiaro il genere di informazione che gli organismi di ricerca proponenti (finanziati al 100% in questo programma) possono inserire nelle seguenti tabelle.

Quando non specificato, gli importi si riferiscono interamente alle attività previste per il progetto.

Tutti gli importi sono espressi in Euro.

UNITO

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA						
FABBISOGNO	Anno (1)	Anno (2)	Anno (3)			
Spese previste ammissibili (1)	85697,00	85697,00	30246,00			
IVA	18853,00	18853,00	6654,00			
<i>Totale</i>	<i>104550,00</i>	<i>104550,00</i>	<i>36900,00</i>			
FONTI DI COPERTURA						
Eccedenza fonti anno precedente						
Apporto di mezzi propri/finanziamento soci						
Erogazioni contributo alla spesa	104550,00	104550,00	36900,00			
Debiti verso fornitori (2)						
Cash-flow						
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)						
Altro						
<i>Totale</i>	<i>104550,00</i>	<i>104550,00</i>	<i>36900,00</i>			

(1) Le spese previste, e non i costi, ammissibili sono pari al totale delle spese meno quelle relative al personale interno ed alle spese generali.

(2) I debiti verso fornitori devono risultare coerenti con la ripartizione annua degli impegni e l'importo previsto in un anno diventa fabbisogno dell'anno successivo. Eventuali altre forme di copertura derivanti da indebitamento devono risultare, nel loro ammontare complessivo, accessibili e sostenibili da parte del soggetto richiedente.

CNR

**LEGENDA:** la compilazione della seguente tabella è avvenuta seguendo i seguenti criteri:

- Scopo della legenda è dimostrare che l'istituzione è in grado di sopperire alla copertura finanziaria di tutte le spese previste dal progetto.

- Sono previsti un anticipo del 10% e SAL annuali.

- Inserimento alla voce spese dei costi di materiali e consulenze anno per anno di progetto

- Previsione per anno 1 e 2 di un anticipo da parte del CNR da fondi di rotazione ricerca come anticipo di copertura, da recuperare con il SAL immediatamente successivo.

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA						
FABBISOGNO	Anno (1)	Anno (2)	Anno (3)			
Spese previste ammissibili (1)	84000,00	141000,00	107000,00			
IVA	18480,00	31020,00	23540,00			
<i>Totale</i>	<i>102480,00</i>	<i>172020,00</i>	<i>130540,00</i>			
FONTI DI COPERTURA						
Eccedenza fonti anno precedente		-32800,00	-40050,00			

Apporto di mezzi propri/finanziamento soci						
Erogazioni contributo alla spesa	70200,00	163800,00	234000,00			
Debiti verso fornitori (2)						
Cash-flow						
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)						
Altro	32280,00	40050,00				
<b>Totale</b>	<b>102480,00</b>	<b>172020,00</b>	<b>193950,00</b>			

(1) Le spese previste, e non i costi, ammissibili sono pari al totale delle spese meno quelle relative al personale interno ed alle spese generali.

(2) I debiti verso fornitori devono risultare coerenti con la ripartizione annua degli impegni e l'importo previsto in un anno diventa fabbisogno dell'anno successivo. Eventuali altre forme di copertura derivanti da indebitamento devono risultare, nel loro ammontare complessivo, accessibili e sostenibili da parte del soggetto richiedente.

UNIGE

**LEGENDA:** la compilazione della seguente tabella è avvenuta seguendo il seguente criterio:

- Previsione di un SAL e di una rendicontazione annuale del progetto che permette all'ente di vedere rimborsati dall'ente finanziatore i costi rendicontati nell'anno precedente
- Inserimento alla voce spese dei costi di materiali e consulenze anno per anno
- Previsione per anno 1 di un anticipo da parte dell'ateneo per vedere coperti i costi di spese dirette sostenuti in anno 1. Tale anticipo verrà rimborsato alla rendicontazione dell'anno 1.

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA				
FABBISOGNO	Anno (1)	Anno (2)	Anno (3)	Anno (4)
Spese previste ammissibili (1)	50700,00	62400,00	12090,00	
IVA	14300,00	17600,00	3410,00	
<b>Spese Totale</b>	<b>65000,00</b>	<b>80000,00</b>	<b>15500,00</b>	
FONTI DI COPERTURA				
Eccedenza fonti anno precedente		-65000,00	52421,88	253093,76
Apporto di mezzi propri/finanziamento soci				
Erogazioni contributo alla spesa		197421,88	216171,88	86406,25
Debiti verso fornitori (2)				
Cash-flow		-52421,88	253093,76	339500
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)				
Altro: Anticipo da parte dell'Ateneo	65000,00			
<b>Ricavi totali</b>	<b>0</b>	<b>132421,88</b>	<b>268593,76</b>	<b>339500</b>

(1) Le spese previste, e non i costi, ammissibili sono pari al totale delle spese meno quelle relative al personale interno ed alle spese generali.

(2) I debiti verso fornitori devono risultare coerenti con la ripartizione annua degli impegni e l'importo previsto in un anno diventa fabbisogno dell'anno successivo. Eventuali altre forme di copertura derivanti da indebitamento devono risultare, nel loro ammontare complessivo, accessibili e sostenibili da parte del soggetto richiedente.

UNIPAR

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA					
FABBISOGNO	Anno (1)	Anno (2)	Anno (3)		

Spese previste ammissibili (1)	50000,00	100000,00	50000,00			
IVA	11000,00	22000,00	11000,00			
<i>Totale</i>	<i>61000,00</i>	<i>122000,00</i>	<i>61000,00</i>			
<b>FONTI DI COPERTURA</b>						
Eccedenza fonti anno precedente						
Apporto di mezzi propri/finanziamento soci						
Erogazioni contributo alla spesa	61000,00	122000,00	61000,00			
Debiti verso fornitori (2)						
Cash-flow						
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)						
Altro						
<i>Totale</i>	<i>61000,00</i>	<i>122000,00</i>	<i>61000,00</i>			

(1) Le spese previste, e non i costi, ammissibili sono pari al totale delle spese meno quelle relative al personale interno ed alle spese generali.

(2) I debiti verso fornitori devono risultare coerenti con la ripartizione annua degli impegni e l'importo previsto in un anno diventa fabbisogno dell'anno successivo. Eventuali altre forme di copertura derivanti da indebitamento devono risultare, nel loro ammontare complessivo, accessibili e sostenibili da parte del soggetto richiedente.

ENEA

<b>PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA</b>						
<b>FABBISOGNO</b>	<b>Anno (1)</b>	<b>Anno (2)</b>	<b>Anno (3)</b>			
Spese previste ammissibili (1)	24590,16	40983,61	16393,44			
IVA	5409,84	9016,39	3606,56			
<i>Totale</i>	<i>30000,00</i>	<i>50000,00</i>	<i>20000,00</i>			
<b>FONTI DI COPERTURA</b>						
Eccedenza fonti anno precedente						
Apporto di mezzi propri/finanziamento soci						
Erogazioni contributo alla spesa	30.000,00	50.000,00	20.000,00			
Debiti verso fornitori (2)						
Cash-flow						
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)						
Altro						
<i>Totale</i>	<i>30.000,00</i>	<i>50.000,00</i>	<i>20.000,00</i>			

(1) Le spese previste, e non i costi, ammissibili sono pari al totale delle spese meno quelle relative al personale interno ed alle spese generali.

(2) I debiti verso fornitori devono risultare coerenti con la ripartizione annua degli impegni e l'importo previsto in un anno diventa fabbisogno dell'anno successivo. Eventuali altre forme di copertura derivanti da indebitamento devono risultare, nel loro ammontare complessivo, accessibili e sostenibili da parte del soggetto richiedente.

**SINTESI NUMERICA DEL PIANO DI SVILUPPO - UNITO**

**Tab.1 – Costi del progetto**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Spesa prevista</b>	<b>Percentuale di imputazione al progetto</b>	<b>Costo ammissibile</b>	<b>Costo regioni Centro-Nord</b>	<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	<b>479100 €</b>	<b>100</b>	<b>479100 €</b>	<b>479100 €</b>	<b>0 €</b>
<i>Totale A.1.1</i>	<b>479100 €</b>	<b>100</b>	<b>479100 €</b>	<b>479100 €</b>	<b>0 €</b>
<i>A.1.2 Spese generali</i>	<b>174525 €</b>	<b>100</b>	<b>174525 €</b>	<b>174525 €</b>	<b>0 €</b>
<i>Totale A.1.2</i>	<b>174525 €</b>	<b>100</b>	<b>179880 €</b>	<b>179880 €</b>	<b>0 €</b>
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>	<b>200000 €</b>	<b>40</b>	<b>80000 €</b>	<b>80000 €</b>	<b>0 €</b>
<i>Totale A.1.3</i>	<b>200000 €</b>	<b>40</b>	<b>80000 €</b>	<b>80000 €</b>	<b>0 €</b>
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>	<b>27000 €</b>	<b>100</b>	<b>27000 €</b>	<b>27000 €</b>	<b>0 €</b>
<i>Totale A.1.4</i>	<b>27000 €</b>	<b>100</b>	<b>27000 €</b>	<b>27000 €</b>	<b>0 €</b>
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>	<b>139000 €</b>	<b>100</b>	<b>139000 €</b>	<b>139000 €</b>	<b>0 €</b>
<i>Totale A.1.5</i>	<b>139000 €</b>	<b>100</b>	<b>139000 €</b>	<b>139000 €</b>	<b>0 €</b>
<b>Totale generale A.1) Attività di ricerca</b>	<b>1019625 €</b>	<b>100</b>	<b>899625 €</b>	<b>899625 €</b>	<b>0 €</b>

**Tab.1.bis – Costi del progetto – dettaglio ripartizione regioni/province autonome**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Costo regioni Centro-nord</b>		<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>	
	<b>Costo regione Piemonte</b>		<b>Costo regione/provincia autonoma 1</b>	<b>Costo regione/provincia autonoma n</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	<b>479100 €</b>			
<i>Totale A.1.1</i>	<b>479100 €</b>			
<i>A.1.2 Spese generali</i>	<b>174525 €</b>			
<i>Totale A.1.2</i>	<b>174525 €</b>			
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>	<b>80000 €</b>			
<i>Totale A.1.3</i>	<b>80000 €</b>			
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>	<b>27000 €</b>			
<i>Totale A.1.4</i>	<b>27000 €</b>			
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>	<b>139000 €</b>			
<i>Totale A.1.5</i>	<b>139000 €</b>			
<b>Totale generale A.1) Attività di ricerca</b>	<b>899625 €</b>			

**Tab.2 – Impegno e costo del personale impegnato nel progetto**

Tipologia soggetto proponente:

**Imprese**

~~Ente pubblico~~

di cui

**EPR**

~~Università~~

Tipologia personale	Dettaglio	N° addetti	Di cui donne	N. ore totali	Costo orario	Costo totale
Personale tipo 1	Dirigenti/ Professori ordinari/ Ricercatori e Tecnologi I e II liv	1	0	875	86,40	75600
Personale tipo 2	Quadri/ Professori associati/ Ricercatori e Tecnologi III liv	9	5	4875	49,75	242500
Personale tipo 3	Impiegati/ Ricercatori universitari/ Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/ Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici	2	1	1125	36,45	41000
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)	5	2	7500	16	120000
<b>Totale</b>		17	8	14375		479100

Indicare per il personale dipendente il costo orario stimato secondo quanto previsto nell'allegato Criteri per la determinazione dei costi ammissibili

## TABELLE DI DETTAGLIO

**Tab.3 – Personale impegnato per obiettivo realizzativo**

OR	Personale tipo 1 (ore uomo)	Personale tipo 2 (ore uomo)	Personale tipo 3 (ore uomo)	Personale tipo 4 (ore uomo)	Personale tipo 5 (ore uomo)	Totale Personale per Obiettivo (ore uomo)	Di cui ore uomo in regioni Centro- nord	Di cui ore uomo in regioni Mezzogiorno
<b>1</b>	<b>1 unità (875)</b>	<b>6 unità (3375)</b>	<b>2 unità (1125)</b>		<b>3 unità (4500)</b>	<b>12 unità (9875)</b>	<b>12 unità (9875)</b>	<b>0</b>
<b>7</b>		<b>3 unità (1500)</b>			<b>2 unità (3000)</b>	<b>5 unità (4500)</b>	<b>5 unità (4500)</b>	<b>0</b>
<b>TOTALE:</b>	<b>1 unità (875)</b>	<b>9 unità (4875)</b>	<b>2 unità (1125)</b>		<b>5 unità (7500)</b>	<b>17 unità (14375)</b>	<b>17 unità (14375)</b>	<b>0</b>
<b>COSTO ORARIO</b>	<b>86,40</b>	<b>49,75</b>	<b>36,45</b>		<b>16</b>			

**Tab.4 – Attrezzature e strumentazioni**

Attrezzature e strumentazioni	Spesa prevista (€) al netto di IVA	Indicazione degli OR per i quali il bene è utilizzato	Periodo di ammortamento fiscale del bene (mesi)	Periodo di utilizzo nel progetto (mesi)	Percentuale di imputazione al progetto <sup>9</sup>	Costo ammissibile (€)	Costo ammissibile di cui in regioni Centro-nord	Costo ammissibile di cui in regioni Mezzogiorno
Diffratometro di raggi X	200000	OR1	60	24	100	80000	80000	
OR7 non sono previsti acquisti di apparecchiature e strumentazioni								
<b>TOTALE di cui:</b>	200000	OR1	24	24	100	80000	80000	

<sup>9</sup> Nel caso in cui il bene è utilizzato contemporaneamente per altre attività non rientranti nel progetto di ricerca proposto, indicare la percentuale di imputazione del bene al progetto.

**SINTESI NUMERICA DEL PIANO DI SVILUPPO - CNR**

**Tab.1 – Costi del progetto**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Spesa prevista</b>	<b>Percentuale di imputazione al progetto</b>	<b>Costo ammissibile</b>	<b>Costo regioni Centro-Nord</b>	<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	357.788,72 € (ITAE) 69.200,64 € (ISC) 63.371,64 € (ICMATE)	100	357.788,72 € (ITAE) 69.200,64 € (ISC) 63.371,64 € (ICMATE)	69.200,64 € (ISC) 63.371,64 € (ICMATE)	357.788,72 € (ITAE)
<i>Totale A.1.1</i>	<b>490.361,00 €</b>	100	<b>490.361,00 €</b>	<b>132.572,28 €</b>	<b>357.788,72 €</b>
<i>A.1.2 Spese generali</i>	133.197,18 € (ITAE) 19.800,16 € (ISC) 19.592,75 € (ICMATE)	100	133.197,18 € (ITAE) 19.800,16 € (ISC) 19.592,75 € (ICMATE)	19.800,16 € (ISC) 19.592,75 € (ICMATE)	133.197,18 € (ITAE)
<i>Totale A.1.2</i>	<b>172.590,25 €</b>	100	<b>172.590,25 €</b>	<b>39.393,07 €</b>	<b>133.197,18 €</b>
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>					
<i>Totale A.1.3</i>					
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>	<b>36.000,00 €</b>	100	<b>36.000,00 €</b>		<b>36.000,00 € (ITAE)</b>
<i>Totale A.1.4</i>	<b>36.000,00 €</b>	100	<b>36.000,00 €</b>		<b>36.000,00 €</b>
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>	175.000,00 € (ITAE) 10.000,00 € (ISC) 15.000,00 € (ICMATE)	100	175.000,00 € (ITAE) 10.000,00 € (ISC) 15.000,00 € (ICMATE)	10.000,00 € (ISC) 15.000,00 € (ICMATE)	175.000,00 € (ITAE)
<i>Totale A.1.5</i>	<b>200.000,00 €</b>	100	<b>200.000,00 €</b>	<b>25.000,00 €</b>	<b>175.000,00 €</b>
<b><i>Totale generale A.1) Attività di ricerca</i></b>	<b>898.951,25 €</b>	100	<b>898.951,25 €</b>	<b>196.965,35 €</b>	<b>701.985,90 € (ITAE)</b>

**Tab.1.bis – Costi del progetto – dettaglio ripartizione regioni/province autonome**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Costo regioni Centro-nord</b>		<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>	
	<b>Costo regione Lombardia</b>	<b>Costo regione Lazio</b>		<b>Costo regione autonoma (Sicilia)</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	63.371,64 €	69.200,64 €		357.788,72 €
<i>Totale A.1.1</i>				
<i>A.1.2 Spese generali</i>	19.592,75 €	19.800,16 €		133.197,18 €
<i>Totale A.1.2</i>				
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>				
<i>Totale A.1.3</i>				
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>				<b>36.000,00 €</b>
<i>Totale A.1.4</i>				
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>	<b>15.000,00 €</b>	<b>10.000,00 €</b>		<b>175.000,00 €</b>
<i>Totale A.1.5</i>				



<i>Totale generale A.1) Attività di ricerca</i>	<b>97.964,39 €</b>	<b>99.000,80 €</b>		<b>701.985,90 €</b>
---	--------------------	--------------------	--	---------------------

**Tab.2 – Impegno e costo del personale impegnato nel progetto**

**Tipologia soggetto proponente:**

**Imprese**

~~Ente pubblico~~ di cui

~~EPR~~ **Università**

<b>Tipologia personale</b>	<b>Dettaglio</b>	<b>N° addetti</b>	<b>Di cui donne</b>	<b>N. ore totali</b>	<b>Costo orario</b>	<b>Costo totale</b>
Personale tipo 1	Dirigenti/	3(ITAE)	0	2679,43	60,32	161.622,96
	Professori ordinari/	1(ICMATE)	0	125	81,36	10.169,38
	Ricercatori e Tecnologi I e II liv	1(ISC)	1	321	71,64	22.996,44
Personale tipo 2	Quadri/	1(ITAE)	0	2459,80	40,72	100.165,76
	Professori associati/	2(ICMATE)	1	438	39,27	17.202,26
	Ricercatori e Tecnologi III liv	2(ISC)	2	1134	40,80	46.204,2
Personale tipo 3	Impiegati/					
	Ricercatori universitari/					
	Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/					
	Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici					
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)	2(ITAE)		6080		96.000,00
		1(ICMATE)		2280		36000
<b>Totale</b>		13	4	15.517,23		490.361,00

Indicare per il personale dipendente il costo orario stimato secondo quanto previsto nell'allegato Criteri per la determinazione dei costi ammissibili

## TABELLE DI DETTAGLIO

**Tab.3 – Personale impegnato per obiettivo realizzativo**

OR	Personale tipo 1 (ore uomo)	Personale tipo 2 (ore uomo)	Personale tipo 3 (ore uomo)	Personale tipo 4 (ore uomo)	Personale tipo 5 (ore uomo)	Totale Personale per Obiettivo (ore uomo)	Di cui ore uomo in regioni Centro-nord	Di cui ore uomo in regioni Mezzogiorno
<b>OR2</b>	<b>2 unità (446)</b>	<b>5 unità (4.031,8)</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2 unità (5.320)</b>	<b>9 unità (9.797,8)</b>	<b>4.298</b>	<b>5.499,8</b>
<b>OR3</b>	<b>3 unità (2.679,4)</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1 unità (3.040)</b>	<b>4 unità (5.719,4)</b>	<b>-</b>	<b>5.719,4</b>
<b>TOTALE:</b>	<b>3.125,43</b>	<b>4.031,8</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8.360</b>	<b>15.517,2</b>	<b>4.298</b>	<b>11.219,2</b>
<b>COSTO ORARIO</b>								

**Tab.4 – Attrezzature e strumentazioni**

Attrezzature e strumentazioni	Spesa prevista (€) al netto di IVA	Indicazione degli OR per i quali il bene è utilizzato	Periodo di ammortamento fiscale del bene (mesi)	Periodo di utilizzo nel progetto (mesi)	Percentuale di imputazione al progetto <sup>9</sup>	Costo ammissibile (€)	Costo ammissibile di cui in regioni Centro-nord	Costo ammissibile di cui in regioni Mezzogiorno
<b>OR2 non sono previsti acquisti di apparecchiature e strumentazioni</b>								
<b>OR3 non sono previsti acquisti di apparecchiature e strumentazioni</b>								
<b>TOTALE di cui:</b>								

<sup>9</sup> Nel caso in cui il bene è utilizzato contemporaneamente per altre attività non rientranti nel progetto di ricerca proposto, indicare la percentuale di imputazione del bene al progetto.

**SINTESI NUMERICA DEL PIANO DI SVILUPPO - UNIGE**

**Tab.1 – Costi del progetto**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Spesa prevista</b>	<b>Percentuale di imputazione al progetto</b>	<b>Costo ammissibile</b>	<b>Costo regioni Centro-Nord</b>	<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	<b>253250 €</b>	<b>100%</b>	<b>253250 €</b>	<b>253250 €</b>	
<i>Totale A.1.1</i>	<b>253250 €</b>				
<i>A.1.2 Spese generali</i>	<b>86000 €</b>	<b>100%</b>	<b>86000 €</b>	<b>86000 €</b>	
<i>Totale A.1.2</i>	<b>86000 €</b>				
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>					
<i>Totale A.1.3</i>					
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>	<b>70000 €</b>	<b>100%</b>	<b>70000 €</b>	<b>70000 €</b>	
<i>Totale A.1.4</i>	<b>70000 €</b>				
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>	<b>90750 €</b>	<b>100%</b>	<b>90750 €</b>	<b>90750 €</b>	
<i>Totale A.1.5</i>	<b>90750 €</b>				
<b>Totale generale A.1) Attività di ricerca</b>	<b>500000 €</b>	<b>100%</b>	<b>500000 €</b>	<b>500000 €</b>	

**Tab.1.bis – Costi del progetto – dettaglio ripartizione regioni/province autonome**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Costo regioni Centro-nord</b>		<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>	
	<b>Costo regione LIGURIA</b>	<b>Costo regione/provincia autonoma <i>n</i></b>	<b>Costo regione/provincia autonoma 1</b>	<b>Costo regione/provincia autonoma <i>n</i></b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	<b>253250 €</b>			
<i>Totale A.1.1</i>	<b>253250 €</b>			
<i>A.1.2 Spese generali</i>	<b>86000 €</b>			
<i>Totale A.1.2</i>	<b>86000 €</b>			
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>				
<i>Totale A.1.3</i>				
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>	<b>70000 €</b>			
<i>Totale A.1.4</i>	<b>70000 €</b>			
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>	<b>90750 €</b>			
<i>Totale A.1.5</i>	<b>90750 €</b>			
<b>Totale generale A.1) Attività di ricerca</b>	<b>500000 €</b>			

**Tab.2 – Impegno e costo del personale impegnato nel progetto**

**Tipologia soggetto proponente:**

**Imprese**

~~Ente pubblico~~ di cui

**EPR**

~~Università~~

<b>Tipologia personale</b>	<b>Dettaglio</b>	<b>N° addetti</b>	<b>Di cui donne</b>	<b>N. ore totali</b>	<b>Costo orario</b>	<b>Costo totale</b>
Personale tipo 1	Dirigenti/ Professori ordinari/ Ricercatori e Tecnologi I e II liv	2	1	1000	77 €	77000 €
Personale tipo 2	Quadri/ Professori associati/ Ricercatori e Tecnologi III liv	2	0	750	55 €	41250 €
Personale tipo 3	Impiegati/ Ricercatori universitari/ Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/ Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici	2	1	750	40 €	30000 €
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)	4	1	3500		105000
<b>Totale</b>		<b>10</b>	<b>3</b>	<b>6000</b>		<b>253250 €</b>

Indicare per il personale dipendente il costo orario stimato secondo quanto previsto nell'allegato Criteri per la determinazione dei costi ammissibili

## TABELLE DI DETTAGLIO

**Tab.3 – Personale impegnato per obiettivo realizzativo**

OR	Personale tipo 1 (ore uomo)	Personale tipo 2 (ore uomo)	Personale tipo 3 (ore uomo)	Personale tipo 4 (ore uomo)	Personale tipo 5 (ore uomo)	Totale Personale per Obiettivo (ore uomo)	Di cui ore uomo in regioni Centro-nord	Di cui ore uomo in regioni Mezzogiorno
<b>OR4</b>	<b>2 unità (1000)</b>	<b>2 unità (750)</b>	<b>2 unità (750)</b>	<b>-</b>	<b>4 unità (3500)</b>	<b>10 unità (6000)</b>	<b>6000</b>	<b>0</b>
<b>TOTALE:</b>	<b>77000 €</b>	<b>41250 €</b>	<b>30000 €</b>		<b>105000 €</b>			
<b>COSTO ORARIO</b>	<b>77 €</b>	<b>55 €</b>	<b>40 €</b>		<b>30 €</b>			

**Tab.4 – Attrezzature e strumentazioni**

*(Nel caso di progetto congiunto la seguente tabella deve essere compilata con riferimento a ciascuno dei soggetti proponenti)*

Attrezzature e strumentazioni	Spesa prevista (€) al netto di IVA	Indicazione degli OR per i quali il bene è utilizzato	Periodo di ammortamento fiscale del bene (mesi)	Periodo di utilizzo nel progetto (mesi)	Percentuale di imputazione al progetto <sup>9</sup>	Costo ammissibile (€)	Costo ammissibile di cui in regioni Centro-nord	Costo ammissibile di cui in regioni Mezzogiorno
<b>TOTALE di cui:</b>								

<sup>9</sup> Nel caso in cui il bene è utilizzato contemporaneamente per altre attività non rientranti nel progetto di ricerca proposto, indicare la percentuale di imputazione del bene al progetto.



**SINTESI NUMERICA DEL PIANO DI SVILUPPO - UNIPAR**

**Tab.1 – Costi del progetto (UniParthenope)**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Spesa prevista</b>	<b>Percentuale di imputazione al progetto</b>	<b>Costo ammissibile</b>	<b>Costo regioni Centro-Nord</b>	<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>					
<i>Totale A.1.1</i>	<b>371.860</b>	<b>100%</b>	<b>371.860</b>		<b>371.860</b>
<i>A.1.2 Spese generali</i>					
<i>Totale A.1.2</i>	<b>134.140</b>	<b>100%</b>	<b>134.140</b>		<b>134.140</b>
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>					
<i>Totale A.1.3</i>	<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>					
<i>Totale A.1.4</i>	<b>79.300</b>	<b>100%</b>	<b>79.300</b>		<b>79.300</b>
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>					
<i>Totale A.1.5</i>	<b>164.700</b>	<b>100%</b>	<b>164.700</b>		<b>164.700</b>
<b>Totale generale A.1) Attività di ricerca</b>	<b>750.000</b>	<b>100%</b>	<b>750.000</b>		<b>750.000</b>

**Tab.1.bis – Costi del progetto – dettaglio ripartizione regioni/province autonome**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Costo regioni Centro-nord</b>		<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>	
	<b>Costo regione/provincia autonoma 1</b>	<b>Costo regione/provincia autonoma n</b>	<b>Costo regione Campania</b>	<b>Costo regione/provincia autonoma n</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>				
<i>Totale A.1.1</i>			<b>371.860</b>	
<i>A.1.2 Spese generali</i>				
<i>Totale A.1.2</i>			<b>134.140</b>	
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>				
<i>Totale A.1.3</i>				
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>				
<i>Totale A.1.4</i>			<b>79.300</b>	
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>				
<i>Totale A.1.5</i>			<b>164.700</b>	
<b>Totale generale A.1) Attività di ricerca</b>			<b>750.000</b>	

**Tab.2 – Impegno e costo del personale impegnato nel progetto**

**Tipologia soggetto proponente:**

**Imprese**

~~Ente  
pubblico~~ di cui

**EPR**

~~Università~~

<b>Tipologia personale</b>	<b>Dettaglio</b>	<b>N° addetti</b>	<b>Di cui donne</b>	<b>N. ore totali</b>	<b>Costo orario</b>	<b>Costo totale</b>
Personale tipo 1	Dirigenti/ Professori ordinari/ Ricercatori e Tecnologi I e II liv	3	1	1500	77,4	116.000
Personale tipo 2	Quadri/ Professori associati/ Ricercatori e Tecnologi III liv	3	2	400	48,5	19.400
Personale tipo 3	Impiegati/ Ricercatori universitari/ Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/ Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici	2 1	 ?	800 3750	38,0 37,3	15.200 125.000
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)	1	?	3000		96.000
<b>Totale</b>		10	3+?	9050	41,1	371.600

Indicare per il personale dipendente il costo orario stimato secondo quanto previsto nell'allegato Criteri per la determinazione dei costi ammissibili

## TABELLE DI DETTAGLIO

**Tab.3 – Personale impegnato per obiettivo realizzativo**

*(Nel caso di progetto congiunto la seguente tabella deve essere compilata con riferimento a ciascuno dei soggetti proponenti)*

OR	Personale tipo 1 (ore uomo)	Personale tipo 2 (ore uomo)	Personale tipo 3 (ore uomo)	Personale tipo 4 (ore uomo)	Personale tipo 5 (ore uomo)	Totale Personale per Obiettivo (ore uomo)	Di cui ore uomo in regioni Centro- nord	Di cui ore uomo in regioni Mezzogiorno
<b>OR5</b>	<b>1500</b>	<b>400</b>	<b>4150</b>		<b>3000</b>	<b>9050</b>		<b>9050</b>
<b>TOTALE:</b>								
<b>COSTO ORARIO</b>								

**Tab.4 – Attrezzature e strumentazioni**

Attrezzature e strumentazioni	Spesa prevista (€) al netto di IVA	Indicazione degli OR per i quali il bene è utilizzato	Periodo di ammortamento fiscale del bene (mesi)	Periodo di utilizzo nel progetto (mesi)	Percentuale di imputazione al progetto <sup>9</sup>	Costo ammissibile (€)	Costo ammissibile di cui in regioni Centro-nord	Costo ammissibile di cui in regioni Mezzogiorno
<b>TOTALE di cui:</b>								

<sup>9</sup> Nel caso in cui il bene è utilizzato contemporaneamente per altre attività non rientranti nel progetto di ricerca proposto, indicare la percentuale di imputazione del bene al progetto.

**SINTESI NUMERICA DEL PIANO DI SVILUPPO - ENEA**

**Tab.1 – Costi del progetto**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Spesa prevista</b>	<b>Percentuale di imputazione al progetto</b>	<b>Costo ammissibile</b>	<b>Costo regioni Centro-Nord</b>	<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	<b>250.000,00</b>	<b>100%</b>	<b>250.000,00</b>	<b>75.000,00</b>	<b>175.000,00</b>
<i>Totale A.1.1</i>					
<i>A.1.2 Spese generali</i>	<b>80.000,00</b>	<b>100%</b>	<b>80.000,00</b>	<b>24.000,00</b>	<b>56.000,00</b>
<i>Totale A.1.2</i>					
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>					
<i>Totale A.1.3</i>					
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>	<b>30.000,00</b>	<b>100%</b>	<b>30.000,00</b>	<b>9.000,00</b>	<b>21.000,00</b>
<i>Totale A.1.4</i>					
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>	<b>70.000,00</b>	<b>100%</b>	<b>70.000,00</b>	<b>21.000,00</b>	<b>49.000,00</b>
<i>Totale A.1.5</i>					
<b>Totale generale A.1) Attività di ricerca</b>	<b>430.000,00</b>	<b>100%</b>	<b>430.000,00</b>	<b>129.000,00</b>	<b>301.000,00</b>

**Tab.1.bis – Costi del progetto – dettaglio ripartizione regioni/province autonome**

<b>A.1) Attività di ricerca</b>	<b>Costo regioni Centro-nord</b>	<b>Costo regioni Mezzogiorno</b>
	<b>Costo regione Lazio</b>	<b>Costo regione Campania</b>
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	<b>75.000,00</b>	<b>175.000,00</b>
<i>Totale A.1.1</i>		
<i>A.1.2 Spese generali</i>	<b>24.000,00</b>	<b>56.000,00</b>
<i>Totale A.1.2</i>		
<i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i>		
<i>Totale A.1.3</i>		
<i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i>	<b>9.000,00</b>	<b>21.000,00</b>
<i>Totale A.1.4</i>		
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>	<b>21.000,00</b>	<b>49.000,00</b>
<i>Totale A.1.5</i>		
<b>Totale generale A.1) Attività di ricerca</b>	<b>129.000,00</b>	<b>301.000,00</b>

**Tab.2 – Impegno e costo del personale impegnato nel progetto**

**Tipologia soggetto proponente:**

**Imprese**

~~Ente pubblico~~ di cui

~~EPR~~ **Università**

<b>Tipologia personale</b>	<b>Dettaglio</b>	<b>N° addetti</b>	<b>Di cui donne</b>	<b>N. ore totali</b>	<b>Costo orario</b>	<b>Costo totale</b>
Personale tipo 1	Dirigenti/ Professori ordinari/ Ricercatori e Tecnologi I e II liv	3	2	300	55	16.500,00
Personale tipo 2	Quadri/ Professori associati/ Ricercatori e Tecnologi III liv	6	4	6109	33	201.600,00
Personale tipo 3	Impiegati/ Ricercatori universitari/ Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/ Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici	2	0	1100	29	31.000,00
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)					
<b>Totale</b>		<b>11</b>	<b>6</b>	<b>7509</b>		<b>250.000,00</b>

Indicare per il personale dipendente il costo orario stimato secondo quanto previsto nell'allegato Criteri per la determinazione dei costi ammissibili

## TABELLE DI DETTAGLIO

**Tab.3 – Personale impegnato per obiettivo realizzativo**

OR	Personale tipo 1 (ore uomo)	Personale tipo 2 (ore uomo)	Personale tipo 3 (ore uomo)	Personale tipo 4 (ore uomo)	Personale tipo 5 (ore uomo)	Totale Personale per Obiettivo (ore uomo)	Di cui ore uomo in regioni Centro- nord	Di cui ore uomo in regioni Mezzogiorno
<b>OR6</b>	<b>300</b>	<b>6109</b>	<b>1100</b>			<b>7509</b>	<b>2253</b>	<b>5256</b>
<b>TOTALE:</b>								
<b>COSTO ORARIO</b>								

**Tab.4 – Attrezzature e strumentazioni**

*(Nel caso di progetto congiunto la seguente tabella deve essere compilata con riferimento a ciascuno dei soggetti proponenti)*

Attrezzature e strumentazioni	Spesa prevista (€) al netto di IVA	Indicazione degli OR per i quali il bene è utilizzato	Periodo di ammortamento fiscale del bene (mesi)	Periodo di utilizzo nel progetto (mesi)	Percentuale di imputazione al progetto <sup>9</sup>	Costo ammissibile (€)	Costo ammissibile di cui in regioni Centro-nord	Costo ammissibile di cui in regioni Mezzogiorno
<b>TOTALE di cui:</b>								

<sup>9</sup> Nel caso in cui il bene è utilizzato contemporaneamente per altre attività non rientranti nel progetto di ricerca proposto, indicare la percentuale di imputazione del bene al progetto.