



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



MINISTERO DELLA
TRANSIZIONE ECOLOGICA

AVVISO PUBBLICO FINALIZZATO ALLA SELEZIONE DI PROPOSTE PROGETTUALI INERENTI ATTIVITA' DI RICERCA FONDAMENTALE NELL'AMBITO DEL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR), MISSIONE 2 "RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA", COMPONENTE 2 "ENERGIA RINNOVABILE, IDROGENO, RETE E MOBILITÀ SOSTENIBILE", INVESTIMENTO 3.5 "RICERCA E SVILUPPO SULL'IDROGENO", FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA – NEXT GENERATION EU A VALERE SUL DECRETO DEL MINISTRO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA DEL 23.12.2021, ART. 1, COMMA 5, LETTERA A.

Celle A combustibili innovative ad alta Potenza in Sistemi stazionari e di mobilità

CALIPSO

SOGGETTI PROPONENTI

- Università degli Studi di Napoli Parthenope
- Università degli Studi di Genova
- ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
- ARCO FC srl
- Ecospray Technologies srl



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



INDICE

I PARTE: ELEMENTI DESCRITTIVI DEI SOGGETTI PROPONENTI

1. STRUTTURA ORGANIZZATIVA E DI RICERCA.....	1
2. SETTORE DI ATTIVITA' E CARATTERISTICHE DEL MERCATO DI RIFERIMENTO	4

II PARTE: ELEMENTI DESCRITTIVI DEL PROGETTO

1. TITOLO E DURATA DEL PROGETTO.....	10
2. AMBITO TECNOLOGICO.....	10
3. SINTESI.....	11
4. FINALITA'.....	13
5. OBIETTIVO FINALE DEL PROGETTO.....	15
6. RESPONSABILE DEL PROGETTO	17
7. OBIETTIVI REALIZZATIVI DEL PROGETTO.....	18
7.1. DESCRIZIONE DEGLI OBIETTIVI REALIZZATIVI	18
7.2. ELENCO DELLE ATTIVITÀ DELL'OBIETTIVO REALIZZATIVO E RELATIVA DESCRIZIONE.....	20
7.3. TEMPI DI REALIZZAZIONE	33
8. RISULTATO INTERMEDIO ATTESO DEL PROGETTO.....	34
9. RISULTATO FINALE ATTESO DEL PROGETTO.....	36
10. ULTERIORI INFORMAZIONI SULLE VOCI DI SPESA PREVISTE NEL PROGETTO.....	40

III PARTE: ELEMENTI VALUTATIVI

1. FATTIBILITÀ TECNICO-ORGANIZZATIVA.....	42
1.1. CAPACITÀ E COMPETENZE.....	42
1.2. QUALITÀ DELLE COLLABORAZIONI.....	46
1.3. RISORSE TECNICHE E ORGANIZZATIVE.....	50
2. QUALITÀ DEL PROGETTO.....	55
2.1. VALIDITÀ TECNICA.....	55
2.2. RISULTATI ATTESI.....	62
2.3. EFFICIENZA, SOSTENIBILITÀ E DURABILITÀ.....	66
3. IMPATTO DEL PROGETTO	67
3.1. POTENZIALITÀ DI SVILUPPO.....	67
3.2. POTENZIALITÀ TECNOLOGICA.....	68
3.3. IMPATTO AMBIENTALE.....	69

IV PARTE: ULTERIORI ELEMENTI

4. RISPETTO DEL PRINCIPIO DI NON ARRECARE DANNO AGLI OBIETTIVI AMBIENTALI.....	71
5. CRONOPROGRAMMA.....	72
5.1. CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITÀ.....	72
5.2. CRONOPROGRAMMA REALIZZATIVO.....	73
5.3. CRONOPROGRAMMA DI SPESA.....	74
6. RISORSE FINANZIARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO.....	75
SINTESI NUMERICA DEL PIANO DI SVILUPPO.....	78

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

I PARTE: ELEMENTI DESCRITTIVI DEI SOGGETTI PROPONENTI**1. STRUTTURA ORGANIZZATIVA E DI RICERCA****Università degli Studi di Napoli Parthenope - UniParthenope**

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.

UniParthenope 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 dei quali 18 sono le Istituzioni italiane che lo hanno conseguito (primo Ateneo in Campania). 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.

UniParthenope 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 magistrale, 1 corso di laurea magistrale a ciclo unico, 12 master, 1 scuola di specializzazione e 11 corsi di dottorato di ricerca.

UniParthenope 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. 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 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, UniParthenope è uno dei principali promotori e organizzatori della "*European Fuel Cells and Hydrogen Piero Lunghi Conference*". È membro dell'*Hydrogen Europe Research Grouping for the Clean Hydrogen Partnership*.

Università degli Studi di Genova - UNIGE

L'Università degli Studi di Genova (UNIGE) è stata fondata nel 1933 con Regio Decreto n. 1592, ma la sua storia può essere fatta risalire al XIV secolo. UNIGE è oggi un istituto di insegnamento e ricerca organizzato in 22 dipartimenti, 13 centri di ricerca interuniversitari e 1 centro di eccellenza. La sua offerta formativa è composta da 132 corsi di laurea triennali e magistrali, 28 corsi di dottorato suddivisi in oltre 90 *curricula*, 44 scuole di specializzazione, 27 *master* universitari di I e II livello e 5 biblioteche. UNIGE è un ente pubblico dotato di autonomia scientifica, didattica, organizzativa e finanziaria. Scoperte, invenzioni e progressi di ricerca sono commercializzati con successo, come attestato da 114 domande di brevetto, 50 società *spin-off* e un forte coinvolgimento nella creazione di *startup*.

UNIGE ha maturato una significativa esperienza nell'ambito della partecipazione e del *management* di progetti di ricerca nazionali e internazionali. In particolare, nell'ambito dei finanziamenti europei, UNIGE si è aggiudicata 92 progetti nel 6PQ, 115 nel 7PQ, 94 in Horizon 2020 e, finora, 3 contratti in Horizon Europe. Inoltre, UNIGE è stata coinvolta in numerosi programmi FESR Interreg, Life e US Research Programs, nonché finanziamenti nazionali quali PRIN, FISR, SIR, Diffusione Cultura e PNRA. La partecipazione a questi programmi è supportata da una rete amministrativa ben coordinata, dove diversi uffici (a livello centrale e di dipartimento) lavorano in sinergia per supportare i ricercatori durante tutte le fasi di un progetto, dalla presentazione alla gestione finanziaria, dalla proprietà intellettuale al trasferimento tecnologico.

UNIGE è una università generalista, che coltiva competenze nei diversi settori della conoscenza grazie alle sue cinque scuole (di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali; di Scienze Mediche e Farmaceutiche; di Scienze Sociali; di Scienze Umanistiche e Politecnica) e nell'ambito del presente progetto potrà mettere a disposizione tutte le competenze di utilità. In particolare, il coordinamento e la responsabilità scientifica delle attività in seno al progetto CALIPSO saranno affidati al Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) della Scuola Politecnica.

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – 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". È membro dell'*Hydrogen Europe Research Grouping for the Clean Hydrogen Partnership*.

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 e 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 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. 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.

ARCO FC srl - Arco

Arco è una startup innovativa nella produzione di sistemi di alimentazione a celle a combustibile e pacchi batterie di nuova generazione (celle a combustibile PEM e agli ioni di litio) basati su tecnologie di cui è proprietaria. La Governance di Arco integra expertise interdisciplinari in linea con le esigenze dei mercati. Arco è organizzata prevalentemente in tre aree funzionali: tecnica, amministrativo-commerciale e operativa che operano sotto la direzione del Consiglio di Amministrazione e del relativo CEO. All'area amministrativa appartengono tutte le attività di gestione e governo aziendale e quindi le funzioni di gestione logistica, personale, amministrazione e contabilità. L'area commerciale sovrintende a tutte le attività di marketing, promozione, contatti con i clienti. L'area tecnica prevede le funzioni di ricerca, progettazione e sviluppo ed è organizzata in 4 macroaree di sviluppo: chimica, software, elettronica e meccanica.

La società si è altresì dotata di un comitato consultivo scientifico, composto da membri di comprovata esperienza, che pianifica e coordina le attività tecnico-scientifiche, fornisce le linee scientifiche di indirizzo strategico della società, elabora gli obiettivi di innovazione e di priorità tecnologica, supporta l'attività dei progetti di ricerca e sviluppo, favorisce il potenziamento delle reti di collaborazione e delle relazioni internazionali con la comunità scientifica e accademica, accordi di collaborazione con le imprese.

Lo stabilimento produttivo è strategicamente situato nell'area industriale della città di Bologna. La struttura comprende un'area produzione organizzata in più capannoni industriali ed un'area uffici; il centro dispone inoltre di laboratori di ricerca e sviluppo.

Arco sviluppa internamente tutti i componenti e i processi produttivi delle celle a combustibile partendo dall'elettrochimica del MEA, progettando e costruendo i piatti bipolari, assemblandoli negli stack in funzione delle prestazioni richieste, fino allo sviluppo di moduli per specifiche applicazioni. Tale approccio rende la società altamente competitiva con i principali produttori mondiali di celle a combustibile.

In linea con la propria policy di internazionalizzazione ed al fine di aprirsi a nuovi mercati, la società, in partnership con SHELL e EPRI, ha costituito una sede negli USA "Arco Technologies inc." presso il *Green Town Lab di Boston*.

Arco possiede 2 brevetti:

1. Brevetto PCT pubblicata in data 03 giugno 2021 al n. WO2021/105921 per: SISTEMA DI ALIMENTAZIONE (DUMMY LOAD) - Direct-link allo stato, in estensione internazionale - Architettura Ibrida, collegamento diretto Fuel Cell e batteria > Alta efficienza e bassi costi di sistema
2. Brevetto per invenzione industriale nr.102019000022389 del 28 novembre 2019, dal titolo "SISTEMA DI ALIMENTAZIONE" - Hydorec (Ricircolo Fisico, toglie un componente attivo (il ricircolo di idrogeno) incrementando il rendimento > Sicurezza e alta efficienza a bassi costi di sistema (brevetto per invenzione industriale nr.102019000022389 del 28 novembre 2019, dal titolo "SISTEMA DI ALIMENTAZIONE")

Arco aprirà una sede operativa a Napoli presso il Centro Ricerche del Distretto di Alta Tecnologia Atena con il quale ha in corso un accordo per la prototipazione di celle a combustibile a membrana polimerica.

Ecospray Technologies srl - ECOSPRAY

Ecospray Technologies (ECOSPRAY) è una società di ingegneria che progetta e fornisce impianti e componenti di tecnologia proprietaria. La società produce internamente parti degli impianti, come i sistemi di controllo e automazione, i sistemi di analisi delle acque di scarico e alcuni *skid* di regolazione, mentre il resto viene realizzato su specifici disegni di ECOSPRAY da fornitori esterni.

Per quanto concerne la dimensione aziendale, ECOSPRAY è una grande impresa: dal 2013 è entrata nel Gruppo Carnival, il più grande gruppo crocieristico mondiale. La sede aziendale, ricostruita completamente nel 2019, occupa una superficie complessiva di circa 1800 m² ed è articolata su diversi edifici adibiti ad uffici, produzione, magazzino e laboratori per attività di R&D.

La governance aziendale prevede un consiglio di amministrazione formato da 5 consiglieri; un amministratore delegato ed un direttore generale per la gestione delle attività correnti e di organizzazione. Il presidente del CDA ha le deleghe allo sviluppo strategico aziendale, alla gestione dei fondi di R&D e allo sviluppo di collaborazioni scientifiche con università ed enti di ricerca. La società prevede tre divisioni operative: Navale, Rinnovabili&Industria e Service. L'azienda oggi svolge numerose attività di ricerca e sviluppo nel campo della *green economy* e nella depurazione dei gas di scarico, in collaborazione con università e centri di ricerca anche internazionali.

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

Università degli Studi di Napoli Parthenope - UniParthenope

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 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) ed il gruppo di Chimica ed Ingegneria dei Materiali (CIM) svolgono attività di ricerca e sviluppo in linea con la Vision 2030 delle Agende strategiche europee; adottano un approccio multidisciplinare collegando le tematiche dell'energia allo sviluppo sostenibile, anche attraverso la promozione di nuove politiche industriali. Il personale coinvolto nel progetto svolge attività di ricerca teorica e sperimentale su diversi temi oggi di grande interesse e impatto: materiali polimerici per applicazioni avanzate nel settore dell'energia; sintesi, caratterizzazione e studio di proprietà di complessi metallici per applicazioni in foto- ed opto-elettronica; materiali ceramici per celle a combustibile e elettrolizzatori ad ossidi solidi, catalizzatori ed elettrodi per batterie innovative; 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. Tali attività di ricerca sono testimoniate da un elevato numero di pubblicazioni scientifiche e da numerosi brevetti dei ricercatori della Parthenope. Le competenze dei ricercatori MSE&CIM consentono di portare avanti le attività di R&S integrando competenze che partono dalla sintesi e caratterizzazione dei componenti che verranno sviluppati nel corso del progetto, modellazione numerica (termochimica, fluidodinamica, termodinamica) dei sistemi esaminati, fino alla prototipazione e progettazione dei processi di produzione.

Le competenze dei ricercatori riguardano sia la modellazione numerica (termochimica, fluidodinamica, termodinamica) di sistemi e componenti per impianti e macchine a fluido (pompe compressori, turbine, scambiatori di calore, reattori chimici, etc.) che l'expertise in attività sperimentali sia nel settore chimico per la progettazione e studio di nuovi materiali, che in quello ingegneristico, per le prove effettuate su banchi dotati di sistemi di gestione e controllo e di componenti per diverse applicazioni energetiche (es. *fuel cell*, *energy storage*, etc.).

Nel settore della mobilità sostenibile, i ricercatori del gruppo MSE&CIM hanno messo a punto tecnologie innovative anche per veicoli heavy duty, sviluppando *power unit* ibride batterie/celle a combustibile. Un veicolo (FCA - Qubo) è stato convertito da propulsione a gasolio a quella a idrogeno, integrando *power unit* progettate nei laboratori del DING. Il prototipo è stato poi sviluppato dal Distretto Atena con Adler Group nello stabilimento di Airola. Attualmente il gruppo di ricerca 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*).

I ricercatori del gruppo MSE 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. 10201900005858 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 CIM hanno sviluppato diversi brevetti nel campo dei materiali polimerici ed inorganici. In particolare, sono state sviluppate nuove molecole e polimeri dotati di peculiari proprietà elettriche ed ottiche con applicazioni nel settore della foto ed opto elettronica e sistemi catalitici innovativi in grado di promuovere peculiari reazioni di polimerizzazione (U.S. Pat. Appl. Publ. (2009) US 2009322212 '*Synthesis of new organic material for polymeric light emitting diode*'; Brevetto (2011) n. NA2011A000037 '*Film colesterici fotostabili per la riflessione e/o trasmissione selettiva della luce e loro uso*'; Brevetto (2011) n. NA2011A000030 '*Politiofeni 3-sostituiti di regione regolarità molto elevata da catalizzatori a base di rame(II)*'). Gli stessi ricercatori del gruppo CIM hanno sviluppato materiali ibridi organico-inorganici derivanti dalla co-reticolazione di resine polimeriche e materiali geopolimerici con interessanti applicazioni nel settore dell'edilizia sostenibile, dell'Arte & Design (Brevetto (2014) n. NA2014A000027 '*Materiali ibridi geopolimero-silicone per applicazioni ad alte temperature: metodo di preparazione e materiali così ottenuti*'; Brevetto (2019) n. 102019000007064 '*Procedimento per la fabbricazione su larga scala di manufatti in ibridi geopolimerici alleggeriti e non, e corrispondenti manufatti in ibridi geopolimerici fabbricati con tale procedimento*'). Tali materiali hanno anche interessanti attività nel settore dell'abbattimento di inquinanti da soluzioni acquose, attività che ha condotto al recente deposito del Brevetto (2021) n. 202021000002360 '*Impiego di materiali ibridi organico-inorganici nell'adsorbimento di inquinanti organici emergenti*'.

Università degli Studi di Genova - UNIGE

Nell'ambito del presente progetto, UNIGE svilupperà la parte di ricerca relativa alle celle a combustibile a carbonati fusi (celle MCFC) principalmente grazie all'esperienza in questo settore del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA). Il DICCA è nato con la volontà di accomunare in un unico polo didattico e scientifico aree culturali chiaramente definite e caratterizzate dallo stesso intento: migliorare le conoscenze e l'intervento umano su temi quali ambiente, sostenibilità e cura del territorio, coinvolgendo sia l'interesse di studiosi che appartengono ai tradizionali settori dell'ingegneria civile, chimica e ambientale sia l'interesse di studiosi di altre aree culturali che in tale impostazione colgono una continuità e una possibilità di sviluppo delle discipline a cui fanno riferimento. Al 1° marzo 2022 il dipartimento è costituito da 182 unità di personale così suddivise: 27 unità di personale tecnico amministrativo; 82 docenti; 27 assegnisti di ricerca; 46 dottorandi di ricerca. Il DICCA è attualmente referente di una trentina di programmi di ricerca su bando selettivo, oltre a numerosi contratti industriali.

Con particolare riferimento alle attività di interesse per il progetto CALIPSO, il gruppo PERT (*Process Engineering Research Team*) del DICCA ha maturato un efficace approccio di indagine su diverse scale fenomenologiche, da quella microscopica (per le celle relativamente alle cinetiche elettrochimiche eterogenee) a quella di sistema (con riferimento all'implementazione in complessi impiantistici). La ricerca di base inerente le celle MCFC in CALIPSO sarà supportata dal procedere parallelo di attività di modellizzazione e attività sperimentale, in un rapporto continuo di reciproca guida e verifica. L'attività consentirà una migliore comprensione dei fenomeni elettro-chimico-fisici caratterizzanti le prestazioni, necessaria alla successiva proposta di soluzioni tecnologiche innovative, che saranno quindi realizzate e testate su scala di laboratorio. La tecnologia MCFC, infatti, è ad oggi prodotta a livello pre-commerciale da un solo fornitore nel mondo (Fuel Cell Energy), con il quale il gruppo PERT ha avuto occasione di collaborare, e necessita ancora di una intensa attività di ricerca di base perché ne siano ottimizzate prestazioni, affidabilità e durata, nonché l'applicabilità nel settore della mobilità navale, attualmente di strategica rilevanza ambientale ed economica.

UNIGE vanta 114 domande di brevetto su diverse tematiche, si ricorda tuttavia in questo contesto anche un brevetto di Ansaldo Fuel Cells, con co-autori afferenti al DICCA e attivi in CALIPSO, in quanto su contenuti relativi alla tecnologia MCFC che sono poi maturati in un approccio metodologico proprio del gruppo di ricerca impegnato nel presente progetto (*Method and System of Operating Molten Carbonate Fuel Cell*, EP1834371B1, 13/07/2006).

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA

Tra le attività di ricerca ENEA, una parte significativa è dedicata allo 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.

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 P2G, ecc. Inoltre, presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia è in fase di realizzazione una *Hydrogen demo-Valley* in grado di ospitare impianti e sistemi appartenenti all'intera catena del valore dell'idrogeno (dalla produzione al suo utilizzo in diversi settori di applicazione), dove potranno essere effettuate valutazioni comparative e validazioni in modalità integrata, a scala dimostrativa o pre-commerciale. Presso il Centro Ricerche ENEA Portici è, invece, 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.

I ricercatori di ENEA hanno sviluppato e registrato diversi brevetti sulle tematiche afferenti al progetto, tra i quali:

- S. Tosti, A. Pozio, L. Farina, A. Santucci, "Membrane Process for the production of hydrogen and oxygen by hydrolysis of water And Related Apparatus", WO2022/073976, 2022.
- S. Tosti, C. Tosti, A. Pozio, "Processo di combustione con aria trattata mediante sistemi a membrana e relativo apparato", Italian Patent Application No.102021000000794, 2021.
- S. Tosti, A. Pozio, L. Farina, A. Santucci, "Processo a membrana per la produzione di idrogeno ed ossigeno mediante idrolisi dell'acqua e relativo apparato", Italian Patent Application no.102020000023470, 2020.
- S. Tosti, G. Buceti, A. Pozio, "Process for the production of methane from refuse-derived fuel and plant thereof", EP3434753, 2019
- A. Pozio, F. Marini, S. Tosti, "Processo A supporto poroso per l'estrazione di idrogeno ed isotopi da metalli liquidi, E relativo apparato", Italian Patent Application no. 102018000003185, 2018
- S. Tosti, G. Buceti, A. Pozio, "Processo e relativo impianto per la produzione di metano da combustibile derivato da rifiuti", RM2017U000086210, 2017
- A. Pozio, M. De francesco, S. Galli, R. Oronzio, "Device for controlled production of hydrogen", US2012269689, 2012
- A. Pozio, M. De francesco, S. Galli, R. Oronzio, "Device for controlled production of hydrogen", WO2011073958, 2011
- A. Pozio, M. De francesco, S. Galli, R. Oronzio, "dispositivo per la produzione controllata di idrogeno", PCT/IB2010/055947, 2010
- A. Pozio, S. Tosti, L. Bettinali, R. Borelli, M. De francesco, D. Lecci, F. Marini, "Elettrolizzatore alcalino con catodo tubolare in pd-ag", Italian Patent number RM2009u000200, 2009
- A. Pozio, M. De francesco, S. Galli, R. Oronzio, "dispositivo per la produzione controllata di idrogeno", italian patent number RM2009u000199, 2009
- A. Pozio, A. D'anzi, L. Petruzzi, M. Chiapparini, "Electrochemical device", ep1646099, 2006
- A. Pozio, A. D'anzi, L. Petruzzi, M. Chiapparini, "Electrochemical device", Italian Patent number BO2004a000600, 2004
- P. P. Prosini, A. Pozio, P. Gislon, M. Granati, S. Santomassimo, "Dispositivo portatile erogatore di idrogeno, in particolare per uso in celle A combustibile", Italian patent number RM2005a000132, 2005
- M. De francesco, A. Pozio, "magnetic containment device for hydrogen generation from alkaline borohydrides", EP1496014, 2005
- M. De francesco, A. Pozio, "Dispositivo a confinamento magnetico per la generazione di idrogeno da boroidruri alcalini", Italian Patent Number rm2003a000315, 2003 –
- M. De francesco, F. Cardellini, A. Cemmi, L. Giorgi, A. Pozio, "Process for preparing supported metal catalysts", WO03070371, 2003
- M. De francesco, F. Cardellini, A. Cemmi, L. Giorgi, A. Pozio, "Catalizzatori di metalli nobili e non e loro leghe per pile a combustibile ottenuti mediante trattamento termico a bassa temperatura", Italian Patent Number RM2002a000087, 2002

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 *powertrain* 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.

ARCO FC srl - Arco

Arco svolge attività di ricerca teorica e sperimentale su diversi temi oggi di grande rilevanza sociale e impatto nel settore nei settori ambiente e energia. Le competenze di Arco consentono di portare avanti le attività progettuali di R&S nonché quelle di progettazione, prototipazione e sperimentazione.

Oggi, con un'esperienza ultraventennale e milioni di euro investiti nel settore delle celle a combustibile, Arco è produce sistemi di alimentazione a celle a combustibile e pacchi batterie di nuova generazione (celle a combustibile PEM e batterie agli ioni di litio) basati su tecnologie di cui è proprietaria. L'azienda ha brevettato una tecnologia

unica nel campo delle batterie, che consente ai veicoli elettrici di raggiungere elevate autonomie (fino a 1.000 km) con una sola ricarica di pochi minuti. Arco sviluppa sistemi ibridi di propulsione ad emissioni zero ideati per una vasta gamma di applicazioni. Arco ha brevettato due soluzioni innovative, oggi riconosciute quali standard mondiali nel settore delle fuel cell: MEGA (*Membrane Electrode Gasket Assembly*), e HEFC (*Hybrid Electrolyte Fuel Cell*), utilizzate da grandi players mondiali, tra cui: Toyota, General Motors e Ballard. La società fornisce, inoltre, le proprie soluzioni innovative a diversi partner tra cui: Boeing, Eni, Dayatsu, Ericsson, Fincantieri ecc. Il portafoglio brevetti ed il know-how acquisito hanno consentito alla società di affermarsi come uno dei principali fornitori per il mercato globale di moduli di alimentazione per celle a combustibile e pacchi batterie agli ioni di litio avanzati. Arco è anche *system integrator* di sistemi di propulsione elettrica ibrida di prim'ordine nell'industria aerospaziale e nel sistema di alimentazione mobile. Negli ultimi anni la mobilità elettrica ha generato un aumento notevole della domanda di sistemi di accumulo e di generazione di energia elettrica; le auto elettriche costituiranno il 50% della domanda totale nel 2030. Il mercato prevede una crescita media annua del volume (CAGR, tasso di crescita annuale composto) del 16% nel settore delle batterie al litio e del 19% nel settore delle celle a combustibile (2015-2030). Le auto elettriche hanno toccato numeri importanti nel 2021, superando le vendite dei motori diesel; la transizione ecologica comporterà, per il 2030, l'adozione esclusiva di vetture green che aiuteranno a ridurre le emissioni di gas serra. La crescita delle fonti rinnovabili è guidata dalla crescita delle fonti di accumulo dove l'idrogeno green è l'unica fonte che non presenta i limiti legati alle batterie. ARCO si colloca in questa value chain dove il mercato attuale vede un tasso di crescita vertiginoso con un CAGR medio annuo del 66,9% (dal 2019 al 2026).

In Italia, Arco è l'unica società che produce Fuel Cell PEM per la mobilità; a livello globale esistono pochi competitor: Ballard inc, Plug Power, Cummins, Horizon, Proton Motor, PowerCell, Nedstack, Erling Klinger, Nuvera, Toyota, Hyundai, Symbio; tuttavia, solo Ballard, Toyota, e Hyundai sono in grado di sviluppare la tecnologia elettrochimica proprietaria, gli altri player acquistano sul mercato il cuore elettrochimico della Fuel Cell, integrandolo poi nel loro sistema. Arco mantiene un costo di produzione allineato a Ballard, Toyota e Hyundai, del 45% più basso rispetto alla media dei competitor.

Arco possiede altri due brevetti: Directlink e Hydrorec che consentono un risparmio di costi del 15% in quanto consentono di eliminare due dispositivi che compongono il *Fuel Cell Engine* che consumano energia, ottenendo anche un miglioramento dell'efficienza totale del sistema e un incremento dell'autonomia (+10%). ARCO è orientata verso i cosiddetti *early market* che vedono la mobilità terrestre e navale tra i primi mercati dove le tecnologie sviluppate da Arco sono capaci di generare grandi benefici in termini di emissioni e costi. Tra questi, il settore del *material handling*, ovvero carrelli elevatori e *towing tractors*, Directlink ovvero la tecnologia brevettata da Arco, consente su 3 turni di lavoro e un *total cost of ownership* più basso rispetto alle tradizionali batterie al piombo; queste attività sono svolte in collaborazione con Toyota Material Handling; anche per il settore navale, la tecnologia di Arco consente una propulsione silenziosa a zero emissioni per applicazioni su navi di diversa tipologia e sottomarini AIP (*Air Independent Propulsion*). Quest'area ha consentito ad Arco tre partnership importanti: Baglietto (megayacht), Rosetti Marino (imbarcazioni portuali). Altri accordi, di interesse nazionale, sono al momento segreti. Le innovazioni proposte da Arco hanno consentito una partnership con SITAV per la realizzazione di un locomotore da manovra in ambito portuale; nel settore dei veicoli pesanti Arco ha collaborazioni con produttori di autobus per la mobilità urbana, e con Prinoth per macchine operatrici (battipista a idrogeno).

Ecospray Technologies srl - ECOSPRAY

I settori di attività dell'azienda sono essenzialmente due, il Navale e quello delle Rinnovabili e delle Applicazioni Industriali.

Nel campo navale, ECOSPRAY è uno dei *leader* mondiali per la depurazione dei fumi dei gas di scarico dei grandi motori di bordo. I principali concorrenti in questo ambito sono grandi corporation come Alfa Laval (Svezia), Wartsila (Finlandia), Yara (Norvegia) [<https://www.marketwatch.com/press-release/closed-loop-scrubbers-market-size-in-2022-by-fastest-growing-companies-wartsila-alfa-laval-ecospray-with-top-countries-data-new-report-spreads-in-140-pages-2022-02-24>].

Nel campo delle energie rinnovabili e delle applicazioni industriali, la divisione opera essenzialmente fornendo impianti di depurazione del biogas e di liquefazione di metano e anidride carbonica. In questo settore sono stati sviluppati e attualmente in fase di commercializzazione sul mercato europeo, impianti di depurazione del biogas in biometano e successiva liquefazione criogenica. Analogamente sono stati sviluppati i sistemi di liquefazione della CO₂ catturata nel processo di *upgrading*. Di particolare rilievo i grandi progetti acquisiti in Germania all'inizio del 2022 per l'*upgrading* di biogas e successiva liquefazione del metano prodotto e della CO₂ separata dal processo [<https://ecospray.eu/category/news-en/>]. Questo mercato è in grande espansione in quanto si sta assistendo alla transizione degli impianti di biogas esistenti da produttori di energia elettrica alla produzione di biometano, bio-GNL e nel futuro, con le adeguate tecnologie allo studio, anche dell'idrogeno verde.

I principali concorrenti al momento nel campo più tecnologico della liquefazione sono Air Liquid, SIAD, Cryotech, AB Energy. Poi ci sono altri concorrenti nel campo dell'*upgrading*. Ci sono comunque pochi concorrenti che possano proporre tutta la filiera come ECOSPRAY. Degna di nota è la divisione "Service" con più di 20 addetti che si occupa di assistenza post-vendita e ricambi, organizzata per coprire le aree Pacifico, Europa e Americhe.

Il mercato della depurazione dei fumi dei grandi motori navali è in una fase di transizione dalla desolforazione agli NOx e particolato. Lo sviluppo più promettente però riguarda la riduzione delle emissioni di CO₂ come richiesto dalle nuove normative IMO. In questo campo ECOSPRAY sta investendo significativamente nello sviluppo delle tecnologie delle celle a combustibile e della *carbon capture*. Il mercato dei sistemi con celle a carbonati fusi è dominato da Fuel Cell Energy che produce il "core" di tutti i sistemi installati. Nel mondo, non ci sono aziende concorrenti e lo sviluppo di un nuovo prodotto italiano potrebbe consentire di riacquisire una posizione di riferimento persa con la dismissione di Ansaldo Fuel Cell.

Il fatturato di Ecospray ha risentito degli effetti della pandemia (27.000.000 EUR nel 2021 e 81.000.000 EUR del 2020), nel bilancio di previsione 2022 è previsto un discreto recupero (circa 42 000 000 EUR). Il 50% del fatturato è riferibile a prodotti per la *green-economy* (di macchine per la produzione di bio-LNG e biometano).

L'azienda ha una spiccata attitudine all'innovazione; di seguito alcuni dei principali brevetti registrati:

- WO2022049492 Scrubber for washing exhaust fumes generated by internal combustion engines
- WO2022043905 System and method for the treatment of polluted waters, in particular with heavy metals
- WO2021161210 Device and method for the abatement or selective reduction of nitrogen oxides nox in combustion gas or fumes,
- EP3648868 Gas-filtering system and method
- EP3423191 Gas dedusting filter apparatus and process
- WO2016150805 - Method and system for the removal of particulate matter from engine exhaust gas or process equipment
- EP3212310 - Apparatus comprising a granule reactor for treating polluting agents present in particulate-containing industrial gases and method of treatment implemented by said apparatus
- EP3186494 - Catalyst thermal regeneration by exhaust gas
- EP3194737 - Method for cleaning process off- or engine exhaust gas
- EP3194736 - Method and system for the removal of particulate matter and heavy metals from engine exhaust gas
- WO2016020194 - Compact combined diesel particulate filter
- EP2986826 - Method and system for the removal of particulate matter soot, ash and heavy metals from engine exhaust gas
- EP2855865 - Particulate filtering apparatus for marine diesel engines and method of operation and regeneration
- EP2723474 - Method for the selective non- catalytic reduction (sn-cr) of nox in industrial cement production plants
- EP2415982 - Apparatus and method for regenerating particulate filters for internal combustion engines
- EP2415513 - Apparatus and method for the regeneration of the activated carbon inside an industrial plant

IIª PARTE: ELEMENTI DESCRITTIVI DEL PROGETTO

1. TITOLO E DURATA DEL PROGETTO

CALIPSO - Celle A combustibile innovative ad alta Potenza in Sistemi stazionari e di mobilità

Durata del progetto: 36 mesi

2. AMBITO TECNOLOGICO

Tematica: celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità. **Ambito c1:** ricerca e sviluppo di tecnologie innovative di stack e componenti e nuovi processi di produzione, per migliorare la durabilità del sistema e aumentarne la stabilità e l'affidabilità in condizioni di esercizio nei diversi settori di applicazione.

Il progetto CALIPSO- **Celle A combustibile innovative ad alta Potenza in Sistemi stazionari e di mobilità** è finalizzato a creare innovazione nella tecnologia delle celle a combustibile ad alta potenza in sistemi stazionari e di mobilità. Le attività di ricerca e sviluppo sono finalizzate a trovare soluzioni a problemi che oggi non rendono possibile la produzione di *stack* di elevata potenza a costi competitivi e con prestazioni adeguate. Gli obiettivi progettuali sono ambiziosi: sviluppare componenti e processi di produzione innovativi per portare la tecnologia e la ricerca italiana oltre lo stato dell'arte nei rispettivi ambiti di riferimento.

La partecipazione di due aziende costruttrici, uniche in Italia ad aver accettato la sfida di produrre componenti, *stack* e moduli di celle a combustibile, garantisce l'interesse all'industrializzazione dei prodotti innovativi di CALIPSO consentendo al nostro Paese di colmare il *gap* di tecnologie nel settore idrogeno e celle a combustibile, raggiungere gli obiettivi fissati dalle Agende europee in tema di sostenibilità, creare nuove filiere produttive, nuova occupazione e quindi crescita e, soprattutto, rispondere alle finalità del Piano Nazionale Ripresa e Resilienza.

Il progetto è articolato su due linee di sviluppo principali finalizzate alla progettazione di *stack* ad alta potenza con tecnologia polimerica e con tecnologia a carbonati fusi. La ricerca fondamentale proiettata verso soluzioni visionarie sarà bilanciata dalle partecipazioni industriali che consentiranno lo sviluppo di soluzioni innovative, industrializzabili a costi contenuti e in tempi rapidi.

La strategia delineata nel *Next Generation EU Recovery Package* ha definito linee programmatiche precise per la ricerca e l'innovazione, per la creazione e la regolamentazione del mercato dei sistemi energetici a idrogeno. Nello specifico la strategia europea assicura importanti investimenti, prevedendo l'installazione di 6 GW di elettrolizzatori per la produzione di 1 milione di tonnellate/anno di idrogeno rinnovabile entro il 2024, l'installazione di 40 GW di elettrolizzatori per la produzione di 10 milioni di tonnellate/anno di idrogeno entro il 2030.

Gli importanti investimenti per la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili impongono anche di creare e/o potenziare un'industria europea capace di costruire celle a combustibile con potenzialità e prestazioni adeguate a soddisfare la crescente domanda di energia pulita e verde, in tutti i settori applicativi stazionari e mobili. La produzione e l'accumulo di energia elettrica per impianti stazionari, veicoli, aerei, treni e navi richiedono lo sviluppo di moduli di potenza elevata e la messa a punto di tecnologie innovative per componenti, *stack* e moduli al fine di garantirne la stabilità, affidabilità e durabilità delle prestazioni in tutte le condizioni operative.

Nel settore delle celle a combustibile polimeriche (PEMFC) è stato raggiunto un grado di sviluppo tale da consentirne l'applicazione alle autovetture (principalmente negli Stati Uniti e Asia) e agli autobus (maggiormente diffusi in Europa); tuttavia è ancora limitato l'uso delle tecnologie ad idrogeno in applicazioni di alta potenza quali mezzi di trasporto pesante, navi e produzione stazionaria di energia elettrica a causa di alcune criticità quali gli elevati costi di produzione dei componenti elettrochimici e delle infrastrutture di distribuzione e stoccaggio lungo tutta la filiera, e la necessità di migliorare le performance e dell'affidabilità dei sistemi che utilizzano l'idrogeno.

Per quanto concerne le celle a combustibile a carbonati fusi (MCFC), attualmente esiste un solo fornitore a livello mondiale con sede negli Stati Uniti, sebbene le realtà di ricerca operanti nel settore in Europa, e in particolar modo

in Italia, abbiano maturato una competenza scientifica di eccellenza, capace di sostenere uno sviluppo industriale. Inoltre, alcune tecnologie MCFC sono comunque ancora in fase di sviluppo e ottimizzazione, ad esempio se finalizzate ad applicazioni innovative di grande interesse strategico e ambientale, quali la contestuale produzione di energia e cattura della CO₂ o l'impiego nel settore marittimo. Tale contesto evidenzia come lo sviluppo e la commercializzazione di questo tipo di celle a combustibile presentino, oggi, sia la necessità di una ulteriore attività di ricerca di base, sia la prospettiva di un enorme spazio di mercato geografico e tecnologico.

La sfida più urgente per entrambe le tecnologie è, oggi, quella di ridurre i costi attraverso l'aumento del volume produttivi, il miglioramento e l'automatizzazione dei processi, ma soprattutto attraverso la riduzione dei costi dei componenti. A tal fine è necessario assicurare tecniche per ridurre l'uso e le quantità di materiali costosi (ad esempio metalli per catalizzatori o fibra di carbonio per i serbatoi), e sviluppare nuovi componenti più efficienti ed economici (ad esempio per incrementare la densità di potenza e la durabilità o migliorare la configurazione degli stack di celle).

Il progetto CALIPSO è perfettamente coerente con le finalità del bando che intende sostenere la ricerca e lo sviluppo di tecnologie innovative di stack e componenti e nuovi processi di produzione, per migliorare la durabilità del sistema e aumentarne la stabilità e l'affidabilità in condizioni operative nei diversi settori di applicazione.

Tali obiettivi saranno perseguiti, ad esempio, attraverso lo studio di membrane alternative al Nafion®, basate su polimeri non fluorurati, che in seguito ad opportuna funzionalizzazione, possano coniugare un'elevata conducibilità ionica con un'elevata durabilità. La funzionalizzazione chimica verrà effettuata attenendosi ai principi della *Green Chemistry*, in linea con uno sviluppo delle tecnologie rispettose dell'ambiente. Queste nuove tecnologie rappresenterebbero una svolta decisiva non solo nelle conoscenze sulle PEMFC, ma avrebbero effetti diretti sul mercato, dal momento che le nuove membrane coniugherebbero migliorate prestazioni con una prospettiva di reale e concreta economicità e sostenibilità ambientale. Le tecnologie sviluppate consentiranno una crescita in termini economici e sociali ed un passo concreto verso la sostenibilità ambientale, rispondendo pienamente alle sfide poste dalle Agende europee. In questa ottica, saranno, inoltre, studiati i processi tecnologici per la realizzazione di MEA basate sui nuovi componenti; saranno progettate ed ottimizzate configurazioni di stack e moduli innovativi per applicazioni di grande potenza.

Anche per le celle a carbonati fusi saranno sviluppati nuovi componenti e nuovi processi di produzione, focalizzando l'attenzione su diverse scale di dettaglio, dalla cella all'integrazione di stack in moduli di potenza. Gli ambiziosi obiettivi realizzativi saranno declinati in accordo con due fasi principali di ricerca di base: una prima volta a recuperare il gap tecnologico maturato negli anni rispetto allo sviluppo americano, una seconda finalizzata a migliorare gli indici di prestazione delle celle MCFC per le particolari applicazioni di interesse.

Le MCFC rappresentano per l'industria italiana una importante occasione di sviluppo che il progetto CALIPSO intende promuovere in una prospettiva di competitività tecnologica. L'Italia infatti è una delle pochissime nazioni al mondo dove esiste un notevole background tecnologico in questo campo dovuto a precedenti estensivi studi teorici e sperimentali eseguiti dal 1990 al 2010, sia dall'industria sia dalle istituzioni di ricerca e sviluppo (in particolare ENEA e UNIGE), questo anche grazie ai finanziamenti pubblici erogati in quegli anni.

Il progetto CALIPSO rafforza la collaborazione tra ricerca e imprese al fine di accelerare il trasferimento tecnologico e la rapida industrializzazione di risultati fortemente innovativi; rappresenta una importante occasione di accelerazione del processo di transizione energetica in atto; valorizza l'industria e la ricerca italiane in un contesto internazionale e potrebbe portare ad una significativa sovranità tecnologica in settori strategici.

3. SINTESI

Nell'attuale contesto italiano e mondiale di transizione ecologica è indubbio il ruolo chiave dell'idrogeno e conseguentemente dell'adeguato sviluppo di processi efficaci per la sua produzione, il suo stoccaggio e il suo utilizzo. Urgono progetti di ricerca di base concreti, che sappiano coniugare originalità e innovazione a realizzabilità e utilità, per promuovere futuri sviluppi di ricerca all'avanguardia, ma al contempo consentire in tempi brevi l'applicazione di soluzioni tecnologiche sostenibili.

Il presente progetto ha l'ambizioso obiettivo di rispondere a questa esigenza nell'ambito della ricerca e sviluppo di tecnologie innovative di *stack* e componenti di celle a combustibile. Inoltre, in riferimento all'articolo 3, comma 2 dell'Avviso, tale progetto verrà realizzato per la sua quota maggioritaria presso sedi, filiali o laboratori ubicati nella Regione Campania.

L'originalità del progetto CALIPSO si declina su due fronti: l'originalità del campo di applicazione e l'originalità degli studi proposti.

In merito alle applicazioni, l'attenzione è dedicata al settore della generazione di elevate potenze e della mobilità pesante, settore strategico per un impatto significativo sugli obiettivi di mitigazione dei cambiamenti climatici e la riduzione dell'inquinamento, ma anche settore in cui la sperimentazione di celle a combustibile è ancora in corso e necessita una ulteriore attività di ricerca di base.

Si sono individuate le PEMFC e le MCFC come tecnologie chiave.

Per quanto concerne le PEMFC, già sviluppate a livello commerciale per esempio per la mobilità leggera, l'obiettivo è la loro applicazione nella mobilità su gomma per veicoli *heavy-duty*, così come nella mobilità marittima e ferroviaria e nella generazione di alte potenze stazionarie.

Per le MCFC, già dimostrate su potenze più elevate, l'obiettivo è finalizzare celle ottimizzate per applicazioni stazionarie laddove sia funzionale coniugare anche la loro capacità di *carbon capture*, nonché proporre l'uso di queste celle nel settore marittimo come efficace possibilità di *retrofitting* ancora non indagata.

Innovativa è ovviamente anche la proposta scientifica a supporto di tali obiettivi applicativi.

In particolare, per le PEMFC si propone l'ingegnerizzazione di nuove membrane a scambio cationico e a scambio anionico sfruttando per la prima volta le strutture co-cristalline e nanoporose cristalline di polimeri semicristallini per l'ottenimento di PEMFC robuste, economiche e con elevata conducibilità anionica o cationica. Lo studio potrà promuovere la preparazione su larga scala di MEA per celle di grandi dimensioni ed elevata capacità, passando da una densità di potenza di 1 W/cm² @0.65V a 1.2 W/cm² @0.675V in accordo con l'obiettivo indicato nelle *Strategic Research and Innovation Agenda 2020* stilate da *Hydrogen Europe Research* per il 2030.

Le MCFC, invece, necessiteranno di un primo lavoro finalizzato al recupero di un *gap* tecnologico nazionale rispetto allo stato dell'arte dell'unico fornitore mondiale di tale tecnologia, perché il progetto possa poi concentrarsi sullo sviluppo di componenti innovativi in termini di materiali, microstruttura dei componenti, processi di produzione e disegno progettuale di celle e *stack*. Il prototipo risultante potrà essere per esempio cuore di una successiva realizzazione ingegneristica che a bordo nave garantisca il rispetto delle nuove stringenti disposizioni dell'*International Maritime Organization* dell'ONU, che impongono una riduzione delle emissioni della CO₂ del 40% entro il 2030.

Contenuti tecnico/scientifici e di avanzamento delle conoscenze che vanno dunque oltre lo stato dell'arte nazionale e internazionale, ma anche risultati che possono essere impiegati a breve nel settore, possono essere di interesse per settori attigui (scienza dei materiali, catalisi eterogenea, etc) e potranno certamente essere base per una successiva attività di ricerca e sviluppo, assicurando la loro durabilità. A quest'ultimo proposito, per esempio, una attività che offrirà spazio per successive ottimizzazioni è quella relativa all'intento di sperimentare anche nuove celle a conduzione mista, che sfruttando in una MCFC tradizionale l'aggiuntivo trasferimento di ioni ossigeno, caratteristico invece delle celle ad ossidi solidi, possano incrementare notevolmente la densità di potenza, tipicamente non molto elevata nella tecnologia base.

CALIPSO prevede inoltre una attività di modellazione numerica, utile alla comprensione dei fenomeni e all'indirizzo della ricerca sulla scala della cella, nonché quale strumento di progettazione per nuovi disegni di *stack*.

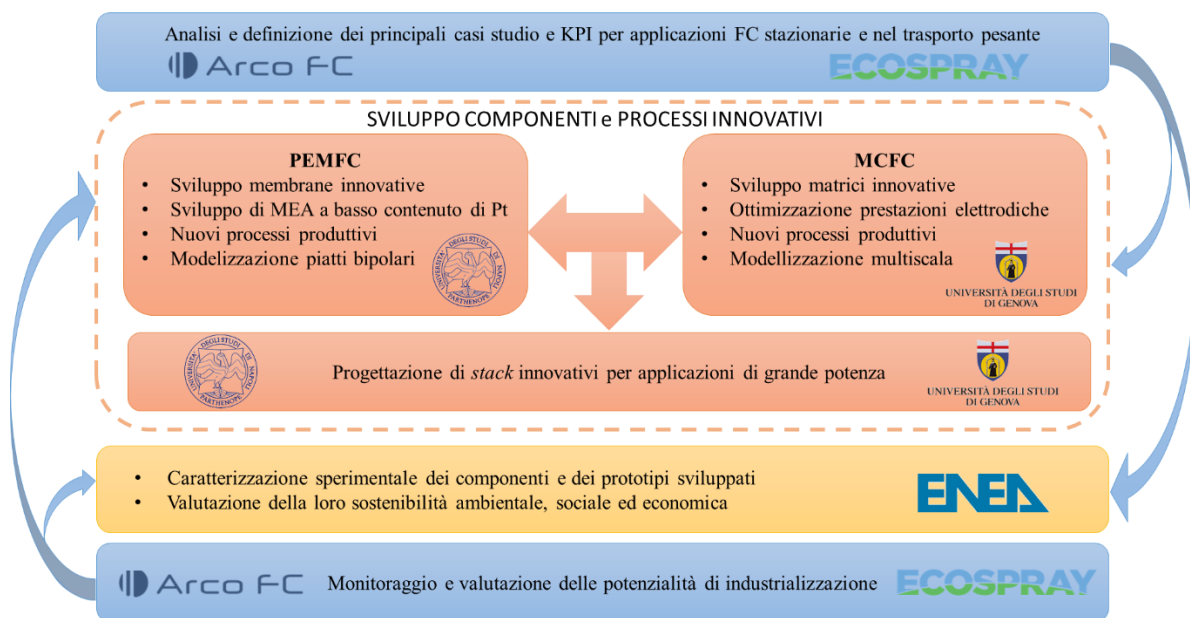
Tale approccio metodologico è uno degli elementi acquisiti grazie all'esperienza consolidata nel settore propria dei soggetti proponenti.

La realizzabilità, infatti, di un progetto così ambizioso è garantita dalle competenze di un partenariato che vanta non solo conoscenze uniche riconosciute dalla comunità scientifica del settore e maturate in una esperienza ultraventennale, ma anche attrezzature laboratoriali adeguate e una capacità di collaborazione efficace già dimostrata in precedenti progetti. In particolare, i proponenti di vocazione accademica e di ricerca hanno infatti già lavorato assieme con successo in seno a numerosi progetti di ricerca nazionali e internazionali sul tema delle

celle a combustibile. Il consorzio, inoltre, propone un ulteriore passo avanti nella collaborazione, includendo fra i proponenti due aziende che hanno dimostrato un impegno non comune nell'innovazione e che guideranno e monitoreranno il progetto fornendo preziose indicazioni in merito alla industrializzazione di componenti, *stack* e processi di produzione.

L'interesse di una *start-up* innovativa, unica produttrice di PEMFC per la mobilità in Italia, e di una grande azienda, che ha già avviato una *start-up* innovativa dedicata allo sviluppo di celle MCFC, attesta infine l'utilità delle soluzioni proposte evidenziando la grande potenzialità del mercato.

L'integrazione fra i contenuti sintetizzati e i ruoli dei proponenti è esemplificato nello schema seguente, che riassume la struttura di CALIPSO e dei suoi principali Obiettivi Realizzativi.



Alla luce della sintesi presentata, la presente occasione di finanziamento si configura quindi come una preziosa opportunità di lancio per un progetto che si configura come una ricerca “high risk/high gain”, il cui successo permetterà di raggiungere un netto avanzamento delle conoscenze scientifiche nel settore delle celle a combustibile finalizzato a settori applicativi ad elevato impatto ambientale e grande potenziale di sviluppo industriale.

4. FINALITA’

Il progetto CALIPSO mira a sviluppare celle a combustibile innovative ad alta potenza per applicazioni in sistemi stazionari e di mobilità, portando queste tecnologie oltre lo stato dell’arte, attraverso attività di ricerca fondamentale orientate a trovare soluzioni innovative che rendano possibile la produzione di moduli e stack di elevata potenza con alte prestazioni a costi competitivi.

Ad oggi, in Italia è presente una sola azienda produttrice di sistemi basati sulla tecnologia delle celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFC); questo player industriale ha, da tempo, consolidato la presenza sui mercati europei ed internazionali. Al contrario, non esiste una filiera produttiva nazionale per lo sviluppo di celle a combustibile a membrana polimerica (PEMFC) e a carbonati fusi (MCFC). La finalità principale del progetto è quella di colmare il gap che ha il nostro Paese nell’ambito della ricerca, sviluppo, trasferimento tecnologico e industrializzazione di una filiera basata su queste tecnologie, rispondendo alla sfida di intercettare la imminente domanda di un mercato in rapida evoluzione, sia in termini quantitativi di sistemi richiesti che delle relative taglie. CALIPSO si propone obiettivi “high risk/high gain”, il suo successo permetterà di raggiungere un cambiamento radicale di paradigma e un importante avanzamento delle conoscenze e della tecnologia nel settore delle celle a combustibile in Italia. Il progetto darà un forte contributo allo sviluppo di soluzioni innovative che consentiranno di colmare, in tempi

rapidi, il gap che, ad oggi, il nostro paese ha nell'ambito delle tecnologie a idrogeno per sistemi stazionari e di mobilità, caratterizzate da alte prestazioni ed efficienza, superiori a sistemi presenti sul mercato e prodotti da altri player internazionali.

Le finalità innovative del progetto vanno ben oltre il risultato dell'obiettivo di realizzare nuove tecnologie innovative; consentiranno, infatti, un importante passo verso la sostenibilità e contribuiranno all'adozione di strategie politiche nazionali ed europee per la riduzione dei costi di sviluppo di sistemi basati su tecnologie della filiera idrogeno.

In questo contesto, la partecipazione di due aziende di grande rilievo nazionale, dimostra l'interesse verso la sfida volta alla creazione di una filiera che sviluppi componenti e sistemi basati su celle a combustibile caratterizzati da prestazioni al pari o superiori di quelli finora esistenti sul mercato. ECOSPRAY è un'azienda leader del settore impiantistico, sviluppa sistemi di controllo e automazione e, da tempo, svolge numerose attività di ricerca e sviluppo nella *green economy*; l'azienda ha attivato una linea dedicata allo sviluppo di sistemi basati sulla tecnologia delle celle a combustibile a carbonati fusi. ARCO, nasce dall'esperienza di Arcotronics, ed è la prima azienda italiana focalizzata sullo sviluppo di sistemi basati su celle a combustibile a membrana polimerica. I partner di ricerca che partecipano al progetto hanno una lunga e consolidata esperienza nello sviluppo di celle a combustibile PEMFC e MCFC, in particolare: l'Università di Genova ha collaborato per oltre 20 anni con Ansaldo Fuel Cell, azienda leader del gruppo Finmeccanica per lo sviluppo di sistemi MCFC già quando il mercato non era ancora pronto per utilizzare questi sistemi; l'Università Parthenope ha una consolidata esperienza sull'integrazione di sistemi basati su celle a combustibile PEM; ENEA ha collaborato e sviluppato, insieme ad Ansaldo Fuel Cell e ad Arcotronics, i primi prototipi di sistemi basati su queste tecnologie e rappresenta, ad oggi, un centro di ricerca di eccellenza a livello nazionale sulle tematiche di ricerca e sviluppo di tecnologie nell'ambito della filiera dell'idrogeno. L'Università Parthenope, l'Università di Genova ed ENEA hanno dato vita al primo centro italiano per la ricerca, sviluppo, e prototipazione di tecnologie e sistemi basati su celle a combustibile di diversa tipologia e per diverse applicazioni: il distretto di alta tecnologia Atena. 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.

CALIPSO svilupperà, per le celle polimeriche, soluzioni costruttive in grado di consentire l'incremento della superficie attiva e/o del numero di celle, mettendo a punto nuovi materiali per membrane polimeriche caratterizzate da elevata conducibilità ionica; metodi di deposizione innovativi dei catalizzatori, per ridurre il contenuto di platino; processi innovativi di produzione di MEA; piatti bipolari di spessore ridotto allo scopo di incrementare il numero di celle e la potenza specifica dello *stack*. Per le celle a carbonati fusi saranno sviluppate soluzioni costruttive caratterizzate da prestazioni competitive in termini di efficienza e durabilità, mettendo a punto nuovi materiali e nuovi processi di fabbricazione; ottimizzando matrici innovative con maggiore resistenza meccanica; realizzando elettrodi con diversi metodi produttivi e con caratteristiche microstrutturali atte a incrementare le prestazioni sia in termini di densità di potenza che di vita utile; utilizzando componenti metallici con geometrie che condizionino la fluidodinamica dei gas ai fini di una ottimale gestione termica e diffusione dei reagenti negli elettrodi.

CALIPSO utilizzerà metodologie di ricerca basate su analisi teoriche e sperimentali. La modellizzazione di componenti, processi e sistemi, avverrà su diverse scale fenomenologiche: a livello microscopico, per l'indagine dei fenomeni elettro-chimico-fisici; a livello macroscopico, per proporre nuove soluzioni progettuali di cella e di *stack*; a livello di impianto, per l'analisi di fattibilità di diversi casi studio. La sperimentazione su scala di laboratorio consentirà di monitorare i progressi raggiunti nello sviluppo dei componenti in termini di performance elettrochimiche, durabilità nel tempo e resilienza in tutte le condizioni operative. Una volta ultimata la caratterizzazione sperimentale dei diversi componenti verrà effettuata un'analisi di impatto ambientale volta a quantificare e qualificare l'avanzamento dello stato dell'arte delle tecnologie scelte nel progetto anche da un punto di vista di sostenibilità economico-ambientale.

CALIPSO metterà a punto tecnologie e processi innovativi per migliorare la durabilità, la stabilità e l'affidabilità di componenti e *stack* di celle a combustibile polimeriche e a carbonati fusi e, quindi, per assicurare la rivoluzione verde e la transizione ecologica delle applicazioni stazionarie e di mobilità.

5. OBIETTIVO FINALE DEL PROGETTO

Il presente progetto ha l'ambizioso obiettivo di sviluppare innovazione nella tecnologia delle celle a combustibile ad alta potenza in sistemi stazionari e di mobilità. L'innovazione riguarderà lo sviluppo di nuove componenti e nuovi processi produttivi; la caratterizzazione delle prestazioni e della sostenibilità dei componenti sviluppati, la progettazione di *stack* e moduli in grado di integrare i nuovi componenti e la valutazione delle potenzialità di trasferimento industriale. Vale la pena evidenziare come tali aspetti del progetto siano particolarmente ambiziosi e si configurino come una ricerca "high risk/high gain", il cui successo permetterà di raggiungere un cambiamento radicale di paradigma e, soprattutto, un importante avanzamento delle conoscenze e della tecnologia nel settore delle celle a combustibile.

Per le celle polimeriche in applicazioni di alta potenza, il progetto prevede

- di incrementare la vita utile delle celle richieste dalle applicazioni heavy duty, mediante lo sviluppo di membrane di maggiore durabilità e conducibilità ionica basate su polimeri innovativi che presentino fasi cristalline nanoporose, opportunamente funzionalizzabili;
- di ridurre i costi dei MEA che oggi rappresentano il 50% dei costi dello *stack*, mediante lo sviluppo di sistemi innovativi di deposizione dei catalizzatori per ridurre il contenuto di platino mantenendo inalterata la conducibilità elettrica;
- di progettare *stack* di grande potenza ottimizzando anche il disegno, lo spessore e il percorso dei canali dei piatti bipolari

La funzionalizzazione selettiva della fase cristallina rappresenta un problema tecnico-scientifico molto complesso in quanto, ad oggi, tale tecnica non è stata mai utilizzata poiché le membrane polimeriche (Polymer Electrolyte Membrane - PEM) commercialmente prodotte non sono semicristalline, ma completamente amorfe. I ricercatori dell'Università Parthenope hanno già sperimentato e dimostrato, in altri settori applicativi, la selettività delle fasi nanocristalline nell'assorbire rapidamente diverse classi di composti organici ed inorganici e la grande stabilità chimico-fisica delle strutture co-cristalline e nanoporose per i polimeri di interesse. Stabilità testimoniata dalla elevata temperatura di transizione vetrosa dei polimeri utilizzati e dall'elevato punto di fusione dei loro co-cristalli. Tali caratteristiche fanno presumere con ragionevole certezza che, anche dopo la funzionalizzazione chimica selettiva, la fase nanocristallina possa essere preservata. È prevista inoltre una strategia di approccio alternativa che prevede di sfruttare al contempo la selettività molecolare delle fasi nanocristalline ottenute per ottenere una funzionalizzazione allo stato solido efficiente e selettiva della sola fase amorfa, ovvero della frazione non cristallina della membrana. In questo caso utilizzando agenti funzionalizzanti di dimensioni molecolari molto maggiori di quelle delle nanocavità, e che quindi non sono in grado di diffondere nella fase NC per motivi sterici, la funzionalizzazione avverrà solo nella fase amorfa. È importante evidenziare i punti di interesse anche di tale secondo approccio: in primo luogo, tale metodologia consentirà una funzionalizzazione rapida e uniforme della membrana, poiché la presenza di fasi cristalline nanoporose renderà più veloce la plastificazione della fase amorfa facilitando la diffusione dei reagenti e, di conseguenza, l'uniformità della reazione allo stato solido. Inoltre, questa procedura consentirà di ottenere membrane semicristalline in cui l'alto grado di funzionalizzazione chimica della fase amorfa renderà questa fase altamente idrofila e ionicamente conduttiva mentre la fase cristallina non modificata conferirà alla membrana una resistenza termica e chimica superiore a quelle tipiche delle membrane completamente amorfe. Va evidenziato inoltre che l'orientazione della fase cristallina realizzata durante la fase di ottenimento della membrana mediante *solution casting* impartirà, come è evidente, un elevato grado di ordine anche alla fase amorfa, portando alla formazione di domini a conduzione ionica orientati e quindi più efficienti. Infine, la presenza della fase nanocristallina avrà un effetto benefico anche nel ridurre la deformazione della membrana che solitamente porta alla perdita delle proprietà meccaniche e alla ridotta durabilità dell'assemblato membrana-elettrodo (MEA), poiché i cristalli agiranno come reticolanti fisici per evitare eccessive modifiche dimensionali dovute all'assorbimento dell'acqua.

L'applicazione di tecniche di deposizione laser ad impulsi (PLD) consentirà di minimizzare il consumo di catalizzatore: una sorgente laser genera un plasma di atomi di platino che si disperde sulla matrice bersaglio in forma nanoparticellare ed è in grado di controllare la quantità di platino depositata. Con tale approccio è possibile depositare il materiale direttamente sul carbon cloth che costituisce lo strato diffusivo della membrana riducendo

la quantità di catalizzatore a quella necessarie. Le tecniche PLD in modalità MAPLE consentiranno anche di utilizzare precursori del platino meno pregiati (acido esacloroplatinico) ottenuti mediante riduzione fotochimica.

Le innovazioni descritte sia riguardo le membrane che i sistemi di deposizione dei catalizzatori saranno poi studiate nell'ottica di voler definirne un processo industriale di produzione. A tal scopo si procederà nella progettazione di un sistema di produzione delle nuove membrane; si studierà come implementare su scala industriale le tecniche di deposizione sperimentate sviluppate su scala di laboratorio. Infine, si procederà con lo studio e la progettazione del processo di produzione ed assemblaggio di MEA.

Con tale approccio, il progetto introdurrà contenuti innovativi radicali che rivoluzioneranno la produzione e le prestazioni delle celle a combustibile a membrana polimerica. Saranno utilizzate, per la prima volta, tecniche di deposizione laser per ridurre il quantitativo di materiali pregiati e costosi e membrane nanoporose con polimeri semicristallini che porteranno a incrementare sensibilmente la conducibilità ionica e la durabilità.

CALIPSO mira a ottimizzare il disegno, lo spessore e il percorso dei canali dei piatti bipolari attraverso attività di modellazione numerica multidimensionale, al fine di definire un design ottimale dei piatti bipolari, che consenta non solo di raggiungere elevate prestazioni, ma anche di ridurre i costi legati alla produzione della cella. I principali problemi progettuali da affrontare saranno relativi all'ottimizzazione della configurazione dei canali di distribuzione, attraverso una simulazione numerica mediante tecniche CFD che offrirà la possibilità di studiare gli effetti che si verificano all'interno di una cella a combustibile a livello locale e ad alta risoluzione, quali ad esempio i fenomeni legati alla temperatura, alla distribuzione dell'acqua, ai flussi di idrogeno e ossigeno e alla concentrazione delle specie chimiche. Grazie a questo approccio, sarà possibile ottenere dei modelli numerici per la caratterizzazione delle prestazioni di una cella PEM, in grado di descrivere accuratamente i fenomeni fisici coinvolti durante il suo funzionamento e piatti bipolari con spessori e layout ottimizzati.

Il progetto apporterà importanti innovazioni anche per quel che concerne l'ottimizzazione dello stack PEM, sia a livello di struttura interna, tenendo conto della geometria di cella e del suo spessore, che della configurazione esterna, tenendo conto la geometria dello stack. Attraverso tale approccio, il progetto sarà in grado di ottenere uno stack che possa superare gli attuali limiti in termini di numero totale di celle al fine di ottenere valori elevati di densità energetica. Il principale problema progettuale da affrontare riguarda la realizzazione di un sistema di distribuzione di gas in grado di alimentare in maniera uniforme ed omogenea tutte le celle contemporaneamente. Verranno pertanto studiate diverse soluzioni tecniche, ponendo grande attenzione ai cruciali aspetti di carattere fluidodinamico, che porterà al design di un sistema di collettori ottimizzato.

Obiettivi molto simili riguardano le celle ad alta temperatura MCFC, delle quali si vuole ottenere una configurazione ottimizzata competitiva in termini sia prestazionali sia di processo manifatturiero. Diversamente dalle celle PEMFC, lo sviluppo tecnologico delle MCFC è disuniforme da paese a paese, vedendo oggi il mercato dominato dai prodotti americani. Il traguardo finale atteso da CALIPSO è estremamente sfidante in quanto non si vuole soltanto rilanciare la tecnologia europea uguagliando i risultati raggiunti oltre oceano, ma anche proporre delle soluzioni alternative per incrementare l'efficienza di funzionamento e ridurre i costi di produzione diventando competitivi con i processi tradizionali di generazione dell'energia. In dettaglio, l'obiettivo è un aumento del 20% dell'efficienza elettrica e una diminuzione del 40% del CAPEX. Considerando le specifiche peculiarità delle celle MCFC come generatore di potenza e concentratore della CO₂, due sono i principali-naturali ambiti di applicazione: in impianti stazionari di grossa taglia e nel settore della mobilità navale. In entrambi i contesti le innovative celle MCFC ottenute dovranno garantire alte densità di potenza per lunghi funzionamenti (40,000-60,000 ore) permettendo di ridurre i volumi richiesti, vincolo significativo soprattutto nel settore dei trasporti ma anche in campo industriale. Tale ottimizzazione sarà raggiunta modificando le caratteristiche microstrutturali e le proprietà dei diversi strati di cella tramite la scelta di materiali e processi produttivi alternativi. Il prodotto atteso brevettabile è una cella MCFC costituita da una matrice con alta resistenza meccanica e bassa resistività, degli elettrodi con ottima attività catalitica e maggiore tolleranza agli inquinanti a base di zolfo e collettori di corrente strutturalmente stabili dalla geometria ottimizzata per un'uniforme alimentazione dei gas alla cella. Tale prodotto sarà realizzato tramite la combinazione di tecniche tradizionali e convalidate, come il tape-casting, affiancate a soluzioni innovative di deposizione che permetteranno un processo manifatturiero sostenibile economicamente ed ecologicamente, di facile industrializzazione e automatizzazione per favorire una rapida diffusione della nuova tecnologia sviluppata. Parallelamente e come supporto alle attività sperimentali, verrà svolta una modellizzazione di dettaglio fondamentale per indirizzare le scelte progettuali nella realizzazione della cella, ma anche avere una

migliore comprensione del funzionamento del prodotto innovativo proposto. Tra gli obiettivi finali vi è infatti il raggiungimento di una conoscenza puntuale dei principali fenomeni chimico-fisici caratterizzanti ciascun specifico strato della cella e come questi influenzano le prestazioni globali. Il codice di simulazione SIMFC sviluppato potrà essere registrato come prodotto proprietario, permettendo di avere uno strumento validato per la previsione, il controllo e la diagnosi di questa configurazione innovativa di cella MCFC.

6. RESPONSABILE DEL PROGETTO

Dati anagrafici: Prof. Ing. Elio Jannelli, nato a Napoli, 21.05.1958, residente a Napoli, Via Crispi 105

Titolo di studio: Dottorato in Ingegneria della Macchine/ Laurea in Ingegneria Meccanica

Posizione professionale: Professore I Fascia - Università degli Studi di Napoli, Parthenope

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 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 30M€ e, in collaborazione con università, centri di ricerca e imprese, ha costituito il 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 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. E' autore di oltre 140 pubblicazioni ed è revisore esperto per molte riviste internazionali. È stato coordinatore e 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.

7. OBIETTIVI REALIZZATIVI DEL PROGETTO

OR	Soggetto proponente	Titolo
OR1	UniParthenope	Componenti e processi innovativi per celle polimeriche ad alta potenza
OR2	UNIGE	Componenti e processi innovativi per celle a carbonati fusi ad alta potenza
OR3	ENEA	Caratterizzazione prestazioni e sostenibilità di componenti e celle a combustibile
OR4	ARCO	Indirizzi per l'industrializzazione di celle polimeriche ad alta potenza
OR5	ECOSPRAY	Indirizzi per l'industrializzazione di celle a carbonati fusi ad alta potenza

7.1. DESCRIZIONE DEGLI OBIETTIVI REALIZZATIVI

OR1 – Componenti e processi innovativi per celle polimeriche ad alta potenza
<i>Soggetto preposto alla realizzazione:</i> Università di Napoli Parthenope
<i>Luogo di svolgimento:</i> Dipartimento di Ingegneria - Centro Direzionale Isola C4 – 80143 Napoli e Centro Ricerche ATENA - via Vicinale Visconti n.77 – 80147 Napoli
<i>Descrizione sintetica</i> Nell'OR1 saranno sviluppati componenti per stack e moduli PEMFC (Polymeric electrolyte Membrane Fuel Cell) ad alta potenza idonei per applicazioni heavy duty. Saranno studiate soluzioni costruttive per consentire l'incremento della superficie attiva e/o del numero di celle. Nel primo caso saranno sviluppati nuovi materiali per membrane polimeriche caratterizzate da elevata conducibilità ionica; e metodi di deposizione innovativi dei catalizzatori, per ridurre il contenuto di platino, e processi innovativi di produzione di MEA. Nel secondo caso saranno studiati piatti bipolari di spessore ridotto allo scopo di incrementare il numero di celle e la potenza specifica dello stack. A tal fine, sarà inoltre effettuata un'attività di modellazione e ottimizzazione dei canali di distribuzione dei gas in piatti bipolari di spessore ridotto. Infine, saranno progettate ed ottimizzate configurazioni di stack innovativi per applicazioni ad alta potenza e condotte analisi delle prestazioni per diversi casi studio.

OR2 - Componenti e processi produttivi per celle a carbonati fusi ad alta potenza
<i>Soggetto preposto alla realizzazione:</i> Università degli Studi di Genova
<i>Luogo di svolgimento:</i> Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale – Via Montallegro 1 – 16145 Genova
<i>Descrizione sintetica</i> Nell'OR2 saranno sviluppate celle a combustibile a carbonati fusi caratterizzate da prestazioni competitive in termini di efficienza e durabilità, nonché da requisiti specifici finalizzati alle applicazioni studiate e propedeutici a un processo di industrializzazione. A tal fine nuovi materiali e nuovi processi di fabbricazione saranno identificati e testati, avendo cura di considerare anche i relativi potenziali impatti ambientali ed economici. Nello specifico saranno ottimizzate matrici innovative con maggiore resistenza meccanica; elettrodi realizzati con diversi metodi produttivi e con caratteristiche microstrutturali atte a incrementare le prestazioni sia in termini di densità di potenza che di vita utile; componenti metallici con geometrie che condizionino la fluidodinamica dei gas ai fini di una ottimale gestione termica e diffusione dei reagenti negli elettrodi. Inoltre, l'analisi sperimentale sarà supportata da una attività di modellizzazione su diverse scale fenomenologiche: a livello microscopico, per l'indagine dei fenomeni elettro-chimico-fisici; a livello macroscopico, per proposte di nuove soluzioni progettuali di cella e di stack; a livello di impianto, per l'analisi di fattibilità di diversi casi studio.

OR3 - Caratterizzazione prestazioni e sostenibilità di componenti e celle a combustibile
<i>Soggetto preposto alla realizzazione:</i> ENEA
<i>Luogo di svolgimento:</i> 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.
<i>Descrizione sintetica</i> Le attività dell'OR3 saranno concentrate sulla caratterizzazione sperimentale dei componenti per celle a combustibile ad elevata densità di potenza, sviluppati negli OR1 e OR2. Lo scopo è quello di quantificare sperimentalmente su scala di laboratorio i progressi raggiunti nello sviluppo dei componenti in termini di performance elettrochimiche, durabilità nel tempo e resilienza in diverse condizioni operative. Per poter effettuare un simile lavoro di <i>quality assurance</i>, verrà stabilita una matrice di prova dei test, volta a quantificare empiricamente e in tempi rapidi i principali indicatori di performance oggetto dello sviluppo dei primi due OR (e.g. minor resistenza interna, maggior densità di potenza, etc.). Una volta stabilita la matrice sperimentale questa verrà applicata per testare celle a combustibile (PEM e MCFC) assemblate con i componenti innovativi sviluppati negli OR1 e OR2. Una volta completati i test di screening le attività potranno concentrarsi sulla quantificazione dei progressi ottenuti nello sviluppo dei componenti di entrambe le tecnologie. Ultimata la caratterizzazione sperimentale dei diversi componenti verrà effettuata l'analisi SLCA (Social Life Cycle Assessment) volta a quantificare e qualificare la sostenibilità ambientale e sociale dei moduli sviluppati con riferimento al ciclo di vita dei componenti in essi integrati. Tale valutazione sarà affiancata dall'analisi sui costi dei sistemi PEMFC e MCFC attraverso degli indicatori economici, al fine di individuare le potenzialità della loro collocazione sul mercato.

OR4 - Indirizzi per l'industrializzazione di celle polimeriche ad alta potenza
<i>Soggetto preposto alla realizzazione:</i> ARCO FC srl
<i>Luogo di svolgimento:</i> Sede operativa di Via Badini 21 - 40059 Granarolo dell'Emilia (BO) e Centro Ricerche ATENA - via Vicinale Visconti n.77 – 80147 Napoli
<i>Descrizione sintetica</i> Le attività dell'OR4 saranno incentrate sulla definizione degli indici di prestazione (KPI) e dei requisiti progettuali per lo sviluppo di celle a combustibile polimeriche ad alta potenza idonee per applicazioni heavy duty. I requisiti di progetto per le diverse applicazioni saranno stabiliti sia in relazione alle prestazioni attese che ai vincoli tecnici. Particolare attenzione sarà dedicata a definire i requisiti di gestione termica sia dello stack che dei sistemi ausiliari necessari per l'integrazione in moduli ad alta potenza (BOP). Le attività di sviluppo dei componenti, dello stack e del modulo saranno seguite al fine di assicurare tempi rapidi di prototipazione e industrializzazione.

OR5 - Indirizzi per l'industrializzazione di celle a carbonati fusi ad alta potenza
<i>Soggetto preposto alla realizzazione:</i> ECOSPRAY
<i>Luogo di svolgimento:</i> Headquarters di Via Circonvallazione 14/14A - 15050 Alzano Scrivia (AL)
<i>Descrizione sintetica</i> Le attività dell'OR5 permetteranno la definizione degli indici di prestazione (KPI) e dei requisiti progettuali per lo sviluppo di celle a combustibile a carbonati fusi per applicazioni heavy duty. Vincoli tecnici, ambientali ed economici saranno presi in considerazione per indirizzare le scelte progettuali e identificare i <i>target</i> dei principali parametri operativi. Particolare attenzione sarà dedicata alle applicazioni marittime e alla connessa complessità di integrazione a bordo nave che impone alle celle specifici requisiti prestazionali, strutturali e gestionali. Le attività di sviluppo dei componenti, dello stack e del modulo saranno seguite al fine di assicurare tempi rapidi di prototipazione e industrializzazione.

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

OR1 – Componenti e processi innovativi per celle polimeriche ad alta potenza
L'Obiettivo realizzativo di UniParthenope (OR1) è articolato nelle sei attività di seguito descritte. <i>Task 1.1 - Sviluppo di membrane polimeriche innovative per celle a combustibile ad alta densità di potenza ed elevata durata operativa.</i> L'attività riguarderà lo sviluppo di nuove membrane a scambio cationico (CEM) e anionico (AEM) basate su film orientati semicristallini di polimeri con fasi co-cristalline e cristalline nanoporose, orientate in direzione <i>through-plane</i> con capacità di scambio ionico migliorata e stabilità dimensionale incrementata. Con tali membrane, sarà possibile incrementare la densità di corrente, realizzare stack di maggiore superficie attiva e spessore ridotto,

superare le limitazioni delle correnti tecnologie. Inoltre, una migliore durabilità delle prestazioni in tutte le condizioni operative delle nuove membrane (CEM e AEM) saranno assicurate grazie all'utilizzo di molecole scavenger di radicali adsorbite all'interno delle fasi co-cristalline e nanoporose delle membrane.

I principali problemi progettuali da affrontare riguarderanno la funzionalizzazione selettiva delle fasi co-cristalline e nanoporose che preservi il grado di cristallinità desiderato. Saranno adottate soluzioni scientifiche innovative per lo sviluppo di protocolli per la funzionalizzazione selettiva basati sull'utilizzo di molecole attive di dimensioni tali da diffondere preferenzialmente e più rapidamente nella fase nanoporosa. Inoltre, saranno sviluppati protocolli di funzionalizzazione selettiva della fase amorfa basate su molecole attive di dimensioni tali da non essere inglobate nella fase nanoporosa e che quindi lascino inalterate le fasi co-cristalline e nanoporose.

Inoltre, si intende sviluppare membrane composite, additivando ossidi metallici quali ossidi di titanio o di cerio a membrane commerciali a base di Nafion. L'aggiunta di cariche inorganiche alla membrana polimerica ha l'obiettivo di migliorare le proprietà chimiche e termico-meccaniche della membrana. È stato dimostrato infatti che l'aggiunta di particelle nanometriche e quindi dotate di ampia area superficiale, conferiscono alta stabilità chimica, termica e meccanica, e migliorano anche la conducibilità protonica, aumentando i percorsi di conduzione protonica. L'obiettivo dello studio sarà quello di sviluppare membrane composite di spessore inferiore rispetto a quelle attualmente sul mercato, mediante *casting* o *spin coating*. La composizione chimica e le condizioni operative saranno opportunamente modulate in base alle proprietà meccaniche, termiche ed elettriche ottenute. Lo sviluppo di tali sistemi compositi consentirà di lavorare ad alte pressioni e migliorerà l'efficienza della membrana.

Risultati specifici attesi:

- 1) Nuove membrane a scambio cationico e anionico (CEM e AEM) ad alta conducibilità ionica
- 2) Incremento della durabilità delle prestazioni di membrane a scambio cationico e anionico.
- 3) Membrane di basso spessore con caratteristiche pari o superiori rispetto a quelle presenti sul mercato

Task 1.2 - Messa a punto di MEA a basso contenuto di platino mediante sistemi innovativi di deposizione

L'attività riguarderà l'analisi e la sperimentazione di sistemi innovativi di deposizione dei catalizzatori per la messa a punto e lo sviluppo di MEA a basso contenuto di platino e ad elevata conducibilità elettrica. Saranno studiate diverse metodologie per la deposizione di platino: deposizione con tecnica PLD da platino elementare in agglomerati nanometrici e deposizione con tecnica MAPLE partendo dalla riduzione in soluzione di intermedi del platino meno puri.

I principali problemi progettuali da affrontare riguarderanno la deposizione di nanoparticelle mantenendo inalterate le proprietà di conducibilità elettrica e/o risultati non soddisfacenti delle procedure di deposizione diretta sul GDL. Le soluzioni scientifiche innovative saranno incentrate sullo sviluppo di una metodologia di deposizione alternativa a quella attuale, con maggiore accessibilità delle particelle catalitiche e conseguente aumento dei siti attivi disponibili per le reazioni di ossidoriduzione. Inoltre, sarà sviluppata anche una metodologia che consenta l'impiego di intermedi del platino meno costosi e più facili da disperdere in particelle nanometriche.

Inoltre, l'obiettivo di limitare il contenuto di platino sarà perseguito anche utilizzando tecniche tradizionali quali la deposizione spray mediante l'uso di coater commerciali. Tali sistemi sono ottimizzabili e consentono anche la deposizione eterogenea e concentrata in zone di interesse. In questo modo sarà possibile modulare la deposizione, andando preventivamente ad individuare le zone preferenziali in cui è auspicabile una concentrazione di metallo attivo maggiore. Ciò verrà realizzato attraverso una modulazione delle condizioni operative di uso dei coater, che consentirà di controllare in modo accurato la quantità e la distribuzione di catalizzatore depositato.

Altra strategia che si intende sperimentare per ridurre il contenuto di platino è l'utilizzo di sistemi catalitici alternativi che contengano miscele di metalli attivi, come ad esempio Pd/Pt o Ni/Pt o supportati su composti quali lo zirconio solfonato e il cobalto metallico.

Risultati specifici attesi:

- 1) Sistemi innovativi di deposizione dei catalizzatori

2) Deposizione di catalizzatori a partire da intermedi del platino a minor costo economico

3) MEA a basso contenuto di platino e ad elevata conducibilità elettrica

Task 1.3 - Messa a punto di processi innovativi di produzione

L'attività prevede la progettazione dei processi produttivi dei nuovi componenti sviluppati e lo studio dell'assemblaggio di nuovi MEA. In particolare, saranno studiate ed esaminate le fasi sperimentali che avranno condotto allo sviluppo dei nuovi componenti e si studieranno le modalità del loro trasferimento tecnologico, con particolare attenzione all'ottimizzazione delle condizioni operative, con riferimento ad esempio al controllo della temperatura ed all'uso di solventi che deve essere contenuto e limitato preferenzialmente a solventi *green*, nell'ottica dello sviluppo di processi produttivi sostenibili. Questo studio sarà effettuato separatamente per i nuovi componenti sviluppati. In particolare, per la produzione delle nuove membrane saranno ottimizzati i parametri di controllo della procedura di *casting* e funzionalizzazione, che sono stadi essenziali per un'ottimale conducibilità ionica. Il controllo delle condizioni operative consentirà la riproducibilità della morfologia e delle proprietà del film polimerico. Parallelamente sarà studiato il processo produttivo di deposizione e progettato un sistema automatizzato che garantisca la deposizione ottimale su membrane di grandi dimensioni. Questo aspetto è cruciale per poter combinare un'ottima attività catalitica con l'esigenza di limitare il contenuto di catalizzatore utilizzato. Infine, sarà progettato l'assemblaggio dell'intero MEA, studiando le condizioni ottimali per combinare assieme componenti innovative con quelle tradizionali e commerciali.

I MEA realizzati dovranno essere caratterizzati in termini di conducibilità, stabilità chimica e dimensionale producendo anche assemblaggi di prova, per la sperimentazione e la caratterizzazione delle prestazioni operative insieme ad ENEA. I processi produttivi saranno sviluppati in collaborazione con il partner industriale ARCO.

Risultati specifici attesi:

1. Processi di produzione di membrane innovative ad alta conducibilità ionica
2. Processi di deposizione del catalizzatore per ridurre il contenuto di platino
3. Processi di assemblaggio di MEA per celle ad alta potenza

Task 1.4 - Modellazione dei canali di distribuzione dei gas nei piatti bipolarari per superfici attive di grandi dimensioni

Al fine di progettare celle PEM ad alte prestazioni, sarà svolta attività di modellazione numerica multidimensionale, dedicata all'analisi dettagliata dei processi fluidodinamici, termici ed elettrochimici che avvengono all'interno della cella durante il suo funzionamento. L'output finale di questa attività sarà pertanto la definizione di un design ottimo dei piatti bipolarari, che consenta non solo di raggiungere elevate prestazioni, ma anche di ridurre i costi legati alla produzione della cella.

In particolare, l'attività di modellazione numerica verrà condotta mediante software dedicati e si baserà su un approccio che integri i seguenti aspetti:

- i) Flusso laminare: l'ipotesi di flusso laminare è un'ipotesi tipicamente adottata nello studio delle PEM, in quanto le velocità tipiche del gas all'interno dei canali sono relativamente basse e tali da generare numeri di Reynolds dell'ordine di 10^2 .
- ii) Approccio multi-physics: il modello terrà conto della presenza dei diversi componenti della PEM, aventi differenti proprietà fisiche e di fenomeni fisici di diversa natura.
- iii) Approccio multifase: i flussi all'interno della PEM coinvolgono sia la fase gassosa che quella liquida, di cui il modello terrà conto. La corretta modellizzazione del trasporto di acqua all'interno della cella è un aspetto cruciale per l'ottenimento di simulazioni affidabili.
- iv) Approccio macro-omogeneo: il modello considererà le caratteristiche morfologiche e strutturali dei componenti solidi tramite la definizione di quantità medie (o effettive), ad es. porosità, tortuosità, conducibilità termica/elettrica, ecc., secondo un approccio di modellazione tipico nell'ambito delle PEM.

In particolare, la struttura fibrosa del GDL sarà modellata attraverso proprietà integrali calibrate. Ciò consentirà di raggiungere una elevata efficienza computazionale nella simulazione 3D della cella.

I principali problemi progettuali da affrontare riguarderanno l'ottenimento di una configurazione ottimale dei canali di distribuzione che consenta di massimizzare le prestazioni, minimizzando al contempo i costi di produzione. La simulazione numerica mediante tecniche CFD offrirà la possibilità di studiare gli effetti che si verificano all'interno di una cella a combustibile a livello locale e ad alta risoluzione, quali ad esempio i fenomeni legati alla temperatura, alla distribuzione dell'acqua, ai flussi di idrogeno e ossigeno e alla concentrazione delle specie chimiche.

L'interdipendenza tra i vari fattori che influiscono sulle prestazioni della cella PEM verrà esaminata in funzione della configurazione dei canali di distribuzione dei gas. Verranno quindi considerate diverse configurazioni dei canali, quali: strutture a canali paralleli, a serpentina, a pettine, o miste; verrà inoltre analizzata la geometria della sezione dei canali, fissa o variabile, di forma quadrata, trapezoidale o circolare. Le configurazioni saranno sviluppate in collaborazione con il partner industriale ARCO.

Risultati specifici attesi:

1. Modelli numerici per la caratterizzazione delle prestazioni di una cella PEM, in grado di descrivere accuratamente i fenomeni fisici coinvolti durante il suo funzionamento
2. Piatti bipolari con spessore e layout dei canali ottimizzati

Task 1.5 - Progettazione di stack ad alta densità di potenza

I risultati della modellazione della cella PEM, sui quali si baserà la progettazione dello stack, dipendono fortemente da un numero elevato di parametri di complessa definizione, come ad esempio quelli inerenti la porosità e la tortuosità del GDL, o le proprietà dei materiali costituenti la cella. Pertanto, al fine di ottenere modelli fisici aderenti alla realtà, i dati necessari al corretto sviluppo dei modelli numerici verranno determinati sperimentalmente e, laddove non fosse possibile valutare alcune proprietà, verranno svolte analisi di sensitività sulla base di assunzioni basate su studi di letteratura.

Una volta definiti i modelli (3D) di cella, si passerà dunque allo sviluppo di uno stack ad elevate prestazioni. Questo verrà realizzato mediante l'implementazione di modelli 2D/3D, che verranno utilizzati per valutare i flussi termici in gioco, la distribuzione delle specie chimiche, le perdite di carico, la densità di corrente, e tutti i parametri rilevanti ai fini del dimensionamento opportuno dello stack. Verranno quindi esaminate diverse condizioni di funzionamento, corrispondenti a differenti strategie di alimentazione e a variazione delle portate di alimentazione. La curva di polarizzazione, la potenza netta e l'efficienza dello stack verranno definite in funzione dei parametri caratteristici (quali temperatura, pressione etc.) in tutte le possibili condizioni operative.

L'attività condurrà alla progettazione di uno stack in grado di garantire elevate prestazioni, e al cui interno sussistano condizioni di funzionamento omogenee tra le varie celle che lo compongono.

I principali problemi progettuali da affrontare riguarderanno la definizione accurata dei dati di input richiesti dal modello e il design di uno stack che garantisca condizioni di funzionamento omogenee al suo interno in condizioni operative differenti. Il progetto sarà sviluppato in collaborazione con il partner industriale ARCO.

Risultati specifici attesi:

1. Caratterizzazione, anche dinamica, delle prestazioni di uno stack PEM ad alta potenza
2. Design di uno stack PEM ad elevate prestazioni

Task 1.6 - Ottimizzazione delle configurazioni di stack innovativi per applicazioni di grande potenza

L'ottimizzazione dello stack PEM verrà condotta su due livelli:

- i) ottimizzazione locale, ossia della struttura interna: questa tiene conto della configurazione della geometria di cella e del suo spessore;

- ii) ottimizzazione globale, ossia della configurazione esterna: tale livello di analisi considera invece la geometria dell'intero *stack*.

Per quanto riguarda la struttura interna, l'analisi verrà eseguita tenendo conto delle perdite di carico complessive, della distribuzione dei gas sulle superfici dell'elettrodo e sul tempo di residenza, con particolare attenzione ad alcuni parametri caratteristici, quali il diametro idraulico dei canali e il rapporto tra l'area effettiva dei canali e la superficie totale del piatto bipolare.

Il processo di ottimizzazione della struttura esterna verterà invece sulla distribuzione ed integrazione ottimale dei componenti al fine di minimizzare il volume complessivo e massimizzare la potenza netta prodotta.

Obiettivo finale è l'ottenimento di uno *stack* che possa superare gli attuali limiti in termini di numero totale di celle, pari a circa 350, al fine di ottenere valori elevati di densità energetica, e il raggiungimento di potenze comprese tra i 300 e i 400 kW.

Il principale problema progettuale da affrontare riguarda la realizzazione di un sistema di distribuzione di gas in grado di alimentare in maniera uniforme ed omogenea tutte le celle contemporaneamente. Verranno pertanto studiate diverse soluzioni tecniche, ponendo grande attenzione ai cruciali aspetti di carattere fluidodinamico, che porterà al design di un sistema di collettori ottimizzato. Il progetto sarà sviluppato in collaborazione con Arco.

Risultati specifici attesi:

1. Progetto di uno *stack* con configurazione ottimizzata per specifiche applicazioni

Dettaglio del personale coinvolto nell'obiettivo realizzativo

Le attività previste nell'OR1 saranno svolte dal personale del gruppo MSE&CIM dell'Università di Napoli Parthenope, Dipartimento di Ingegneria, con il supporto di due PA in servizio presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II che collaboreranno con i coproponenti per tutta la durata del progetto. Tutti i ricercatori coinvolti (3PO, 5PA, 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 due ricercatori a tempo determinato (RTD) e da due collaboratori tecnici con assegno di ricerca (AR), che lavoreranno a tempo pieno sul progetto. Quattro PA si occuperanno della progettazione e sintesi delle membrane polimeriche e della caratterizzazione chimico-fisica e delle prestazioni dei componenti sviluppati. 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 due PA, con esperienza nella modellazione termo-fluidodinamica e nelle analisi relative al ciclo di vita dei prodotti. La supervisione delle attività delle fasi di progettazione, realizzazione e sperimentazione 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.

OR2 – Componenti e processi produttivi per celle a carbonati fusi ad alta potenza

L'Obiettivo realizzativo dell'Università di Genova (OR2) è articolato nelle sei attività di seguito descritte.

Task 2.1 - Sviluppo di matrici ceramiche a elevata resistenza meccanica

Lo stato dell'arte prevede principalmente l'impiego di matrici ceramiche in γ -LiAlO₂ o α -LiAlO₂ ottenute per *tape-casting* e atte a garantire un efficace supporto per l'elettrolita e al contempo una sicura separazione dei gas elettrodici. Tali matrici, tuttavia, sono generalmente molto fragili e implicano il rischio di fenomeni di *cross-over* dei gas. Il presente Obiettivo Realizzativo prevede un incremento della resistenza meccanica delle matrici mediante l'ottimizzazione della distribuzione e grandezza dei pori (che devono comunque assicurare un'elevata forza capillare per trattenere efficacemente l'elettrolita liquido); del diametro delle particelle di LiAlO₂; dei leganti organici e della procedura di *burn-out* degli stessi; delle procedure di sinterizzazione *ex-situ* o *in-situ*; di eventuali

materiali ceramici porosi alternativi mutuati da altre attività produttive; dell'aggiunta di elementi irrobustenti (quali reti metalliche, particelle di Al, fibre di Al_2O_3 o LiAlO_2 , ...).

Saranno considerate anche matrici realizzate con materiali comunemente utilizzati nelle celle a ossidi solidi (YSZ, SDC, ...) impregnate con carbonati fusi ($\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$) al fine di indagare le potenzialità di celle a doppia conduzione, favorendo la diffusione sia di ioni CO_3^{2-} che O^{2-} e quindi incrementando la densità di potenza. A tal fine si verificherà la possibilità di realizzare matrici più sottili, riducendo così la resistenza interna.

Sarà dedicata attenzione anche al processo di impregnazione delle matrici con i carbonati, comparando diverse procedure (miscelazione in fase di produzione, prefilling, litiatura *in situ*, ...).

I risultati saranno verificati grazie all'osservazione di parametri prestazionali (curve IV, EIS, ...) e proprietà strutturali (analisi SEM, XRD, ...).

I principali problemi progettuali da affrontare riguarderanno soprattutto la necessità di incrementare la resistenza meccanica mantenendo una bassa resistenza ohmica per non inficiare le prestazioni elettrochimiche della cella, compromesso ottimizzabile anche agendo sullo spessore della matrice stessa.

Risultati specifici attesi:

- 1) Nuove matrici ad alta resistenza meccanica garantendo una bassa resistenza ohmica
- 2) Protocolli per i processi di *burn-out*, sinterizzazione ed impregnazione delle matrici

Task 2.2 - Ottimizzazione delle prestazioni elettrodiche

Obiettivo del presente *task* è un incremento delle prestazioni degli elettrodi sia in termini di conversione elettrochimica sia in termini di durata. L'attività riguarderà sia l'ottimizzazione delle proprietà microstrutturali e catalitiche che favoriscono la diffusione e la reazione dei gas agli elettrodi sia la valutazione della resistenza degli elettrodi sviluppati a fenomeni di degradazione dovuti alla presenza di inquinanti nei gas in alimentazione.

In relazione allo stato dell'arte, che prevede anodi in Ni-Cr e catodi in NiO, saranno studiati e testati materiali alternativi (Al, Cu, differenti % di Cr, LiFeO_2 , ...), inoltre saranno ottimizzati spessori e porosità; utilizzate ricette caratterizzate da diversi leganti organici e granulometrie metalliche; sperimentati *coating* o infiltrazione degli elettrodi con particelle metalliche; standardizzati processi di sinterizzazione e condizionamento.

Particolare attenzione sarà dedicata anche allo studio dello *shadow-effect*, fenomeno che dipende dalla specifica geometria dei distributori dei gas / collettori di corrente e che limita la diffusione dei reagenti negli elettrodi, condizionando la possibilità di raggiungere elevati fattori di utilizzo.

Anche in questo caso i risultati saranno verificati grazie all'osservazione di parametri prestazionali su *button-cell* o *single-cell* da laboratorio (curve IV, EIS, ...) e proprietà strutturali (analisi SEM, XRD, ...).

Critica potrebbe essere la mitigazione dei processi di degradazione, in particolare in relazione ai fenomeni di avvelenamento dei catalizzatori. Nel caso, prove dedicate di lunga durata a diversi tenori di inquinanti potranno essere impiegate per identificare specifici livelli di tolleranza da rispettare tramite opportuni processi di *clean-up* dei gas alimentati.

Risultati specifici attesi:

- 1) Elettrodi innovativi con elevate prestazioni
- 2) Collettori di corrente con grado di vuoto ottimizzato
- 3) Protocolli per i processi di sinterizzazione *ex-situ* e condizionamento *in-situ* degli elettrodi

Task 2.3 - Messa a punto di processi innovativi per la produzione dei componenti di cella

Matrice ed elettrodi sono generalmente ottenuti mediante il processo di *tape-casting*. Il *task* intende produrre indicazioni per l'industrializzazione di tale metodo di fabbricazione, non particolarmente adatto per una futura

produzione su larga scala di unità di grandi dimensioni, e valutare processi alternativi di produzione, eventualmente mutuati da altre tecnologie di celle.

Le potenzialità del processo di *tape-casting* saranno valorizzate testando diverse proprietà e combinazioni di *slurry* e realizzando componenti mediante la sovrapposizione di strati diversi di materiale. Parallelamente saranno studiate e nel caso sperimentate diverse tecniche di produzione (deposizione, infiltrazione, spray, plasma) con lo scopo di mettere a punto processi automatizzati in grado di produrre i componenti con una elevata qualità ripetibile nel tempo.

Anche i processi produttivi dei componenti metallici saranno oggetto di studio, in particolare i distributori dei gas / collettori di corrente, che dovendo riprodurre geometrie talvolta complesse su ampie superfici possono beneficiare di specifici metodi di stampaggio o *chemical machining*.

Obiettivo principale sarà la messa a punto di processi produttivi sostenibili, applicabili su future taglie commerciali, industrializzabili, capaci di ridurre le quantità di materiale necessario e di garantire proprietà microstrutturali controllate ed uniformi.

Taluni processi potrebbero presentare la difficoltà di necessitare di competenze specializzate o attrezzature non disponibili presso il consorzio, nel qual caso si prevede di richiedere una prestazione d'opera esterna al partenariato.

Risultati specifici attesi:

- 1) Processo produttivo ottimizzato per le matrici
- 2) Processi produttivi ottimizzati per gli elettrodi
- 3) Processo produttivo ottimizzato per i collettori di corrente

Task 2.4 - Modellizzazione su scala microscopica per l'indagine dei fenomeni elettro-chimico-fisici

L'attività riguarderà la formulazione di efficaci modelli di cinetica elettrochimica che tengano conto dei diversi contributi di polarizzazione. I modelli, di natura semi-empirica, saranno basati su una rigorosa analisi teorica in cui saranno implementati parametri cinetici identificati a mezzo di dedicate campagne sperimentali a corpo centrato condotte su *button-cell* e *single-cell* su scala di laboratorio. Le prove prevederanno l'individuazione dell'effetto di tutti i principali parametri operativi (temperatura, composizione e portata dei componenti gassosi, presenza di eventuali inquinanti, ...) sulle prestazioni elettrochimiche. I modelli prevederanno, laddove di utilità, uno studio dei profili di concentrazione dei reagenti lungo lo spessore degli elettrodi, integrando cinetica fisica e cinetica elettrochimica intrinseca. In generale tali strumenti consentiranno lo studio dei fenomeni elettro-chimico-fisici di base, esplicitando le correlazioni fra caratteristiche microstrutturali e prestazioni operative.

I modelli saranno sviluppati in relazione alle principali soluzioni proposte nei *task* precedenti, guidando le scelte di ottimizzazione di materiali e proprietà.

Problematiche nello sviluppo del modello potrebbero riguardare l'impossibilità di misurare tutte le caratteristiche microstrutturali di interesse, nel caso sarà necessario introdurre approcci correttivi di natura empirica o correlazioni convalidate in letteratura.

Risultati specifici attesi:

- 1) Modello di cinetica elettrochimica relativo alle principali soluzioni tecnologiche innovative proposte
- 2) Guida nella ottimizzazione di materiali e proprietà dei componenti di cella

Task 2.5 - Modellizzazione su scala macroscopica per la proposta di nuove soluzioni progettuali di cella e di stack

Il modello cinetico messo a punto nel *task* precedente per la soluzione tecnologica ottimizzata sarà implementato in un modello di cella 2D. Il modello base, fondato su bilanci locali di materia, energia e quantità di moto, è già strutturato e integrato nel codice di calcolo denominato SIMFC, in grado di calcolare in pochi secondi tutti i principali parametri elettro-chimico-fisici sul piano di celle MCFC planari (densità di corrente, temperatura, composizioni, polarizzazioni, pressioni, ...). Nell'ambito del progetto CALIPSO il modello sarà ottimizzato,

convalidato sperimentalmente per i casi in studio e utilizzato come strumento diagnostico (in relazione alle prove sperimentali condotte), predittivo (per la valutazione delle prestazioni in diverse condizioni operative o su scale *full-size*), progettuale (per il disegno dell'unità di cella e delle configurazioni di flusso) e di ottimizzazione (per esempio della gestione termica sul piano della cella).

Il codice SIMFC prevede inoltre la modellizzazione 3D, considerando lo scambio termico fra celle impilate in *stack*. In CALIPSO tale strumento sarà affinato considerando specifici disegni progettuali e calcolando anche gli eventuali profili di distribuzione della portata dei gas lungo l'asse verticale della pila.

Risultati specifici attesi:

- 1) *Upgrade* e registrazione proprietaria del codice SIMFC per la modellizzazione 3D di pile MCFC
- 2) Indicazioni per la progettazione ottimale di componenti di cella e di pile di celle
- 3) Guida per lo *scale-up* della tecnologia

Task 2.6 - Modellizzazione su scala di impianto dell'applicazione nei diversi casi di studio

Il Task prevede la simulazione di processo di specifici contesti applicativi nell'ambito dei quali si valuterà l'utilizzo di *stack* MCFC. I casi di studio saranno identificati in accordo con quanto suggerito dal partner industriale. In particolare, l'impiego delle MCFC sarà valutato valorizzando anche la peculiare capacità di queste celle a funzionare quali sistemi attivi di cattura della CO₂, proponendosi come interessanti sistemi di *retrofitting* che associano alla produzione di energia la possibilità di concentrare la CO₂ emessa da sistemi tradizionali di potenza, predisponendola per la sua successiva segregazione.

La pila MCFC sarà simulata con modelli semplificati, laddove sufficiente per una preliminare analisi di fattibilità, oppure mediante il codice SIMFC messo a punto nell'ambito del *task* precedente, quando di interesse una ottimizzazione di dettaglio delle condizioni operative. I modelli proprietari di *stack* saranno implementati in codici commerciali per la simulazione di processo (per esempio Aspen Plus) che consentiranno lo studio anche del BoP completo, comprendente scambiatori, sistemi per la purificazione dei gas, reattori per la produzione di idrogeno, eventuali unità per la segregazione della CO₂.

Le simulazioni potranno comparare le prestazioni proprie dello stato dell'arte MCFC e quelle relative ai componenti innovativi sviluppati nell'ambito di CALIPSO.

I maggiori problemi progettuali potranno essere incontrati nello studio di specifiche applicazioni a bordo nave in relazione alla necessità di minimizzare il volume massimizzando le prestazioni. Tali difficoltà potranno essere affrontate studiando anche l'ottimizzazione di unità ausiliarie, delle quali possa essere ridotto l'ingombro.

Risultati specifici attesi:

- 1) Ottimizzazione della configurazione di processo e delle condizioni operative di specifiche applicazioni
- 2) Valutazione delle miglie dovute alle innovazioni prodotte in una prospettiva di applicazione industriale

Dettaglio del personale coinvolto nell'obiettivo realizzativo

Le attività previste nell'OR2 saranno svolte principalmente dal personale del gruppo PERT (*Process Engineering Research Team*) dell'Università degli Studi di Genova, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) costituito da 1 PO, 1 PA, 2 RTD, 1 TL, 1 AR, compreso il personale che sarà acquisito *ad hoc*.

Tale gruppo potrà essere supportato dall'*Electrochemistry and Corrosion Group* (1 PO, 1 PA, 1 RTD, 1 AR) del DICCA e eventualmente da colleghi di altri dipartimenti che potranno contribuire con la disponibilità di apparecchiature di laboratorio o competenze specifiche sulle proprietà dei materiali.

L'attività sperimentale sarà prevalentemente svolta presso il laboratorio congiunto con ECOSPRAY (laboratorio CAPLAB situato a Genova), prevedendo una stretta collaborazione anche con il personale tecnico dell'azienda.

Ulteriori postazioni di prova saranno utilizzate per massimizzare la capacità di *testing* e verificare specifiche soluzioni di *scale-up* presso l'Università degli Studi di Perugia, che supporterà la sperimentazione grazie all'esperienza specifica nel settore del Dipartimento di Ingegneria. L'attività sarà commissionata tramite apposita convenzione e coordinata da 1PO e 1PA quali responsabili scientifici. Il gruppo di ricerca coinvolto, inoltre, ha esperienza anche nell'ambito delle tecniche di produzione dei componenti e dispone di un sistema di tape-casting e di forni di dimensioni adeguate a verificare l'applicabilità delle procedure in studio anche a componenti *full-size*. Inoltre saranno preziose anche la consulenza e il supporto sperimentale dei ricercatori del Chemie ParisTech con i quali UNIGE sta curando una collaborazione accademica per lo sviluppo di matrici MCFC.

OR3 – Caratterizzazione prestazioni e sostenibilità di componenti e celle a combustibile

L'Obiettivo realizzativo di ENEA (OR3) è articolato nelle quattro attività di seguito descritte.

Task 3.1 – Definizione della matrice sperimentale di prova: design of experiment

L'attività riguarderà la definizione di un protocollo sperimentale per il testing dei componenti innovativi che verranno sviluppati da UniParthenope e UniGE negli OR1 e OR2. Per poter procedere, infatti, ad una caratterizzazione efficace dei componenti e dei processi sviluppati per entrambe le tecnologie di celle a combustibile interessate dal progetto (i.e. PEM e MCFC) occorrerà definire in maniera rigorosa le procedure e i protocolli di testing da condurre nei laboratori di prova dei centri di ricerca coinvolti nel progetto. Pertanto, si partirà con la definizione dei primi test di screening (validi sia per PEM che per MCFC) che avranno lo scopo di stabilire in maniera diretta e precisa la rispondenza dei componenti sviluppati ai requisiti di progetto, al fine di poter andare oltre lo stato dell'arte. Verranno, così eseguite caratterizzazioni elettrochimiche rapide di screening tarate ad hoc per entrambe le tecnologie, al fine di quantificare l'aumento delle performance in relazione anche ai KPIs che verranno selezionati dalle industrie negli OR4 e OR5. Una volta che i componenti sviluppati avranno superato i primi test di screening, si procederà dunque alla caratterizzazione parametrica volta a mappare le performance elettrochimiche delle celle, variando i principali parametri operativi (e.g. temperatura, composizione gas in ingresso). Come ultimo step i componenti selezionati come più promettenti verranno poi testati in prove di lunga durata mirati a individuare eventuali meccanismi di degradazione apprezzabili solo con tempi di operazione congrui. In sintesi, le campagne di testing prevederanno lo screening iniziale, la caratterizzazione parametrica dei componenti e i test di lunga durata per quelli selezionati.

Risultati specifici attesi:

- 1) Definizione di una matrice di prova per PEM e MCFC

Task 3.2 - Caratterizzazione delle prestazioni di MEA innovative per celle polimeriche

L'attività consiste nel testare su scala di laboratorio le MEA innovative prodotte da UniParthenope nell'OR1 al fine di poter quantificare i progressi ottenuti sviluppando processi e materiali innovativi. Per poter dunque effettuare una simile campagna sperimentale ci si atterrà ai protocolli di testing sviluppati nel task precedente, andando ad eseguire caratterizzazioni puntuali dei processi chimico-fisici avvenenti all'interno della MEA. I test verranno condotti scegliendo in maniera opportuna i setup sperimentali utilizzati: i) *button cell* (1-10 cm²) per i test di screening iniziale ii) *single cell* (100cm²) e *short stacks* (5-10 celle) per caratterizzazione parametrica e test di lunga durata. Tutti i test utilizzeranno tecniche di caratterizzazione elettrochimiche in operando, effettuando misurazioni galvanostatiche e potenziostatiche accompagnate da misurazioni di spettroscopia di impedenza puntuali volte a quantificare le performance delle MEA identificando i contributi dei vari processi chimico-fisici. Le misurazioni di spettroscopia di impedenza in particolare saranno accompagnate da un'analisi DRT (Distribution of Relaxation Times) volta ad individuare tutti i contributi all'impedenza complessiva della cella attribuendoli ai diversi componenti (e.g. resistenza al trasferimento di carica anodica, resistenza alla diffusione catodica, etc). Una

volta terminate le caratterizzazioni in operando le celle verranno disassemblate e preparate per analisi *post mortem* utilizzando tecniche come SEM, EDX, XRD.

Risultati specifici attesi:

- 1) Dati prestazioni in operando delle MEA innovative
- 2) Caratterizzazione chimico-fisica membrane *post mortem*

Task 3.3 - Caratterizzazione delle prestazioni di matrici ed elettrodi innovativi per celle a carbonati fusi

L'attività prevede la caratterizzazione in operando e *post mortem* dei principali componenti costituenti le MCFC sviluppati nell'OR2 da UNIGE. Le campagne sperimentali seguiranno l'iter predefinito nel task 1.2 e avranno lo scopo di quantificare le performance elettrochimiche delle celle MCFC assemblate a partire dai componenti menzionati precedentemente. A differenza delle PEM, le MCFC infatti, possono essere assemblate manualmente in laboratorio ricomponendo il sandwich anodo, matrice, elettrolita, catodo, che vengono prodotti abitualmente in maniera separata. Questa particolarità permetterà di testare componenti innovativi (e.g. anodi con una migliorata diffusività, catodi resistenti ad alte concentrazioni di CO₂) insieme a componenti allo stato dell'arte andando di volta in volta a separare e conseguentemente a quantificare i contributi alle performance dovuti ai nuovi componenti, comparandoli con i risultati ottenuti con componenti tradizionali. Come per il task precedente dedicato alle PEM anche in questo caso verranno usati setup sperimentali diversi a seconda delle caratterizzazioni che si intende fare. In particolare il setup per *button cell* (3cm² di superficie attiva) verrà utilizzato per i test di screening, sfruttando le condizioni ideali dovute all'uniformità della temperatura su tutta la cella e ottenendo dati con un alto grado di affidabilità, ideali per test di screening. Per caratterizzazioni parametriche e test di lunga durata verranno invece utilizzati setup per *single cell* (80cm² -100cm²) indicati per test che simulino quanto più possibile l'operazione in ambiente rilevante. Una volta testati i componenti innovativi, verranno poi disassemblati e analizzati *post mortem*.

Risultati specifici attesi:

- 1) Dati test in operando degli elettrodi e matrici innovativi per MCFC
- 2) Caratterizzazione chimico-fisica dei componenti *post mortem*

Task 3.4 – Analisi di impatto ambientale (SLCA) e analisi costi benefici (CBA)

L'attività riguarderà la valutazione della sostenibilità delle tecnologie di *fuel cell* sviluppate, con riferimento agli aspetti economici, sociali ed ambientali. L'analisi dell'impatto ambientale seguirà un approccio basato sull'analisi del ciclo di vita (LCA) "dalla culla alla tomba". Le categorie di impatto ambientale esaminate includeranno: cambiamento climatico, consumo di risorse (fossili o abiotiche), le emissioni di PM, eutrofizzazione, creazione di ozono fotochimico, riduzione dello strato di ozono e altre categorie di impatto per le quali i metodi di valutazione dell'impatto e la qualità dei dati saranno considerati sufficientemente solidi da trarre conclusioni significative. Il software utilizzato sarà Gabi. La sostenibilità sociale delle tecnologie sviluppate verrà valutata applicando la metodologia raccomandata da UNEP per la social LCA. La quantificazione dell'impatto sociale verrà elaborata in modo quantitativo per quanto possibile con l'utilizzo del Social Hotspot DataBase integrato in Simapro. Verrà eseguita un'analisi di sensitività sui parametri che influenzano maggiormente i risultati, unitamente all'analisi delle combinazioni di sistemi più performanti con un apposito approccio all'eco-design. La sostenibilità economica delle tecnologie sviluppate verrà valutata attraverso l'elaborazione di indicatori economici quali il valore attuale netto (NPV), il tasso di ritorno interno (IRR), in comparazione a tecnologie alternative e/o convenzionali. La combinazione e la sintesi dei risultati della valutazione economica, ambientale e sociale permetteranno una valutazione olistica delle performances delle *fuel cell* sviluppate e delle loro applicazioni, al fine di individuare il loro impatto sulle tre componenti della sostenibilità e permettere di individuare le soluzioni migliori per fornire raccomandazioni sullo sviluppo tecnologico e evidenza scientifica ai decisori politici.

Risultati specifici attesi:

- 1) Indicatori della sostenibilità secondo analisi SLCA
- 2) Valutazioni sulle potenzialità di mercato sulla scorta dei costi stimati per le tecnologie sviluppate

Dettaglio del personale coinvolto nell'obiettivo realizzativo

Le attività previste nell'OR3 saranno svolte dal personale del laboratorio "Accumulo di Energia, Batterie e tecnologie per la produzione e l'uso dell'Idrogeno", del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili dell'ENEA. Tutti i ricercatori coinvolti (3 Ricercatori II liv, 6 Ricercatori III liv) hanno specifiche competenze nell'ambito dell'intera catena del valore dell'idrogeno, ed in particolare sulla ricerca, sviluppo, prototipazione, validazione e caratterizzazione di celle a combustibile e loro applicazioni. L'unità di ricerca base per questo progetto sarà costituita da 6 ricercatori a tempo indeterminato e 2 tecnici. L'unità base verrà supportata da un ricercatore con esperienza nello sviluppo, caratterizzazione, testing e validazione di sistemi basati su celle a combustibile. La supervisione delle attività verrà svolta da un ricercatore con esperienza nella gestione di attività svolte in progetti nazionali e internazionali.

OR4 – Indirizzi per l'industrializzazione di celle polimeriche ad alta potenza

L'Obiettivo Realizzativo di Arco (OR4) è articolato nelle tre attività di seguito descritte.

T4.1 - Definizione dei casi studio e dei requisiti per applicazioni di mobilità

La fase progettuale dello stack PEM (OR1) sarà basata su uno studio preliminare, volto alla definizione di specifiche applicazioni, e all'individuazione dei requisiti progettuali per ciascuna di esse.

Le applicazioni che verranno prese in considerazione ricadranno nei seguenti ambiti:

- Applicazioni stazionarie ad alta potenza
- Mobilità su gomma: veicoli *heavy-duty*, sia per la mobilità di passeggeri che per la movimentazione e il trasporto di merci. Tra questi ultimi, di particolare interesse sono le motrici per il trasporto di gomma e i trattori portuali per le operazioni di carico e scarico dalle navi.
- Mobilità marittima: imbarcazioni di diversa tipologia e finalità d'uso.
- Mobilità ferroviaria.

I requisiti di progetto, per ciascuna tipologia individuata, saranno stabiliti sia in relazione ai vincoli tecnici legati alla corretta installazione a bordo di un *powertrain* ibrido batterie/celle a combustibile, sia sulla base dei consumi di energia e combustibile attesi e della richiesta di potenza massima. A tal fine, verranno considerati *duty cycle* tipici, e costruiti modelli dinamici per la simulazione delle prestazioni dei veicoli di riferimento.

Tale analisi consentirà inoltre di individuare i requisiti per il sistema di gestione termica di ciascun componente della *power unit* e, in particolare, della cella PEM.

Risultati specifici attesi:

1. Definizione dei requisiti progettuali per il sistema a celle a combustibile
2. Definizione delle caratteristiche di gestione termica della celle polimeriche

T4.2 - Definizione KPI per celle a combustibile PEM ad alta potenza

Al fine di misurare e quantificare le prestazioni e l'impatto della soluzione tecnica proposta, verranno identificati dei *key performance indicators* (KPIs), specifici per ciascuna applicazione individuata. Questi verranno definiti e raggruppati in classi distinte, ognuna relativa ad un diverso ambito, che consentano una valutazione tecnica, ambientale ed economica dei componenti e delle celle a combustibile PEM sviluppati nel progetto.

Risultati specifici attesi:

- 1) Definizione di KPIs per componenti e celle

T4.3 - Monitoraggio e valutazione delle potenzialità di applicazioni industriali

Parallelamente alle attività di ricerca di base, previste nell'OR1, verrà svolta una costante attività di valutazione del potenziale effettivo dei risultati ad essere applicati a livello industriale. Questa attività sarà cruciale al fine di indirizzare la ricerca di base verso gli obiettivi preposti, apportando miglioramenti continui e dettando le linee guida per una progettazione funzionale allo sviluppo futuro dei prodotti su larga scala.

Risultati specifici attesi:

- 1) Riduzione dei tempi di prototipazione e industrializzazione del prodotto sviluppato
- 2) Riduzione dei tempi time-to-market

Dettaglio del personale coinvolto nell'obiettivo realizzativo

Le attività previste nell'OR4 saranno svolte dal personale di ARCO: n. 12 risorse tra esperti elettrochimici, ingegneri e progettisti. In particolare: *Angelo D'Anzi*, master EMBA LUISS Business School, possiede esperienza ultraventennale nel settore delle fuel cell e dei suoi componenti. *Joseph Epoupa Mengou*, Elettrochimico specialista in Fuel Cell e batterie a flusso. Ph.D. in Industrial Chemistry Science at Department of Heterogeneous Catalysis dell'Università di Bologna. *Pietro Mandurino*, Ingegnere specializzato in Fuel Cell e sviluppo sistemi; esperienza ultraventennale nella progettazione di fuel cell, e pluriennale esperienza nel settore dell'ingegneria aeronautica coautore di circa 15 Brevetti WIPO; *Andrea Raggi*, Project Management, R&D Management con esperienza pluridecennale come project manager di progetti di ricerca e sviluppo. *Leaver Ian Haines*, ingegnere elettrico specializzato nella progettazione dei sistemi ibridi di gestione dell'energia; *Giovanni Cufalo*, responsabile dello sviluppo di sistemi di generazione a idrogeno, progettista esperto di sistemi a idrogeno; *Tommaso De Natale*, Fuel Cell Engineering Manager, Ingegnere elettronico con esperienza decennale in Power & Control of Electrolyzer Field Engineer, Gas Generator; *Domenico Alessandro Romano*, progettista meccanico, disegnatore meccanico; *Giuseppe Riera* esperto responsabile della gestione logistica; *Patrick D'Anzi*, progettista elettromeccanico, disegnatore meccanico e elettromeccanico di parti e sistemi di celle a combustibile; *Simone Gentilini*, tecnico specializzato di laboratorio fuel cell con particolare riferimento all'assemblaggio e collaudo di prototipi di MEA, piatti bipolari, stack e moduli completi; *Nicholas Loi*, elettrochimico specialista in Fuel Cell e batterie a flusso, particolare competenza nello sviluppo delle membrane delle fuel cell.

OR5 – Indirizzi per l'industrializzazione di celle a carbonati fusi ad alta potenza

L'Obiettivo Realizzativo di ECOSPRAY (OR5) è articolato nelle tre attività di seguito descritte.

Task 5.1 - Definizione dei casi studio e dei requisiti per applicazioni stazionarie e di mobilità navale

Obiettivo di questo task sarà l'identificazione di casi studio di particolare interesse relativi a diversi contesti industriali (impianti di generazione di potenza o impianti energivori quali cementerie e acciaierie) e diverse tipologie di navi (navi cargo, navi passeggeri, traghetti e navi da crociera). Ciascun caso studio sarà analizzato anche in base ai risultati della simulazione di processo condotta nell'ambito dell'OR2 e verranno individuate le applicazioni più promettenti per le quali saranno proposti *layout* di sistema innovativi e piani di commercializzazione sostenibili.

Particolare attenzione sarà dedicata alla strategia di *retrofitting* di navi a propulsione tradizionale, proponendo l'impiego di moduli MCFC per la generazione di potenza ausiliaria e la contestuale cattura della CO₂ emessa dai motori al fine di garantire il rispetto delle imminenti restrizioni IMO sulle emissioni in atmosfera pur senza dover ridisegnare l'assetto delle navi in esercizio o in progettazione.

Lo studio del presente task consentirà inoltre l'identificazione dei requisiti che le MCFC e i relativi ausiliari devono soddisfare per una efficace integrazione nel sistema. In particolare, lavorando le MCFC ad alta temperatura, l'efficienza generale del sistema dipenderà dal bilancio termico dell'intero sistema, che è composto da accessori importanti quali scambiatori di calore ad alta efficienza, bruciatori ausiliari etc. Per questo motivo il sistema di generazione dell'energia basato sulle celle MCFC dovrà essere ottimizzato energeticamente anche attraverso lo

sfruttamento/recupero di fonti di energia presenti a bordo, come *boilers* e economizzatori, e il recupero del calore disponibile nel sistema MCFC.

Risultati specifici attesi:

- 1) *Layout* di impianto per selezionate applicazioni stazionarie o di mobilità navale
- 2) Requisiti per l'integrazione dei moduli MCFC nei sistemi di riferimento

Task 5.2 - Definizione KPI per celle a combustibile MCFC ad alta potenza

Al fine di misurare e quantificare le prestazioni e l'impatto della soluzione tecnica proposta, verranno identificati dei *key performance indicators* (KPIs), specifici per ciascuna applicazione individuata. Questi verranno definiti e raggruppati in classi distinte, ognuna relativa ad un diverso ambito, che consentano una valutazione tecnica, ambientale ed economica del sistema celle a combustibile a carbonati fusi sviluppato nel progetto.

Nello specifico saranno presi in considerazione CAPEX, OPEX, tempi di vita, efficienza elettrica, efficienza complessiva, CO₂ emessa e CO₂ catturata per kW generato, fattori di utilizzo dei reagenti, indicatori standardizzati quali SPECCA o LCOE e altri parametri specifici delle applicazioni in studio o definiti *ad hoc*.

Saranno confrontati i valori dei KPI propri delle MCFC allo stato dell'arte, delle MCFC innovative realizzate nel progetto CALIPSO e di altre tecnologie tradizionali, al fine di indirizzare la ricerca di base e identificare valori *target* che consentano una competitiva applicazione delle celle innovative.

La comparazione dei KPI di diverse tecnologie o delle stesse MCFC in diversi ambiti applicativi potrebbe risultare di difficile attuazione, così come la definizione di un caso di *benchmark*, in questo potrà essere di supporto una attività di modellizzazione di sistema dedicata.

Risultati specifici attesi:

- 1) Definizione KPI propri delle applicazioni MCFC in diversi settori
- 2) Valori *target* dei KPI che indirizzino lo sviluppo della tecnologia

Task 5.3 - Monitoraggio e valutazione delle potenzialità di industrializzazione

Parallelamente alle attività di ricerca di base, previste nell'OR2, verrà svolta una costante attività di valutazione del potenziale effettivo dei risultati ad essere applicati a livello industriale. Questa attività sarà cruciale al fine di indirizzare la ricerca di base verso gli obiettivi preposti, apportando miglioramenti continui e dettando le linee guida per una progettazione funzionale allo sviluppo futuro dei prodotti su larga scala.

Risultati specifici attesi:

- 1) Riduzione dei tempi previsti di prototipazione e industrializzazione del prodotto sviluppato
- 2) Riduzione dei tempi previsti *time-to-market*

Dettaglio del personale coinvolto nell'obiettivo realizzativo

ECOSPRAY è una società di ingegneria con oltre 50 ingegneri dedicati alle attività di progettazione, sviluppo prodotti e gestione commesse. Lo *staff* aziendale è costituito attualmente da circa 100 addetti.

Nell'ambito del progetto CALIPSO saranno coinvolti 1 responsabile di R&D, 3 ingegneri di processo e di project management, 1 progettista meccanico, 1 disegnatore 3D, 1 progettista elettrotecnico ed 1 informatico ed automazione. Le attività saranno prevalentemente svolte presso gli uffici di Ecospray e presso gli uffici del laboratorio congiunto con UNIGE (laboratorio CAPLAB).

Le attività potranno inoltre avvalersi della consulenza specialistica sulla tecnologia MCFC offerta dall'Università di Varsavia e dalla società Fuel Cell Poland, con le quali è in atto un accordo di collaborazione per lo sviluppo della tecnologia.

Infine, anche la società Strategie srl, realtà di consulenza con rapporto esclusivo dedicato ad ECOSPRAY, potrà mettere a disposizione personale altamente qualificato nell'analisi di processo di sistemi per la generazione di energia.

7.3. TEMPI DI REALIZZAZIONE

OR	Attività	Periodo (mesi)	Durata (mesi)
OR1	T1.1	M1-M24	24
	T1.2	M1-M24	24
	T1.3	M19-M36	18
	T1.4	M1-M12	12
	T1.5	M13-M24	12
	T1.6	M1-M4 e M19-M36	22
OR2	T2.1	M1-M24	24
	T2.2	M7-M30	24
	T2.3	M13-M36	24
	T2.4	M13-M30	18
	T2.5	M13-M30	18
	T2.6	M1-4 e M19-M36	22
OR 3	T3.1	M1-M9	9
	T3.2	M6-M32	27
	T3.3	M6-M32	27
	T3.4	M25-M36	12
OR4	T4.1	M1-M4	4
	T4.2	M5-M12	8
	T4.3	M13-M36	24
OR5	T5.1	M1-M4	4
	T5.2	M5-M12	8
	T5.3	M13-M36	24

8. RISULTATO INTERMEDIO ATTESO DEL PROGETTO

Il risultato intermedio del progetto e le attività svolte per raggiungere gli obiettivi realizzativi del progetto saranno oggetto di un report dettagliato che consentirà la verifica dei risultati intermedi attesi. Il rilascio del report (Deliverable D1) avverrà a metà del periodo di realizzazione previsto in 36 mesi e quindi entro il mese 19. Il Deliverable sarà strutturato in modo tale da poter verificare i risultati intermedi attesi (Risultato Rx.y) per ciascun obiettivo realizzativo, di seguito elencati.

In merito ad **OR1** (Componenti e processi innovativi per celle polimeriche ad alta potenza) la verifica si baserà sui seguenti risultati intermedi:

R1.1 Ottenimento di film orientati con fasi co-cristalline e cristalline nanoporose preferenzialmente orientate in direzione *through plane* e definizione di un protocollo di funzionalizzazione per l'ottenimento delle membrane.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Spessore film (μm)	$>30 \mu\text{m}$
Area film (cm^2)	$>20 \text{cm}^2$
Grado di cristallinità del film	Fino al 50%
Grado di orientazione dei domini cristallini (valutato con funzione di Herman da pattern di diffrazione 2D)	Circa 1 per catene polimeriche parallele alla superficie del film; circa -0.5 per catene polimeriche perpendicolari alla superficie del film.

R1.2 Ottenimento di elettrodi con ridotte quantità di catalizzatore

Parametri di valutazione	Valori attesi
Quantità catalizzatore	Inferiore a 0.2 mg/cm^2 per entrambi gli elettrodi
Dimensione domini catalitici	Inferiore ai 10 nm
Dimensioni elettrodi	1 cm^2

In merito ad **OR2** (Componenti e processi produttivi per celle a carbonati fusi ad alta potenza) la verifica si baserà sui seguenti risultati intermedi.

R2.1 Matrici MCFC di riferimento

La prima attività sarà finalizzata all'ottimizzazione della proprietà di matrice tradizionali a base di $\gamma\text{-LiAlO}_2$ o $\alpha\text{-LiAlO}_2$ ottenute mediante *tape-casting*.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Resistenza meccanica	$> 90 \text{ gf mm}^{-2}$
Porosità	$\sim 60\%$

Resistenza interna	$\sim 0.4 \text{ Ohm cm}^2$
Cross-over	Trascurabile

R2.2 Cella MCFC di riferimento

Risultato intermedio di rilievo sarà la dimostrazione di celle con prestazioni competitive.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Efficienza elettrica	$\sim 45\%$
Tempi di vita attesi	$\sim 40,000 \text{ h}$
Costi di investimento	$\sim 4000 \text{ € kW}^{-1}$ installato

R2.3 Analisi applicabilità processi di produzione innovativi per MCFC

Oltre al processo di *tape-casting* sarà valutata l'applicabilità di diversi metodi di produzione innovativi per matrici, elettrodi e componenti metallici considerandone vantaggi di economicità, sostenibilità ambientale e potenzialità di *scale-up* ed automatizzazione.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Numero processi di produzione studiati	> 5

R2.4 Convalidazione modello SIMFC su celle MCFC di riferimento

Il codice SIMFC sarà validato da un punto di vista della cinetica elettrochimica così come delle prestazioni sul piano della cella in relazione alle celle di riferimento testate.

Condizioni operative proprie di applicazioni tradizionali		
Parametro di valutazione	Prova sperimentale per convalidazione	Errore di simulazione atteso
Tensione di equilibrio e sotto-carico	Curve caratteristiche IV	$\sim 2\%$
Resistenze ohmiche e di polarizzazione	Spettri di impedenza elettrochimica EIS	$\sim 5\%$
Fattore di utilizzo di CO ₂	Gas cromatografo uscita catodo	$\sim 5\%$
Fattore di utilizzo H ₂	Gas cromatografo uscita anodo	$\sim 5\%$
Mappa termica 2D di cella	Termocoppie sul piano della cella	$\sim 2\%$

R2.5 Simulazione a supporto OR5 per simulazione casi di studio

Saranno resi disponibili i risultati di simulazione di processo relativi a specifici casi di studio proposti da ECOSPRAY per l'analisi preliminare dei potenziali scenari applicativi impiegando un modello semplificato (0D) per la simulazione delle MCFC, realizzato *ad hoc* ed implementato nel *software* Aspen Plus.

In merito ad **OR3** (Caratterizzazione di prestazioni e sostenibilità di componenti, stack e moduli) la verifica si baserà sui seguenti risultati intermedi:

R3.1: Draft del design of experiment, inclusi metodologie e caratterizzazioni proposte per PEM e MCFC

R3.2: Primo screening di caratterizzazioni elettrochimiche sui componenti innovativi PEM e MCFC ultimato

In merito ad **OR4** e **OR5** (Indirizzi per l'industrializzazione di celle a combustibile ad alta potenza rispettivamente a membrana polimerica e a carbonati fusi), la verifica si baserà sui seguenti risultati intermedi:

R4.1 e R5.1: Definizione dei casi di studio e dei requisiti progettuali

La prima fase delle attività consisterà nella individuazione di specifiche applicazioni e nella determinazione dei requisiti progettuali che le celle a combustibile (rispettivamente PEMFC e MCFC) devono avere per una corretta installazione nei contesti applicativi proposti stazionari o di mobilità pesante. Questa attività porterà alla definizione di una architettura di riferimento per ciascun contesto industriale e per ciascuna classe di veicolo o nave considerati e alla definizione dei requisiti di gestione del sistema celle a combustibile e degli altri principali componenti.

R4.2 e R5.2: Definizione KPIs

Per ciascuna applicazione individuata, verranno definiti i parametri prestazionali di riferimento che consentiranno in un primo momento di indirizzare lo sviluppo della tecnologia proposta e, al termine del progetto, di quantificare l'impatto dei risultati raggiunti, in relazione allo stato dell'arte.

9. RISULTATO FINALE ATTESO DEL PROGETTO

Il risultato finale del progetto sarà costituito da:

- Due prototipi di monocelle PEMFC e MCFC realizzati integrando i componenti innovativi sviluppati.
- Un report dettagliato che consentirà la verifica dei risultati specifici attesi. Il rilascio del report (Deliverable D2) avverrà alla fine del periodo di realizzazione previsto in 36 mesi e quindi entro il mese 36. Il Deliverable sarà strutturato in modo tale da poter verificare i risultati finali attesi per ciascun obiettivo realizzativo, di seguito elencati.

OR1 Componenti e processi innovativi per celle polimeriche ad alta potenza

D1.1 Nuove CEM e AEM con fasi co-cristalline e cristalline nanoporose preferenzialmente orientate in direzione *through plane* con durabilità migliorata.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Spessore membrana (μm)	> 20 μm .
Area membrana (cm^2)	> 20 cm^2
Grado di cristallinità della membrana	Fino al 50%

Grado di orientazione dei domini cristallini (valutato con funzione di Herman da pattern di diffrazione 2D)	Circa 1 per catene polimeriche parallele alla superficie del film; circa -0.5 per catene polimeriche perpendicolari alla superficie del film.
Conducibilità protonica (mS/cm), @RH 100%, T=80°C	>150
Conducibilità anionica (mS/cm), @RH 100%, T=80°C	>40
Durabilità in condizioni operative (diminuzione voltaggio su 1000h @T>80°C)	<15%

D1.2 (finale) MEA a basso contenuto di catalizzatore al platino, ma con proprietà di conducibilità simili se non migliori rispetto a quelle commerciali.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Quantità catalizzatore	<0.2 mg/cm ² per entrambi gli elettrodi
Dimensione domini catalitici	Inferiore ai 10nm
Dimensioni elettrodi	>20cm ²
Densità di corrente elettrica	>1300 (mA/cm ²) a 0.6V

D1.3 Schema di processo produttivo dei componenti innovativi e descrizione dettagliata delle attrezzature di produzione

D1.4 Piatti bipolari per celle PEM ad elevata potenza (fino a 400 kW)

D1.5 Prototipo di una cella a membrana polimerica per applicazioni di alta potenza

D1.6 Progetto di stack di celle PEM ad alta potenza (fino a 400 kW)

OR2 Componenti e processi produttivi per celle a carbonati fusi ad alta potenza

D2.1 Matrici MCFC innovative

Grazie a nuovi materiali, caratteristiche microstrutturali e processi di produzione si propone l'ottenimento di matrici ottimizzate valutabili in base ai parametri di seguito riportati.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Resistenza meccanica	>250 gf mm ⁻²
Resistenza interna	Riduzione del 25%
Densità di potenza in caso di conduzione mista	Aumento del 10% (@650°C)

D2.2 Celle MCFC innovative

Il complesso dell'attività di ricerca porterà all'ottenimento di celle MCFC ottimizzate valutabili in base ai parametri di seguito riportati considerando anche nuovi aspetti relativi allo scenario di applicazione.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Efficienza elettrica	55% (↑ 20%)
Tempi di vita attesa	~ 60,000 h (↑ 2 anni)
Fattore di cattura della CO ₂	~ 90%
Dissoluzione NiO	Diminuzione del 10%
Grado di vuoto del collettore	Fino all'80%
Tolleranza composti dello zolfo	< 5 ppm H ₂ S all'anodo < 15 ppm SO ₂ al catodo

D2.3 Processi di produzione innovativi per MCFC

Dallo studio e dall'ottimizzazione di processi produttivi alternativi sarà identificato un protocollo di produzione e condizionamento dei diversi componenti di cella atto a soddisfare i seguenti requisiti.

Parametri di valutazione	Valori attesi
Replicabilità e uniformità delle caratteristiche dei componenti	✓
Possibilità di automatizzazione	✓
Scalabilità su taglie industriali	✓
CAPEX	~ 2500 € kW ⁻¹ installato (↓ 40%)

D2.4 Modello cinetica elettrochimica MCFC

Saranno sviluppati modelli cinetici per le principali soluzioni di cella proposte come guida nel processo di ottimizzazione della tecnologia, producendo quale risultato finale un modello cinetico relativo alla soluzione ottimizzata che garantisca il fittaggio dei dati sperimentali a meno di un errore non superiore a quello ottenuto per la configurazione della cella di riferimento.

Parametro di valutazione	Prova sperimentale per validazione	Errore di simulazione atteso
Tensione di equilibrio e sotto-carico	Curve caratteristiche IV	< 2%
Resistenze ohmiche e di polarizzazione	Spettri di impedenza elettrochimica EIS	< 5%

D2.5 Modello SIMFC per pile MCFC

Il codice SIMFC sarà convalidato sui dati ottenuti testando le principali soluzioni di cella proposte al fine di guidare il processo di ottimizzazione della tecnologia. Al termine dell'attività sarà disponibile un codice ottimizzato che garantisca un fittaggio dei dati sperimentali relativi alla soluzione finale di cella a meno di un errore non superiore a quello ottenuto per la configurazione della cella di riferimento. La convalidazione sarà attuata su un ampio spettro di condizioni di esercizio, anche relative ad applicazioni innovative. Lo strumento sarà utilizzato anche per la progettazione del disegno di stack.

Ampio spettro di condizioni operative		
Parametri di valutazione	Prova sperimentale per validazione	Errore di simulazione atteso
Fattore di utilizzo di CO ₂	Gas cromatografo uscita catodo	< 5%
Fattore di utilizzo H ₂	Gas cromatografo uscita anodo	< 5%
Mappa termica 2D singola cella	Termocoppie distribuite sul piano della cella	< 2%
Progettazione di stack		

D2.6 Simulazione di sistemi MCFC

Saranno resi disponibili i risultati delle simulazioni di processo relative ai casi studio identificati nell'OR5 verificando i valori del KPI di rilevanza per il processo di industrializzazione. Gli scenari applicativi saranno simulati utilizzando in seno al *software* Aspen Plus modelli semplificati di pila MCFC o integrando il codice di dettaglio SIMFC per una ottimizzazione più accurata del *layout* e delle condizioni di esercizio.

OR3 Caratterizzazione prestazioni e sostenibilità di componenti e celle a combustibile

D3.1 Definizione di un protocollo di testing idoneo a celle a combustibile PEM e MCFC con la finalità di fare quality assurance dei nuovi componenti e sistemi sviluppati nel progetto

D3.2 Relazione finale sulla caratterizzazione sperimentale e la verifica delle prestazioni attese dei componenti e sistemi PEM

D3.3 Relazione finale sulla caratterizzazione sperimentale e la verifica delle prestazioni attese dei componenti e sistemi MCFC

D3.4 Relazione di sintesi delle attività dell'obiettivo di ricerca 3 contenente i risultati della modellazione delle tre componenti della sostenibilità (ambientale, sociale ed economico) sviluppate nel OR3

OR4 Indirizzi per l'industrializzazione di celle polimeriche ad alta potenza

D4.1 Definizione KPI propri delle applicazioni polimeriche in settori applicativi prioritari

D4.2 Valori *target* dei KPI che indirizzino lo sviluppo della tecnologia per le specifiche applicazioni

D5.3 Analisi dei tempi e dei costi di prototipazione e industrializzazione delle tecnologie innovative sviluppate

D5.4 Analisi dei tempi e degli investimenti necessari per ridurre il *time-to-market* delle tecnologie sviluppate

OR5 Indirizzi per l'industrializzazione di celle a carbonati fusi ad alta potenza

D5.1 Definizione KPI propri delle applicazioni MCFC in diversi settori

D5.2 Valori *target* dei KPI che indirizzino lo sviluppo della tecnologia

D5.3 Analisi dei tempi e dei costi di prototipazione e industrializzazione del prodotto sviluppato

D5.4 Analisi dei tempi e degli investimenti necessari per ridurre il *time-to-market*

10. ULTERIORI INFORMAZIONI SULLE VOCI DI SPESA PREVISTE NEL PROGETTO

OR1 Componenti e processi innovativi per celle polimeriche ad alta potenza - Università di Napoli Parthenope

Attrezzature e strumentazioni

Non sono previsti costi per attrezzature e strumentazioni in quanto già disponibili presso i laboratori del soggetto proponente e presso i laboratori dei collaboratori

Consulenze e prestazioni

UniParthenope si avvarrà della consulenza dell'Università di Napoli Federico II per la sintesi, caratterizzazione e studio delle relazioni struttura-proprietà di sistemi co-cristallini e nanoporosi a base di polimeri termoplastici quali il polistirene sindiotattico, l'acido polilattico e il polifenilenoossido; per lo studio e analisi di film nanostrutturati ottenuti mediante tecniche di deposizione laser.

Il costo previsto è stimato in circa 120 k€ + IVA

UniParthenope si avvarrà delle prestazioni specialistiche di Atena scarl per la realizzazione dei componenti, lo sviluppo di prototipi, l'allestimento dei sistemi di prova e sviluppo sperimentale, la costruzione di parti, l'utilizzazione di laboratori e stazioni di prova.

Il costo previsto è stimato in circa 150 k€ + IVA

Materiali

Le voci di spesa principali relativamente ai materiali necessari per il progetto sono le seguenti:

1. Materie prime con un costo previsto di circa 30k€ + IVA;
2. Reagenti gassosi con un costo previsto di circa 50k€ + IVA;
3. CEM, AEM e MEA commerciali con un costo previsto di 50k€ + IVA;
4. Catalizzatori a base di platino 50k€ + IVA;
5. Materiali e stampi e per piatti bipolari 70 k€ + IVA

OR2 Componenti e processi produttivi per celle a carbonati fusi ad alta potenza - Università degli Studi di Genova

Attrezzature e strumentazioni

Non sono previsti costi per attrezzature e strumentazioni in quanto già disponibili presso i laboratori del soggetto proponente e presso i laboratori dei collaboratori

Consulenze e prestazioni

UNIGE si avvarrà della consulenza

dell'Università di Perugia per:

- la collaborazione allo sviluppo sperimentale su stazioni di prova celle MCFC da 100 cmq;
- la produzione di componenti per MCFC e tape casting del Chemie ParisTech
- per la collaborazione allo sviluppo delle matrici MCFC

Il costo previsto è stimato in circa 120 k€ + IVA

Materiali

Le voci di spesa principali relativamente ai materiali necessari per il progetto sono le seguenti:

1. Materie prime con un costo previsto di circa 130k€+ IVA;
2. Reagenti gassosi con un costo previsto di circa 50k€ + IVA.

OR3 Caratterizzazione prestazioni e sostenibilità di componenti e celle a combustibile - ENEA

Attrezzature e strumentazioni

Non sono previsti costi per attrezzature e strumentazioni in quanto già disponibili presso i laboratori del soggetto proponente e presso i laboratori dei collaboratori

Consulenze e prestazioni

ENEA si avvarrà di prestazioni specialistiche per l'allestimento dei setup sperimentali.

Il costo previsto è stimato in circa 25 k€ è IVA

Materiali

Le voci di spesa principali relativamente ai materiali necessari per il progetto sono le seguenti:

1. Materie prime per prove sperimentali con un costo previsto di circa 30k€+ IVA;
2. Reagenti gassosi con un costo previsto di circa 26k€ + IVA.

OR4 Indirizzi per l'industrializzazione di celle polimeriche ad alta potenza - ARCO Fuel Cell

Attrezzature e strumentazioni

Non sono previsti costi per attrezzature e strumentazioni in quanto già disponibili presso i laboratori del soggetto proponente e presso i laboratori dei collaboratori

Consulenze e prestazioni

ARCO si avvarrà di prestazioni specialistiche per il supporto alle attività di *Cost Benefit Analysis* (CBA)

Il costo previsto è stimato in circa 50 k€ è IVA

Materiali

Non sono previsti costi di materiali.

OR5 Indirizzi per l'industrializzazione di celle a carbonati fusi ad alta potenza - ECOSPRAY

Attrezzature e strumentazioni

Non sono previsti costi per attrezzature e strumentazioni in quanto già disponibili presso i laboratori del soggetto proponente e presso i laboratori dei collaboratori

Consulenze e prestazioni

ECOSPRAY si avvarrà di prestazioni specialistiche svolte dalla ditta Strategie srl (Società di trasferimento tecnologico e guida all'*innovation engineering*) e da alcuni consulenti specialisti in campo navale e industriale.

Il costo previsto è stimato in circa 50k€ è IVA

Materiali

Non sono previsti costi di materiali.

1. FATTIBILITÀ TECNICO-ORGANIZZATIVA

1.1. CAPACITÀ E COMPETENZE

Dipartimento di Ingegneria (struttura di riferimento per l'Università degli Studi di Napoli Parthenope)

L'Università degli Studi di Napoli Parthenope partecipa al progetto con i gruppi di ricerca Macchine e Sistemi Energetici (MSE) e il gruppo di Chimica e Ingegneria dei Materiali (CIM). 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 economi a 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.

Il gruppo di ricerca è composto da 8 unità di personale a tempo indeterminato (3 PO, 3 PA, 2 RTD) e sarà integrato con quattro unità di personale a tempo determinato che saranno reclutate e dedicate al progetto (2 RTD/a e 2 collaboratori 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.ssa 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. La Prof.ssa Roviello possiede una lunga e consolidata esperienza nella sintesi, nella caratterizzazione e nello studio delle relazioni struttura-proprietà sia di composti di bassa massa molecolare che di materiali polimerici, materiali inorganici ed ibridi organico-inorganici. In particolare, si è a lungo occupata, e tuttora si occupa, dello studio di polimeri mediante tecniche diffrattometriche, calorimetriche e spettroscopiche ed ha una vasta esperienza nello studio di proprietà di complessi metallici utilizzati per la catalisi stereoselettiva di reazioni di polimerizzazione. Il prof. Ferone possiede una lunga e consolidata esperienza nella preparazione e nello studio delle relazioni struttura-proprietà di una vasta classe di materiali, dagli ossidi inorganici ai compositi e ibridi organico-inorganici. In particolare, nello studio delle proprietà dei materiali sintetizzati, ha acquisito approfondite competenze nell'utilizzo e nell'interpretazione di diverse tecniche di caratterizzazione strutturale e microstrutturale, quali: diffrattometria dei raggi X, analisi termogravimetrica e calorimetria differenziale, microscopia SEM e analisi elementare, determinazione delle resistenze meccaniche caratteristiche, determinazione delle proprietà di scambio ionico di materiali scambiatori di ioni. Il prof. Antonio Forcina e la prof.ssa 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)

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (struttura di riferimento per l'Università degli Studi di Genova)

Il gruppo PERT del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale di UNIGE ha esperienza ultraventennale nell’ambito dello studio di celle a combustibile di diversa tipologia. Attualmente, con riferimento a celle elettrochimiche ad alta temperatura, il PERT sta partecipando ai progetti AD ASTRA (HORIZON 2020, 2018-2022, *budget* totale Euro 3 008 426, referente UNIGE dipartimento DCCI) e HERMES (PRIN, 2019-2022, *budget* totale Euro 999 306, referente UNIGE dipartimento DIME).

In particolare, il PERT è realtà di riconosciuta competenza nella comunità scientifica mondiale operante nel settore delle celle MCFC. In questo ambito, oltre ad aver partecipato ai progetti europei IRMATECH, CONTEX e BICEPS, ha promosso importanti collaborazioni industriali, quali per esempio il progetto “Investigation of the phenomena occurring in Molten Carbonate Fuel Cells (MCFCs)” (anni 2017-2020, Euro 103 712) finanziato da Exxon Mobil Research and Engineering – USA. Grazie a questo progetto è stato possibile identificare il meccanismo “dual-anion” non evidenziato prima in letteratura e caratterizzante l’applicazione delle celle MCFC come generatori di potenza capaci anche di catturare la CO₂ da esausti di sistemi tradizionali. Oggi il PERT sta curando lo studio dell’applicazione di celle MCFC per la decarbonizzazione del settore marittimo grazie al supporto finanziario di Ecospray Technologies srl (anni 2019-2022, Euro 140 000).

I risultati del PERT nel campo delle celle a combustibile ad alta temperatura sono inoltre attestati da oltre 100 articoli scientifici pubblicati su riviste indicizzate SCOPUS ad elevato *impact factor*, da oltre 100 tesi di laurea e 10 tesi di dottorato.

L’attività di ricerca in CALIPSO, infine, sarà supportata non solo dal personale del gruppo PERT, ma anche da altri colleghi del DICCA che contribuiranno con le proprie specifiche competenze (per esempio Electrochemistry and Corrosion Group, GEC) e da colleghi di altri dipartimenti che potranno essere coinvolti. Infine, si prevede di bandire grazie al finanziamento richiesto un posto da ricercatore RTDA (3 anni) e uno da tecnico laureato a tempo determinato (3 anni).

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile - 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 14M€ per la realizzazione dell'infrastruttura. Infine, lo scorso marzo, è stato sottoscritto un Accordo di Programma (AdP) tra MiTE e 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. Le principali linee di ricerca riguarda la produzione di idrogeno da fonte rinnovabile, la ricerca e sviluppo di componenti e sistemi basati su celle a combustibile a bassa e ad alta temperatura, con attività relative alla 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. L'ing. Massimiliano Della Pietra è vice delegato italiano presso il TCP H2 della IEA, responsabile per ENEA di progetti nazionali e internazionali sul tema idrogeno e celle a combustibile e membro di diversi tavoli di lavoro per

conto dell'associazione italiana idrogeno (H2IT). L'ing. Viviana Cigolotti coordina numerosi progetti finanziati con fondi europei e ministeriali 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. Il dott. Pozio è autore di 248 lavori sulla chimica dei materiali e sull'ingegneria associate allo sviluppo delle energie rinnovabili, celle a combustibile, elettrolizzatori, batterie, foto-catalisi e tecnologie di produzione e separazione di idrogeno, processi di gassificazione (88 Articoli scientifici, 15 brevetti, 4 capitoli di libri, 87 contributi a congressi, 58 rapporti tecnici). Il suo indice h di valutazione Scopus è 24 con 3635 citazioni. Il dott. Alessandro Agostini è esperto di valutazione della sostenibilità di sistemi energetici ed ha contribuito alla valutazione della sostenibilità di tecnologie sviluppate in numerosi progetti Europei.

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.

ARCO Fuel Cell srl - Arco

Arco è l'unica società italiana che produce celle a combustibile polimeriche per applicazioni stazionarie e di mobilità. La società è organizzata per svolgere attività di ricerca con risorse interne avendo personale qualificato e strutture dedicate alle attività di ricerca. Arco coinvolgerà nel progetto n. 12 risorse tra esperti elettrochimici, ingegneri e progettisti. In particolare: *Angelo D'Anzi*, master EMBA LUISS Business School, possiede esperienza ultraventennale nel settore delle fuel cell e dei suoi componenti. È stato fondatore di: Arcotronics Fuel Cells, (Arcotronics Nissei now Kemet Group NYSE: KEM); ha ricevuto 18 premi di Brevetto WIPO. Rispetto alle specifiche competenze e esperienze per la realizzazione del progetto; ha particolare propensione e competenza anche nel coordinamento dei team di lavoro per lo sviluppo dei nuovi prodotti. *Joseph Epoupa Mengou*, Elettrochimico specialista in Fuel Cell e batterie a flusso. Ph.D. in Industrial Chemistry Science at Department of Heterogeneous Catalysis dell'Università di Bologna. Project Leader dello sviluppo dei MEA e Responsabile del laboratorio di ricerca e sviluppo per il miglioramento dei catalizzatori elettrochimici per celle a combustibile e sintesi, test di performance di MEA e caratterizzazione elettrochimica. Consolidata esperienza nella progettazione di celle a combustibile. *Pietro Mandurino*, Co-Fondatore ARCO FC, Ingegnere specializzato in Fuel Cell e sviluppo sistemi; esperienza ultraventennale nella progettazione di fuel cell, e pluriennale esperienza nel settore dell'ingegneria aeronautica coautore di circa 15 Brevetti WIPO; *Andrea Raggi*, Project Management, R&D Management con esperienza pluridecennale come project manager di progetti di ricerca e sviluppo. *Leaver Ian Haines*, ingegnere elettrico specializzato nella progettazione dei sistemi ibridi di gestione dell'energia; particolare esperienza dell'ingegneria elettrica, della modellazione e della simulazione dei sistemi energetici; *Giovanni Cufalo*, responsabile dello sviluppo di sistemi di generazione a idrogeno, progettista esperto di sistemi a idrogeno; particolare esperienza relativamente alla progettazione meccanica di impianti completi su Skid o su telai strutturati, al dimensionamento e selezione di apparecchiature di processo, a metodi innovativi di produzione ed immagazzinamento di energia, a bilanci di massa ed energia, alla definizione, creazione e sviluppo della documentazione tecnica e di qualità (prodotto e processo) dei progetti; procedure per il trasporto e l'immagazzinamento di merci pericolose; *Tommaso De Natale*, Fuel Cell Engineering Manager, Ingegnere elettronico con esperienza decennale in Power & Control of Electrolyzer Field Engineer, Gas Generator; *Domenico Alessandro Romano*, progettista meccanico, disegnatore meccanico; particolare esperienza nell'utilizzo di software gestionale per archiviazione modelli e codifica componenti commerciali; *Giuseppe, Riera* esperto responsabile della gestione logistica; *Patrick D'Anzi*, progettista elettro-meccanico, disegnatore meccanico e elettro-meccanico di parti e sistemi di celle a combustibile; *Simone Gentilini*, tecnico specializzato di laboratorio fuel cell con particolare riferimento all'assemblaggio e collaudo di prototipi di MEA, piatti bipolari, stack e moduli completi; *Nicholas Loi*, elettrochimico specialista in Fuel Cell e batterie a flusso, particolare competenza nello sviluppo delle membrane delle fuel cell.

L'ammontare complessivo delle spese di ricerca e sviluppo risultanti dai bilanci sono riferite a progetti di ricerca e sviluppo di stack e moduli finanziati da enti privati per un ammontare di oltre 1,5 mln di euro e circa 170 mila euro, per l'anno 2020, solo per le procedure di tutela dei diritti di proprietà intellettuale.

Negli ultimi anni le attività della divisione ricerca e sviluppo hanno portato avanti diversi progetti interni:

- HUSTON che riguarda lo sviluppo di un software di monitoraggio dei prodotti venduti ai fini dell'assistenza da remoto. Il sistema segnala malfunzionamenti su base giornaliera e consente un monitoraggio costante dello stato di ciascuna LBP e FCH in tempo reale.
- Alfa 1: sviluppo di una metodologia di progettazione modulare di fuel cell engine.

DirectLink: per lo sviluppo di un sistema di propulsione ibrida basato su celle a combustibile e batterie a litio, oggetto di deposito di brevetto.

Ecospray Technologies srl - ECOSPRAY

ECOSPRAY dispone di oltre 50 ingegneri dedicati alle attività di progettazione, sviluppo prodotti e gestione commesse. Lo *staff* aziendale è costituito attualmente da circa 100 addetti.

Le risorse economiche interne hanno consentito, in questi anni, di svolgere gran parte delle attività di ricerca e sviluppo per le quali l'azienda destina un budget annuale di circa 3.000.000 di euro. Negli ultimi anni, anche in vista delle sfide legate alla transizione energetica ed alla riduzione delle emissioni inquinanti, ECOSPRAY ha portato avanti numerose attività nel campo delle celle elettrochimiche a carbonati fusi. Le tecnologie sviluppate hanno trovato applicazione anche al settore navale. Le collaborazioni con UNIGE (DICCA) e con grandi gruppi industriali del settore hanno consentito di verificare, in ambiente reale (navi da crociera, navi da trasporto e traghetti), che questa tecnologia è particolarmente efficiente nel settore navale perché risponde alle esigenze di elevate potenze necessarie, di alta efficienza e dei ridotti spazi di installazione. L'integrazione di questa tecnologia a bordo nave è stata oggetto di numerosi studi che hanno evidenziato la necessità di progettare e sviluppare apparecchiature specifiche; per aumentare il rendimento complessivo del sistema sono state avviate una serie di attività collaterali per lo sviluppo di scambiatori di calore tipo *matrix* ad alta efficienza e resistenti alle alte temperature; sono state studiate diverse geometrie di *stack* in grado di aumentare le potenze specifiche in modo da ridurre il numero generando potenze superiori al MW con spazi compatibili con quelli di bordo.

Lo studio sull'ottimizzazione di materiali ed i metodi di preparazione di elettrodi e matrici hanno consentito all'azienda di stringere accordi di collaborazione con università (come l'Università di Varsavia) e imprese commerciali (come Fuel cell Poland) per la progettazione di sistemi di produzione di *stack* efficienti in grado di garantire elevate prestazioni. In questo ambito, da circa un anno, ECOSPRAY ha costituito, unitamente ad un partner italiano, una *start-up* dedicata alla produzione di catalizzatori industriali nel campo della rimozione degli NOx, VOC e slip di metano. La società, che ha la propria sede operativa presso Isola del Cantone (GE), sarà l'unica in Italia per tale tipologia di produzione. Allo stato i macchinari destinati alla produzione sono in fase di progettazione. Successivamente verrà avviata l'attività produttiva presso lo stesso sito produttivo di celle a combustibile a carbonati fusi (attualmente in fase di sviluppo unitamente a UNIGE) e di reattori di *steam reforming* per la trasformazione del metano in idrogeno includendo la cattura e liquefazione della CO₂ prodotta (idrogeno blu). Entro la fine dell'anno 2022 è prevista la prima installazione di un impianto pilota nel campo delle celle a combustibile a carbonati fusi. L'impianto, che verrà installato nella sede operativa di Alzano Scrivia, farà parte di un sistema completo di gas di scarico navale riprodotto in scala: quindi, uno dei primi impianti pilota di piccola potenza basato su celle a carbonati fusi funzionanti in condizioni reali.

1.2. QUALITÀ DELLE COLLABORAZIONI

Il partenariato vanta collaborazioni consolidate negli anni fra le diverse realtà proponenti.

In particolare, UNIParthenope, ENEA e UNIGE sono tutti membri di ATENA, distretto di alta tecnologia nei settori energia e ambiente. UniParthenope e UniGe collaborano al progetto HERMES finanziato con fondi del Ministero dell'Università e Ricerca per Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale per lo sviluppo di sistemi MultiEnergy che utilizzano le tecnologie a idrogeno. ENEA e UNIGE hanno collaborato nell'ambito di numerosi progetti europei e nazionali e, da oltre 20 anni, lavorano assieme allo sviluppo della tecnologia MCFC.

ECOSPRAY e UNIGE hanno recentemente costituito un laboratorio congiunto denominato "CAPLAB, *Electrochemical Cells for Carbon Capture and Energy Transition*", che avrà ruolo fondamentale per lo svolgimento delle attività sperimentali previste in CALIPSO.

Università degli Studi di Napoli Parthenope - UniParthenope

L'Università degli Studi di Napoli Parthenope partecipa al progetto con i gruppi di ricerca Macchine e Sistemi Energetici (MSE) e il gruppo di Chimica e Ingegneria dei Materiali (CIM). I ricercatori coinvolti possiedono competenze utili alla realizzazione delle attività proposte, che spaziano dalla sintesi e caratterizzazione dei componenti che verranno sviluppati nel corso del progetto, modellazione numerica (termochimica, fluidodinamica, termodinamica) dei sistemi esaminati, fino alla prototipazione e progettazione dei processi di produzione. Attualmente il personale coinvolto nel progetto svolge attività di ricerca teorica e sperimentale su diversi temi oggi di grande interesse e impatto, quali lo sviluppo di materiali polimerici per applicazioni avanzate nel settore dell'energia; sintesi, caratterizzazione e studio di proprietà di complessi metallici per applicazioni in foto- ed optoelettronica; materiali ceramici per celle a combustibile e elettrolizzatori ad ossidi solidi, catalizzatori ed elettrodi per batterie innovative; 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. Inoltre, il Dipartimento di Ingegneria si avvarrà della collaborazione dei gruppi di ricerca della Università Federico II di Napoli coordinati dai proff.ri Oreste Tarallo e Giovanni Ausanio. Il prof. Oreste Tarallo è professore associato in servizio presso il Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Il prof. Tarallo vanta una lunga e consolidata esperienza nella sintesi caratterizzazione e studio delle relazioni struttura-proprietà di sistemi co-cristallini e nanoporosi a base di polimeri termoplastici quali il polistirene sindiotattico, l'acido polilattico e il polifenilenossido, materiali che saranno oggetto di studio anche in questo progetto di ricerca. Il prof. Giovanni Ausanio è professore associato in servizio presso il Dipartimento di Fisica "E. Pancini" dell'Università degli Studi di Napoli Federico II ed è esperto di film nanostrutturati ottenuti mediante tecniche di deposizione laser. 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 con sede in Napoli quartiere 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 l'OR1 è di circa il 45%. La percentuale per le consulenze e i prestatori di servizi sui costi dell'OR1 è circa il 9%.

Università degli Studi di Genova - UNIGE

L'Università degli Studi di Genova partecipa al progetto principalmente col gruppo PERT (*Process Engineering Research Team*). Tale gruppo ha maturato un'esperienza ultraventennale nella ricerca e lo sviluppo di celle a combustibile di diverse tipologie, nonché in generale sulle tecnologie dell'idrogeno quale vettore energetico, dalla sua produzione fino al suo utilizzo. Le collaborazioni del PERT sono ricche e diversificate e comprendono realtà accademiche, di ricerca e industriali sul territorio nazionale ed internazionale. Si riportano nel seguito le collaborazioni più significative, oltre ovviamente a quelle in corso con gli altri soggetti proponenti, relative alla sola tematica MCFC di interesse per il progetto CALIPSO.

Università e centri di ricerca:

- *Korean Institute of Science and Technology*: pluriennale collaborazione sulla caratterizzazione di celle MCFC dedicando particolare attenzione a fenomeni di degradazione dovuti a contaminanti nei gas
- Università degli Studi di Perugia: attività in corso per la caratterizzazione e la produzione di componenti di cella MCFC, partecipazione congiunta al progetto HERMES (PRIN)
- Università di Varsavia: programmata indagine su celle a conduzione mista ed elettrolizzatori a carbonati fusi

- Chimie ParisTech: mobilità studentesca avviata nell'ambito di uno studio sull'ottimizzazione delle caratteristiche delle matrici MCFC, partecipazione congiunta a progetti europei
- KTH di Stoccolma: partecipazione congiunta a progetti europei sullo sviluppo delle celle MCFC
- Università di Edimburgo: collaborazione scientifica e mobilità studentesca attive e focalizzate sull'integrazione di celle MCFC e membrane per la separazione della CO₂
- Università di Liegi: doppio titolo di laurea in ingegneria chimica istituito a seguito della collaborazione sull'indagine di processi di interesse per la transizione ecologica

Realtà aziendali:

- Ansaldo Fuel Cells: supporto specialistico allo sviluppo di celle MCFC per circa 20 anni
- ExxonMobil USA: triennale progetto di ricerca per l'indagine del meccanismo "dual-anion" in celle MCFC e attuale collaborazione per la redazione di un articolo scientifico
- FuelCell Energy USA: collaborazione per la redazione di alcuni articoli scientifici su ricerca di base su celle MCFC

In particolare il "Fuel Cell Lab" del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia dispone di attrezzature ed esperienza specifiche che risultano di fondamentale utilità per gli studi previsti in CALIPSO, per cui tale realtà sarà coinvolta quale prestatore di servizi. Analogamente il gruppo di ricerca attivo sullo studio MCFC presso il Chemie ParisTech sarà interpellato quale consulente in forza della sua competenza d'eccellenza nell'innovazione delle matrici.

La percentuale dell'ammontare complessivo delle spese del progetto a carico di UNIGE relative all'OR2 è di circa il 29%. La percentuale per le prestazioni dei prestatori di servizi sui costi dell'OR2 è di circa il 13%.

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – 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 MiTE (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 (Università Parthenope, Università di Genova, ARCO FC e ECOSPRAY) permetterà di testare e caratterizzare celle a combustibile innovative ad alta potenza in sistemi stazionari e di mobilità, basate sulle tecnologie delle PEMFC e MCFC.

La percentuale dell'ammontare complessivo delle spese del progetto a carico di ENEA per il testing e la validazione di celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità (OR3) è di circa il 11%. La percentuale per le prestazioni dei prestatori di servizi sui costi dell'OR3 è di circa il 7%.

ARCO Fuel cell srl - ARCO

Arco collabora a progetti di sviluppo di tecnologie fuel cell con il Gruppo Baglietto ed altri partner industriali come Toyota Material Handling, Bluenergy Revolution, Enapter, H2boat, Rina e Siemens Energy. La società in partnership con SHELL e EPRI, ha costituito negli USA "Arco Technologies inc." con sede presso il Green Town Lab di Boston. Arco ha in corso un accordo di collaborazione tecnologica con Atena Distretto di Alta Tecnologia Energia Ambiente, per la prototipazione e lo sviluppo congiunto di componenti e stack innovativi. La collaborazione con Atena prevede anche il coinvolgimento di ricercatori dell'Università Parthenope ed ENEA, coproponenti di questo progetto. La collaborazione con gli altri partner di progetto permetterà di sperimentare anche materiali innovativi allo scopo di incrementare le prestazioni dei nuovi sistemi.

La percentuale dell'ammontare complessivo delle spese del progetto a carico di ARCO (O.R.4) è di circa il 7,5%. La percentuale per le prestazioni dei prestatori di servizi sui costi dell'OR4 è circa il 17%.

Ecospray Technologies srl – ECOSPRAY

ECOSPRAY oggi svolge numerose attività di ricerca e sviluppo nel campo della green economy e nella depurazione dei gas di scarico, nella maggior parte dei casi affiancando università e centri di ricerca soprattutto italiani.

Di recente interesse è la collaborazione con l'Università di Torino (Scienze della Terra, Prof. Alessandro Pavese) per la messa a punto di metodi di cattura della CO₂ di tipo chimico (ammine e calce) per le applicazioni navali ed industriali in genere. L'obiettivo di questi studi è quello di ridurre al minimo il consumo energetico e di ridurre le dimensioni per renderli adatti sia al mercato navale che industriale in genere.

Inoltre, da oltre 4 anni ed in esclusiva dal 2022, ECOSPRAY si avvale della collaborazione di Strategie srl, un centro studi che opera nel campo delle energie rinnovabili (<https://www.strategiesrl.com>). Questa azienda segue, per conto di ECOSPRAY, varie attività di ricerca nel campo del trattamento dei gas e studia nuove soluzioni industriali e la sua consulenza potrebbe essere richiesta anche nell'ambito del progetto CALIPSO.

Nello specifico ambito delle MCFC la più importante collaborazione è con l'Università di Genova (Ingegneria Chimica, Prof.ssa Barbara Bosio) ed è finalizzata alla creazione entro l'estate 2022 di un laboratorio congiunto di

importanza internazionale nell'area portuale di Genova, con lo scopo principale di studiare e industrializzare (anche come metodo di produzione degli elettrodi) di celle elettrochimiche (inizialmente celle a combustibile a carbonati fusi) dedicate alla transizione energetica, alla produzione di idrogeno e alla riduzione dei gas serra.

In questo settore è stato inoltre siglato un accordo per lo sviluppo della tecnologia MCFC con la società polacca FuelCell Poland, supportata dall'Università di Varsavia.

Infine, è in atto un progetto di collaborazione anche con l'Università degli Studi di Perugia per la caratterizzazione di monocelle MCFC prodotte presso i loro laboratori.

La percentuale dell'ammontare complessivo delle spese del progetto a carico di ECOSPRAY (O.R.4) è di circa il 7,5%. La percentuale per le prestazioni dei prestatori di servizi sui costi dell'OR5 è circa il 17%.

1.3. RISORSE TECNICHE E ORGANIZZATIVE

Università degli Studi di Napoli Parthenope – UniParthenope

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 nuovi componenti per PEMFC, descritte nell'OR1.

In particolare, il Laboratorio Chimico è dotato di cappe chimiche aspiranti, di armadi per lo stoccaggio di reattivi e solventi, di armadi per bombole ed è equipaggiato con tutte le dotazioni necessarie per la sintesi chimica, quali: rampe vuoto-azoto e Glove Box per operare in atmosfera inerte, forno con rampe di temperatura programmabili, stufa da vuoto, muffola, frigorifero, bilance, tavoli antivibranti, apparati per distillazione, pompe da vuoto, centrifuga, rotovapor, omogenizzatore a rulli, sonicatore, reattore chimico, spessimetro da banco, agitatori magnetici con riscaldamento, conduttimetro, pHmetro da banco, applicatore di film sottili.

Per quanto riguarda la caratterizzazione chimico-fisica dei materiali, il Dipartimento di Ingegneria dispone di un Laboratorio di Analisi Strumentale dotato di diffrattometro a RX, strumento per l'analisi termica simultanea DSC/TGA, spettrofotometro IR, bilancia idrostatica, Microscopio Elettronico a Scansione, microscopio ottico e spettrometro per l'assorbimento atomico. Inoltre dispone di un Laboratorio di caratterizzazione fisico-meccanica dei Materiali, dotato di granulometro laser, mulini, conduttimetro, strumenti per la misura di resistenza a compressione ed a flessione dei materiali.

Di seguito, alcune attrezzature di particolare rilievo:

- Diffrattometro a RX, Rigaku mod. Miniflex 600; Rigaku PDXL2 software, PDF-2 2022 (International Centre for Diffraction Data®).
- Analisi termo-gravimetrica (TGA/DSC) Mettler-Toledo
- Microscopio Elettronico a Scansione Phenom Pro X Microscope (Phenom-World B.V., Eindhoven, Netherlands) con EDS
- Spettrometro per l'Assorbimento Atomico AnalyticJena ContrAA 700, equipaggiato con fornello di grafite
- Strumento per la determinazione della conducibilità termica Applied Precision Isomet 2114;
- Granulometro Laser Malvern Mastersizer 3000;
- Mulino planetario ad alta energia Retsch Pulverisette 6.

UniParthenope dispone inoltre dei seguenti laboratori per la prototipizzazione e sperimentazione di FC, allestiti nel centro di ricerche di Napoli-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, potenziato 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 dispone di uffici dedicati 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.

Per tutta la durata del progetto il responsabile scientifico coordinerà l'applicazione della procedura di gestione delle conoscenze, competenze e tecniche affinché lo stesso venga eseguito efficacemente ed efficientemente sulla base delle cinque fasi principali di ogni 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 (OR1) affidato ad UniParthenope è anche il coordinatore del progetto. 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 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 30M€ e ha ottenuto 15M€ 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. E' autore di oltre 140 pubblicazioni nazionali e internazionali e 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-shyips, H2Ports, FuelSome) 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.

Università degli Studi di Genova – UNIGE

Le risorse strumentali presso UNIGE sono relative sia all'attività di modellizzazione sia a quella sperimentale. In relazione alla prima sono disponibili *software* commerciali quali Aspen, Fluent e Comsol, nonché un codice proprietario denominato SIMFC (SIMulation of Fuel Cells) realizzato dal gruppo PERT. SIMFC è basato su un modello 3D capace di calcolare i principali parametri elettro-chimico-fisici caratterizzanti il funzionamento di celle o pile a combustibile in condizioni stazionarie o in transitorio. Presso i laboratori sperimentali UNIGE sono disponibili strumenti e postazioni adatti alla caratterizzazione di specifici materiali e alla produzione e prova di celle di piccola taglia (circa 3 cm²). Postazioni per celle di taglia maggiore (circa 100 cm²) saranno invece utilizzabili presso UNIPG (consulente), dove sono anche disponibili un sistema di *tape-casting* e forni di taglia *full-size*. Infine, presso il laboratorio CAPLAB si stanno allestendo postazioni di prova per celle e pile di celle, nonché acquisendo attrezzature atte a testare diversi processi di produzione dei componenti. CAPLAB sarà inaugurato nell'estate 2022 e disponibile nel corso dello svolgimento dei lavori programmati in CALIPSO.

I laboratori sopracitati sono dotati delle più moderne e innovative attrezzature che saranno utilizzate da UNIGE nell'ambito di CALIPSO, ed in particolare: Scanning Electron Microscope (SEM), dotato di rivelatore di diffrazione di raggi X (EDS) a dispersione di energia per l'analisi elementare; Diffratometro a raggi X per la caratterizzazione strutturale dei materiali; TD-DTA; strumento per l'analisi spettroscopiche di impedenza e misurazioni elettrochimiche, dotato di booster per sistemi ad alta corrente; 4 banchi prova per testing di button cell, per lo studio in condizioni operative di sistemi elettrochimici fino a 1000°C e diverse atmosfere controllate da misuratori di portata massica Bronkhorst; 4 banchi prova per testing di monocelle, per lo studio in condizioni operative di sistemi elettrochimici fino a 900°C e diverse atmosfere controllate da misuratori di portata, installati sotto cappa di estrazione. Sono inoltre corredati di sistema di alimentazione di acqua deionizzata; 1 banco di prova per lo studio in condizioni operative di sistemi elettrochimici fino a 900°C e diverse atmosfere controllate da misuratori di portata, installati sotto cappa di estrazione. È inoltre corredati di sistema di alimentazione di acqua deionizzata; sistemi per la fabbricazione di celle a combustibile, quali una stampante serigrafica per la deposizione di strati sottili, Werner-Mathis Tape caster da laboratorio e di taglia *full-size*, sistema Wet Powder Spraying per la deposizione di strati sottili; forni ad alta temperatura (1600°C) che possono operare anche in atmosfera controllata; strumenti per la spettroscopia FT-IR e UV-visibile, gas cromatografo, attrezzatura di laboratorio per l'analisi dei fumi; attrezzatura di base necessaria per la sintesi dei materiali, macinazione a sfere, setacciatura.

Le risorse amministrative di UNIGE contano su uffici esperti dedicati sia a livello di ateneo che dipartimentale e i progetti attualmente in essere, in quanto prossimi alla conclusione, non limitano la capacità di dedicare personale a CALIPSO, bensì possono fornire nuovi *input* e *know-how* utili al progetto stesso.

Il responsabile scientifico UNIGE sarà la prof.ssa Barbara Bosio. Laureata con lode in Ingegneria Chimica nel 1996, Barbara Bosio ha conseguito il Dottorato di ricerca in Ingegneria Chimica nel 2000 ed è oggi professore associato di Chimica Fisica Applicata. È autrice di oltre 100 pubblicazioni scientifiche internazionali inerenti la produzione di energia tramite celle a combustibile, la produzione di combustibili da risorse rinnovabili tramite processi elettrochimici e termochimici, la cattura e il trasporto della CO₂. È responsabile di numerosi progetti di ricerca nazionali e internazionali, delegato scientifico sulle celle a combustibile su incarico dell'Amministrazione

Italiana di Bandiera presso l'*International Maritime Organization* (IMO, agenzia specializzata delle Nazioni Unite) e referente UNIGE della piattaforma *European Energy Research Alliance*.

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.

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – 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 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. In particolare, le attività sperimentali saranno condotte utilizzando banchi prova per il testing di monocelle PEM e MCFC; strumentazione elettrochimica per la caratterizzazione di elettrodi, catalizzatori e membrane con tecniche in CA e CC e spettroscopia di impedenza; strumentazione analitica per le stesse attività (IR, polarografia, RDE). I laboratori di ENEA sono dotati delle più moderne e innovative attrezzature che saranno utilizzate nell'ambito di CALIPSO, ed in particolare: un diffrattometro a raggiX per la caratterizzazione strutturale dei materiali; TGA-DTA, per l'analisi termica differenziale (DTA) e l'analisi termogravimetria (TG) dei materiali; Microscopio a Scansione Elettronica SEM-EDX e Spettroscopio a raggiX, utilizzati per la caratterizzazione morfologica ed l'analisi elementare del materiale; spettroscopio dotato di un modulo per la riflettanza totale attenuata (ATR); spettroscopio per analizzare i materiali nel campo dell' ultravioletto visibile e nel vicino infrarosso; strumento per l'analisi spettroscopiche di impedenza e misurazioni elettrochimiche, dotato di booster per sistemi ad alta corrente; due banchi prova per lo studio delle performance elettrochimiche di button cell PEM e MCFC (dimensioni 3 cm²), dotati di tutti i componenti necessari per il suo corretto funzionamento (misuratori di portata, sistema di alimentazione e controllo dell' acqua, linee riscaldate in ingresso del gas) e per il suo monitoraggio (power supply, carico elettronico, strumentazione per l'analisi d'impedenza (EIS) e strumentazione gas cromatografica); quattro banchi di prova per lo studio delle performance elettrochimiche di celle singole PEM e MCFC (dimensioni 90x90 mm² e 100x100 mm²), dotati di tutti i componenti necessari per il suo corretto funzionamento (misuratori di portata, sistema di alimentazione e controllo dell' acqua, linee riscaldate in ingresso del gas) e per il suo monitoraggio (power supply, carico elettronico, strumentazione per l'analisi d'impedenza (EIS) e strumentazione gas cromatografica); due banchi prova per lo studio delle performance elettrochimiche di *short stack* (piu di 6 celle) di celle PEM e MCFC, dotati di tutti i componenti necessari per il suo corretto funzionamento (misuratori di portata, sistema di alimentazione e controllo dell' acqua, linee riscaldate in ingresso del gas) e per il suo monitoraggio (power supply, carico elettronico, strumentazione per l'analisi d'impedenza (EIS) e strumentazione gas cromatografica); due Gas cromatografi Clarus 680 della Perkin Elmer dotati di diversi rivelatori FID-FPD-TCD che permettono di analizzare le miscele di gas in uscita alle celle, con una sensibilità che varia a seconda dei detector usati da 0.1 ppm a, 1 ppb.

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. Massimiliano Della Pietra. Laureato in ingegneria meccanica nel 2011, ha conseguito il dottorato di ricerca in ingegneria energetica nel 2016 autore di più di 50 tra pubblicazioni scientifiche, interventi in conferenze nazionali e internazionali, report tecnici e pubblicazioni divulgative. Attualmente Massimiliano Della Pietra è vice delegato italiano presso il TCP H2

dell'agenzia energetica internazionale (IEA), responsabile di progetti nazionali e internazionali per ENEA, referente ENEA presso il *joint program* su *fuel cell and hydrogen* (JP-FCH) della EERA, referente ENEA presso diversi tavoli di lavoro dell'associazione italiana idrogeno (H2IT).

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.

ARCO Fuel Cell srl - Arco

Arco possiede risorse strumentali, locali e laboratori adeguati all'esecuzione delle attività progettuali. In aggiunta alle attrezzature di produzione per moduli, stack e componenti; dispone inoltre di work station, software di simulazione, stazioni di prova, macchine di deposizione, laboratori chimici, attrezzature meccaniche e presse.

La società dispone di risorse e uffici che adottano chiare e semplici procedure interne per la gestione di progetti di ricerca e sviluppo. In particolare dispone di un software di gestione commesse e adotta procedure di Design Review periodiche e verifica stati di avanzamento.

Le risorse tecniche e organizzative sono congruenti rispetto alle attività progettuali previste per ciascuna fase e ai tempi di realizzazione del progetto e della attività di ricerca e sviluppo; non si sovrappongono con altri progetti in corso e sono adeguate ad assicurare la tempistica prevista e il rispetto dei vincoli di durata del progetto.

Ecospray Technologies srl - ECOSPRAY

ECOSPRAY presso la sua sede operativa di Alzano Scrivia dispone di due laboratori, il primo dedicato al testing di tecnologie di depurazione dei gas di scarico. Il laboratorio è dotato in un moto-generatore a gasolio da 80 kW dove è possibile variare il combustibile, inclusa la generazione di water "fuel emulsion". Il sistema di scarico consiste in apparecchiature in grado di variare la temperatura dei gas prima di essere inviati ai trattamenti che consistono in una stazione di tre reattori che consentono di testare sistemi SCR, Ossidatori Catalitici e Filtri Antiparticolato. Il sistema è altresì dotato di un sistema di acquisizione dei dati e degli analizzatori di gas di scarico (NO_x , CO, CO_2 , HC, SO_2 , O_2), incluso un avanzato analizzatore di SO_3 ed un generatore di idrogeno. Nell'area esterna sono installati anche uno scrubber ed un filtro elettrostatico ad umido di prova, che ha permesso la progettazione e l'installazione del primo impianto su nave. Il secondo laboratorio dispone di un innovativo sistema di generazione di plasma freddo (Licenza ABB) per lo studio del trattamento delle acque di scarico (grigie e nere). Nel laboratorio è anche installato un motore a magneti permanenti in grado di ruotare a velocità fino a 40'000 RPM per testare macchine ad alta velocità quali compressori ed espansori in fase di sviluppo. Nel 2019 l'azienda ha finanziato interamente la realizzazione di uno dei primissimi impianti di *upgrading* e di liquefazione al fine di testare la tecnologia presso la discarica di Novi Ligure. Questo impianto ha consentito all'azienda di affinare la tecnologia e diventare *leader* europeo nel settore.

Sulla base dell'esperienza maturata nella gestione delle attività dei laboratori descritti, è stato allestito, congiuntamente a UNIGE, il laboratorio CAPLAB, di imminente inaugurazione, per lo studio e l'industrializzare (anche come metodo di produzione degli elettrodi) di celle elettrochimiche (inizialmente MCFC) dedicate alla transizione energetica, alla produzione di idrogeno e alla riduzione dei gas serra.

Il responsabile scientifico per ECOSPRAY sarà l'ing. Maurizio Archetti, presidente del Consiglio di Amministrazione con delega speciale allo sviluppo strategico dell'azienda, gestione dei fondi di R&D, accordi tecnologici e *partnership*. Laureatosi in Ingegneria Meccanica presso l'Università di Genova, ha maturato, negli anni, notevole esperienza scientifica e gestionale: Ricercatore presso il Centro Ricerche Fiat (TO), 1989-1992, Ingegnere di processo presso DeCardenas SPA (MI), 1992-1996, Responsabile progettazione sistemi di depurazione dei fumi presso Danieli Group (UD), 1996-1999, Direttore Tecnico e R&D presso Boldrocchi Ecologia (MB), 1999-2002, Co-Founder e direttore tecnico della società di ingegneria Boldeco Environment Inc, New Jersey USA, 2003-2005, Founder e direzione tecnica della società Ecospray Technologies srl, 2005-2022.

Le risorse tecniche e organizzative sono congruenti rispetto alle attività progettuali previste per ciascuna fase e ai tempi di realizzazione del progetto e della attività di ricerca e sviluppo; non si sovrappongono con altri progetti in corso e sono adeguate ad assicurare la tempistica prevista e il rispetto dei vincoli di durata del progetto.

2. QUALITÀ DEL PROGETTO

2.1. VALIDITÀ TECNICA

Il progetto CALIPSO svilupperà nuovi componenti efficienti e durevoli per celle a combustibile polimeriche (PEMFC) e a carbonati fusi (MCFC) ad alta densità di potenza, apportando un reale, concreto e misurabile avanzamento nella tecnologia delle celle a combustibile ad alta potenza in sistemi stazionari e di mobilità.

CALIPSO supererà lo stato dell'arte nel settore attraverso la produzione di stack di celle a combustibile caratterizzati da una maggiore densità di potenza rispetto a quelli attualmente in commercio. Le implicazioni economiche, ambientali e di rimando sociali di tale risultato sono evidenti: il raggiungimento degli obiettivi prefissati contribuirà in maniera significativa ad una vera "transizione ecologica" della produzione di energia che permetterà di virare bruscamente verso tecnologie caratterizzate da un *carbon footprint* estremamente ridotto.

Inoltre, in riferimento all'articolo 3, comma 2 dell'Avviso, tale progetto verrà realizzato per la sua quota maggioritaria presso sedi, filiali o laboratori ubicati nella Regione Campania.

L'**Università degli Studi di Napoli Parthenope** svilupperà tecnologie innovative e nuovi processi di produzione per celle a combustibile a membrana polimerica ad elevata potenza, per migliorare la durabilità del sistema e aumentarne stabilità e affidabilità in diverse condizioni operative e per diversi settori di applicazione.

Una linea di attività riguarderà lo sviluppo di membrane elettrolitiche cationiche (CEM) ed anioniche (AEM) completamente innovative rispetto a quelle oggi disponibili sul mercato, sfruttando per la prima volta la capacità di alcuni polimeri termoplastici commerciali di formare strutture co-cristalline e nanoporose a seguito del trattamento con opportune molecole e composti di natura organica e inorganica. Ad oggi, sia le membrane a base di perfluorocarburi (come il Nafion®) che quelle a base di polimeri alternativi (come il polivinilalcol, PVA, polifenilenoossido, PPO, il polistirene, PS, le poliimmidi), sono in fase amorfa e quindi mostrano tipicamente una conduttività ionica isotropa. In caso di anisotropia, la conducibilità risulta inferiore nella direzione perpendicolare alle superfici della membrana (*through plane*) rispetto a quella nel piano parallelo alle superfici (*in plane*). Un percorso di conduzione più breve e meno tortuoso nella direzione che attraversa la membrana aumenterebbe l'efficienza del trasferimento di carica dagli elettrodi, aumentando così le prestazioni complessive della cella a combustibile in maniera significativa. L'attività di ricerca sarà focalizzata anche sull'uso di diversi polimeri commerciali (quali i già citati PS, PPO, PVA) sfruttando, per la prima volta, la capacità che questi materiali hanno di co-cristallizzare con sostanze di bassa massa molecolare per dare sistemi co-cristallini (CC) o fasi cristalline nanoporose (NC). Le fasi co-cristalline sono strutture cristalline in cui le catene polimeriche (*host*) creano delle strutture a gabbia, a strati o con diverse geometrie, in cui vengono ospitate molecole di una seconda specie chimica (*guest*), generalmente di bassa massa molecolare. Mediante opportuni trattamenti di rimozione delle molecole *guest*, è stato dimostrato che partendo dai co-cristalli del polistirene sindiotattico (sPS) e del PPO è possibile ottenere delle fasi cristalline nanoporose, ovvero strutture cristalline caratterizzate dalla presenza di elementi di volume vuoto di dimensione submicrometrica. Queste strutture nanoporose sono in grado di assorbire rapidamente ed efficacemente molecole ospiti (organiche o inorganiche) da diversi ambienti, anche a concentrazioni molto basse, dando origine a nuove fasi co-cristalline. Inoltre, mediante adeguate procedure di assorbimento e desorbimento degli ospiti, è possibile ottenere fasi CC e NC sotto forma di film macroscopici con tipo e grado di orientazione 3D altamente controllati, consentendo così di intervenire sulla distribuzione e l'orientamento degli elementi nanoporosi, anche su membrane e film di grandi dimensioni. In questa linea di ricerca, le strutture CC e NC saranno preparate a temperatura ambiente mediante *solvent casting* da soluzione o per esposizione a vapori/liquidi di film di polimero amorfi con composti organici o inorganici. Vale la pena sottolineare che entrambe le metodologie proposte consentono un controllo fine sullo spessore della membrana ottenuta, parametro fondamentale nella produzione di PEM. In particolare, come già dimostrato in letteratura da alcuni membri del gruppo di ricerca per altre applicazioni, utilizzando opportuni solventi è possibile ottenere film polimerici

semicristallini con un'orientazione preferenziale delle catene polimeriche in direzione perpendicolare al piano del film. I film NC verranno quindi ottenuti dai film co-cristallini mediante procedure di estrazione del composto ospite che mantengono pressoché inalterato l'orientamento generato dal processo di co-cristallizzazione. In questo modo anche i film NC saranno caratterizzati da un elevato grado di orientamento e, di conseguenza, la nanoporosità sarà organizzata perpendicolarmente allo spessore del film. Questa caratteristica unica delle fasi NC consentirà, dopo un'adeguata funzionalizzazione chimica delle stesse, la creazione di percorsi di conduzione ionica altamente orientati attraverso la membrana. Inoltre, i film NC orientati consentono il controllo della diffusività dell'ospite e l'orientamento delle molecole ospiti attive che verranno utilizzate come *scavenger* radicalici per il miglioramento della durabilità chimica della membrana stessa. Le membrane nanoporose orientate saranno quindi opportunamente funzionalizzate al fine di ottenere CEM o AEM. Anche in questo aspetto, il progetto introduce un nuovo approccio poiché si vuole funzionalizzare *selettivamente* la fase NC della membrana. In questo modo si otterranno diversi vantaggi rispetto allo stato dell'arte. La funzionalizzazione di membrane NC orientate creerà porzioni conduttrici di cationi o anioni che, sfruttando la nanoporosità orientata della fase NC, miglioreranno notevolmente la conducibilità di carica della membrana fino a raddoppiarla rispetto ai valori riportati in letteratura. Inoltre, questo approccio consentirà di preservare la cristallinità della membrana, ottenendo così migliore resistenza termica e chimica rispetto a quelle usualmente prodotte che sono completamente amorfe. Infine, la funzionalizzazione selettiva della fase cristallina potrebbe evitare il rigonfiamento della membrana dovuto all'assorbimento di acqua e alla conducibilità di carica: i cristalli agiranno come reticolanti fisici e forniranno tenacità meccanica al manufatto. Infine la durabilità della membrana (stabilità chimica, meccanica e termica), requisito essenziale per l'applicazione industriale, sarà incrementata caricando le fasi NC della membrana con molecole che hanno spiccate capacità antiossidanti, e che quindi agiranno come *scavenger* dei radicali liberi. Questi (principalmente $\text{OH}\cdot$ e $\text{OOH}\cdot$) si formano durante il funzionamento della cella e sono responsabili del deterioramento della membrana polimerica.

Una seconda linea di attività di *UniParthenope* sarà dedicata alla messa a punto di nuove tecniche di deposizione del catalizzatore sugli elettrodi che permettano di ridurre considerevolmente le quantità impiegate a parità di prestazioni, abbattendo di conseguenza i costi di produzione delle celle a combustibile. Ad oggi, il metodo principalmente utilizzato per la deposizione del platino sull'elettrodo saldato alla membrana è l'introduzione della polvere di catalizzatore in un inchiostro a base di grafite (*carbon ink*). L'inchiostro, con un carico di catalizzatore variabile da 0.25 a 0.5 mg/cm², viene depositato sulla membrana attraverso diverse tecniche di coating come, ad esempio, lo spennellamento su rulli e successiva evaporazione (80°C per 30 minuti) o la deposizione sonica spray attraverso i coater. L'elettrodo così formato viene successivamente “stampato” sulla membrana polimerica mediante un processo di pressatura a caldo a temperature di circa 140°C per 30 minuti. Nel progetto saranno messe a punto tecniche di deposizione del catalizzatore a laser impulsato (PLD) che permettono di ottenere coating di alta qualità con stechiometria complessa e ottime funzionalità grazie al controllo dei parametri in gioco associati al laser (lunghezza d'onda, durata dell'impulso, fluenza) e alle condizioni di deposizione (preparazione del target, distanza target-substrato, irraggiamento selettivo del target, temperatura substrato, numero di impulsi, pressione dell'ambiente). La tecnica PLD classica prevede l'utilizzo di impulsi laser della durata di qualche nanosecondo, ripetuti, ad alta energia, focalizzati su di un target che ne causano l'evaporazione dalla superficie colpita, in vuoto o a bassa pressione; il materiale vaporizzato allo stato atomico viene poi depositato su un substrato posto di fronte al target e parallelo ad esso. Uno dei vantaggi di tale tecnica è il fatto che la stechiometria del target si conserva nel film depositato; inoltre, con tale tecnica si ottengono film e strutture con eccellente aderenza al substrato e ciò consente di controllare la velocità di crescita del substrato e di produrre multi-layer e film drogati. Se nella camera di deposizione è presente un gas, mediante raffreddamento e conseguente condensazione, si possono ottenere depositi di film costituiti da nanoparticelle. È stato dimostrato che la PLD con impulsi laser ultrabrevi della durata di qualche centinaio di femtosecondi anziché nanosecondi, denominata PLD ultrabreve (uPLD) è una tecnica interessante per la generazione di nanoparticelle di differente natura. In particolare, la uPLD è abile a produrre film nanogranulari formati da particelle aventi dimensioni nanometriche. L'uso di un tempo di reazione più breve rispetto alla PLD standard, dove la durata degli impulsi è di qualche nanosecondo, cambia il processo di generazione delle nanoparticelle, che può avvenire in vuoto senza la necessità di un gas “carrier”. Di conseguenza le caratteristiche dei film depositati possono cambiare significativamente rispetto a quelli ottenuti mediante la PLD standard, fornendo nuove potenzialità per migliorare e allargare il campo di applicazione dei film nanogranulari. Una ulteriore variazione della PLD è la MAPLE (Matrix-Assisted Pulsed Laser Evaporation) che consente l'evaporazione mediante laser impulsato assistita da matrice mediante un processo di ablazione laser più delicato,

adatto per la deposizione di materiali organici e polimerici. La differenza principale tra MAPLE e PLD classica sta nella preparazione del target e nei parametri di esercizio del laser: l'interazione fra il laser e il materiale organico viene ridotta preparando un target ottenuto dissolvendo o sospendendo materiale in un solvente volatile e ghiacciando la soluzione/sospensione risultante. Generalmente il solvente assorbe la maggior parte della radiazione incidente, prevenendo così il danno fotochimico indotto dal laser al materiale. Superato un certo valore di soglia della fluenza del laser, si può ottenere l'ablazione della matrice congelata, che espelle droplet di solvente e materiale: il solvente volatile viene allontanato dal sistema, mentre il materiale si deposita sul substrato posizionato di fronte al target. La PLD in modalità MAPLE verrà utilizzata nel presente progetto poiché è particolarmente indicata per depositare in modo efficiente il sistema Pt/C in sospensione direttamente sullo strato diffusivo della membrana. La frazione grafenica dell'inchiostro assorbe infatti la radiazione pulsata permettendo l'evaporazione esplosiva della sospensione e la conseguente deposizione di Pt/C (privo di solvente) direttamente sulla matrice. La peculiarità della deposizione MAPLE permetterà inoltre di depositare sistemi Pt/C anche in sospensione acquosa, permettendo una grande libertà nella scelta e formulazione degli inchiostri.

Una terza linea di attività prevederà la messa a punto e l'ingegnerizzazione della preparazione delle nuove membrane e dei nuovi sistemi catalitici e delle procedure di assemblaggio dei nuovi MEA, con l'obiettivo di preservare le caratteristiche strutturali e morfologiche dei nuovi componenti. Particolare attenzione sarà dedicata al processo di produzione della nuova PEM funzionalizzata: 1) solubilizzazione del polimero vergine in opportuno solvente, attraverso ottimizzazione di concentrazione e temperatura; 2) processo di *casting* su piatti in vetro al fine di ottenere film sottili a spessore controllato; 3) trattamento termico in camera climatica e allontanamento delle molecole ospiti dalla fase cristallina mediante opportuno trattamento chimico-fisico; 4) funzionalizzazione attraverso un processo di immersione in una particolare soluzione contenente agenti attivanti e/o reticolanti e successivo lavaggio in opportuno solvente per eliminare l'eventuale eccesso di agente funzionalizzante; 5) essiccazione e verifica dei parametri dimensionali della membrana e del regime di umidità richiesto. Parallelamente saranno messi a punto i processi per la produzione dei GDL (Gas Diffusion Layer) su cui depositare direttamente il catalizzatore, al fine di limitare la presenza di elettrodi a diretto contatto con il film polimerico, diminuendo, in tale modo, i problemi di interfaccia e aumentando la conducibilità elettrica a parità di catalizzatore depositato. La deposizione di grafene e platino su *carbon cloth* polimerico, che costituisce comunemente gli strati di GDL, consente di ottenere gli obiettivi descritti. Per ciascuno dei due GDL (all'anodo e al catodo) saranno ottimizzate le quantità di catalizzatore da depositare al fine di mantenere/incrementare la densità superficiale di corrente. Saranno messi a punto anche sistemi di deposizione automatizzati con tecnica laser. Infine, saranno messi a punto sistemi di pressatura a caldo del sistema GDL anodo/membrana/GDL catodo idonei per stack di celle a combustibile di grandi dimensioni.

Inoltre l'attività di ricerca di UniParthenope porterà alla messa a punto di configurazioni di piatti bipolari a spessore ridotto e aventi layout di canali di distribuzione dei gas ottimizzati. Ciò consentirà di incrementare il numero complessivo di celle di cui è composto lo stack e raggiungere, di conseguenza, potenze specifiche molto elevate. L'attività di modellazione numerica sarà, pertanto, incentrata sull'analisi dei processi fluidodinamici, oltre che termici ed elettrochimici, al fine di definire un design innovativo, funzionale ed economico. I risultati della modellazione dei componenti della cella PEM saranno utilizzati per la progettazione e la modellazione di stack ad elevata potenza e durabilità delle prestazioni. La modellazione dello stack sarà utilizzata per valutare i flussi termici in gioco, la distribuzione delle specie chimiche, le perdite di carico, la densità di corrente, e tutti i parametri rilevanti ai fini del dimensionamento. Verranno ottimizzate le prestazioni della cella sia relativamente alla struttura interna, che a quella complessiva dello stack.

Le idee innovative alla base delle attività di ricerca proposte da UniParthenope hanno spinto i ricercatori a mettere in atto procedure per la tutela della Proprietà Intellettuale e, quindi, confermano la validità del progetto e l'avanzamento delle conoscenze rispetto allo stato dell'arte internazionale. La produzione dei componenti innovativi consentirà di aumentare le prestazioni e ridurre i costi delle celle a combustibile polimeriche ad alta potenza, e di assicurare la sostenibilità della generazione di energia elettrica pulita e verde.

Gli elementi di validità del progetto sono molteplici e così riassumibili:

- i. Sviluppo di nuove membrane polimeriche innovative, aventi spessore ridotto, durabilità e capacità di scambio ionico migliorate; stabilità dimensionale incrementata; maggiore densità di potenza, possibilità di realizzare superfici attive di grandi dimensioni;

- ii. Riduzione dei costi di produzione dei MEA mediante tecniche deposizione laser capaci di ottimizzare il quantitativo di catalizzatore a parità di prestazioni della cella;
- iii. Progettazione ed ottimizzazione di nuove configurazioni di stack, caratterizzate da elevata efficienza e alta potenza, che segneranno un progresso significativo nell'ambito delle tecnologie a idrogeno per applicazioni *heavy-duty*.

I risultati del progetto favoriranno la nascita di una nuova generazione di stack di celle a combustibile, ad alte prestazioni, in linea con le esigenze globali di sostenibilità ambientale; il processo di produzione e la conseguente filiera saranno generatori di notevoli impatti in termini economici e di occupazione.

L'**Università degli Studi di Genova** si occuperà invece della ricerca inerente la tecnologia MCFC. In questo ambito il progetto prevede un consistente passo in avanti rispetto allo stato dell'arte, prevedendo sia lo sviluppo di componenti e materiali innovativi che di processi di produzione non convenzionali mirati ad abbattere in maniera significativa costi e tempi di produzione della tecnologia. I fattori ad oggi limitanti, infatti, nella diffusione e commercializzazione delle MCFC sono: i) la limitata densità di potenza ($0,5 \text{ W/cm}^2$) che obbliga ad aumentare significativamente la superficie attiva degli elettrodi ($\sim 1 \text{ m}^2$) per produrre potenze rilevanti, con conseguenze evidenti sui costi dei materiali ii) la limitata durabilità nel tempo (~ 40000 ore), dovuta a fenomeni di degrado di vario tipo all'interno della cella. Per ovviare a questi problemi nel progetto verranno formulate nuove composizioni per lo sviluppo e la realizzazione dei principali componenti delle MCFC. In particolare la matrice ceramica delle MCFC è uno dei componenti più critici dovendo fungere sia da *sealing* per evitare che le atmosfere riducenti e ossidanti vengano a contatto, sia da supporto meccanico per l'elettrolita. In quest'ottica il progetto prevede lo sviluppo di matrici innovative in grado resistere a *stress* termici e meccanici mantenendo una porosità uniformemente distribuita; questo passo in avanti potrà essere realizzato per esempio grazie ad una ottimizzazione della microstruttura e all'infiltrazione di particelle di Al o di Al_2O_3 nella struttura ceramica della matrice garantendo un alto grado di stabilità e aumentando di fatto la conducibilità ionica all'interno della cella per via di una migliore distribuzione della porosità. Sebbene l'infiltrazione delle particelle precedentemente menzionate nella struttura ceramica della matrice porteranno a dei miglioramenti significativi delle performance delle MCFC, la filosofia "high risk, high gain" del progetto porterà a sviluppare delle matrici completamente innovative andando ibridizzare la tecnologia MCFC con quella delle SOFC, dopando la matrice ceramica di $\gamma\text{-LiAlO}_2$ con quantità crescenti di YSZ (ittria stabilizzata con zirconia). Questa ibridizzazione porterà ad una conduttività duale degli ioni all'interno della cella (CO_3^- e O_2^-) aumentando di molto la densità di potenza raggiungibile dalle MCFC. Per ciò che concerne gli elettrodi invece si procederà con un approccio migliorativo del processo di fabbricazione per l'anodo andando a ridurre lo spessore dell'elettrodo. Una via sarà utilizzare deposizioni successive di strati di Ni-Al con l'obiettivo di ridurre perdite diffusive all'interno dell'elettrodo e minimizzando costi di produzione per un utilizzo minore di materiale. Per il catodo invece il progetto prevede uno studio approfondito del cambio di composizione dell'elettrodo. Questo perché la dissoluzione del NiO (materiale costituente il catodo) all'interno dell'elettrolita è la principale causa di degrado delle MCFC. Per far fronte ad una simile sfida si prenderanno in considerazione sia nuove formulazioni aggiungendo additivi (percentuali crescenti di LiFeO_2) alla struttura di NiO, ma anche nuovi processi di deposizione di *layer* barriera che ostacolano la dissoluzione del catodo e mantengano intatte le proprietà elettrochimiche dell'elettrodo.

Per quanto concerne i metodi di produzione e condizionamento, sarà posta attenzione a definire specifiche procedure di *shaping*, ma anche di *burn-out* dei leganti, *prefilling* dei carbonati, sinterizzazione *ex-situ* o *in-situ* dei componenti, etc. Oltre a testare ed ottimizzare le potenzialità del processo di produzione tramite *tape-casting* saranno inoltre studiate, e nel caso sperimentate, diverse tecniche in funzione dei componenti in esame (deposizione, infiltrazione, spray, plasma, *chemical machining*, ...). con lo scopo di mettere a punto processi produttivi sostenibili, che possano garantire l'ottenimento di buone proprietà dei componenti, ma anche la loro replicabilità in processi automatizzati su larga scala. I risultati saranno verificati grazie all'osservazione di parametri prestazionali (curve IV, EIS, ...) e proprietà strutturali (analisi SEM, XRD, ...).

È noto inoltre che le qualità/caratteristiche dei componenti chimici di base sono uno dei fattori chiave per l'ottenimento delle prestazioni di cella desiderate. Lo studio si occuperà quindi di caratterizzare tali materiali in termini di purezza, composizione chimica, granulometria e geometria delle polveri per fornire un rigoroso supporto per il raggiungimento dell'obiettivo di superare lo stato dell'arte. Queste attività richiederanno importanti campagne di *test* al fine definire e quindi di correlare le caratteristiche chimico/fisiche con le prestazioni delle

celle. Saranno quindi impiegate numerose postazioni di prova per portare avanti più campagne di sperimentazione in parallelo grazie alle strutture disponibili presso i partner e i soggetti affiliati o fornitori.

Saranno messi a punto protocolli di *testing* che permettano di effettuare un controllo di qualità efficace ed affidabile sui componenti innovativi che verranno sviluppati nel progetto. Tali protocolli si avvarranno di tecniche di analisi in operando che quantificheranno i contributi di ogni fenomeno chimico fisico attribuendoli in maniera univoca a ogni componente, in questo modo sarà possibile in tempi rapidi stabilire se e quanto gli sviluppi condotti sulle nuove formulazioni dei componenti o sulle nuove tecniche di produzione abbiano avuto gli effetti desiderati in condizioni operative.

Inoltre, dipendendo la riduzione degli OPEX delle celle a combustibile non solo da costi di produzione, efficienza e potenza specifica, ma anche dalla durata della vita operativa utile, l'attività sperimentale di focalizzerà anche sulla verifica di funzionamento a lungo termine mettendo a punto metodi di *aging* accelerato di stress termico e chimico.

La ricerca, infine, sarà svolta affiancando indagine sperimentale e teorica, in un continuo rapporto di guida e verifica reciproche. In particolare, sarà sviluppata un'attività di simulazione a diversi gradi di dettaglio, investigando i fenomeni elementari su dimensione microscopica, le prestazioni a livello di cella e *stack* e infine l'integrazione su scala di impianto. Le diverse scale di analisi saranno fra loro correlate secondo un approccio consolidato presso UNIGE che prevede l'implementazione di un rigoroso modello di cinetica elettrochimica in seno a un modello 3D basato su bilanci locali di materia, energia e quantità di moto che è a sua volta implementato in un *software* specifico per lo studio di sistema. Nell'ambito del progetto CALIPSO tale metodologia sarà arricchita di nuovi contenuti grazie allo studio delle nuove soluzioni tecnologiche.

La validità dell'attività proposta in merito alla tecnologia MCFC è riflessa inoltre nella programmazione dei *task* caratterizzanti l'OR2, nei parametri di valutazione chiaramente identificati e nei risultati attesi descritti nel paragrafo successivo.

In questa sede, a titolo di sintesi si riportano nella tabella seguente i principali passi relativi all'avanzamento delle conoscenze previsto in seno al progetto CALIPSO in riferimento ai relativi elementi dello stato dell'arte.

Componente	Stato dell'arte	Criticità	Avanzamento CALIPSO
Matrice	γ -LiAlO ₂ α -LiAlO ₂	Scarsa resistenza ai cicli termici <i>Cross-over</i> dovuto a cricche Alta resistenza ohmica	Ottimizzazione caratteristiche microstrutturali e dello spessore Infiltrazione di fibre di elementi irrobustenti Nuovi materiali per doppia conduzione CO ₃ ⁻ e O ⁻
Anodo	Ni-Cr Ni-Al Ni-Al-Cr	Necessità di avere alta porosità e resistenza meccanica Bassa tolleranza agli inquinanti Dissoluzione del NiO con formazione di dendriti che determinano il fine vita della cella	Ottimizzazione caratteristiche microstrutturali e spessore Materiali alternativi eventualmente supportati o con <i>coating</i> (Al, Cu, differenti % di Cr, LiFeO ₂ , ...)
Catodo	NiO	1. Dissoluzione del NiO all'interno dell'elettrolita con formazione di dendriti che determinano fine vita della cella	1. Ottimizzazione caratteristiche microstrutturali e spessore
Collettori di corrente	AISI Grado di vuoto 35-50%	Problemi di corrosione Limitazione della diffusione del gas nell'elettrodo (<i>shadow effect</i>)	<i>Coating</i> con processi innovativi Incremento del grado di vuoto in funzione delle applicazioni, fino al raggiungimento del 80%

Le attività di ENEA saranno rivolte alla caratterizzazione sperimentale dei componenti per celle a combustibile ad elevata densità di potenza, sviluppate da UniParthenope e UniGE allo scopo di quantificare sperimentalmente

su scala di laboratorio i progressi raggiunti nello sviluppo dei componenti in termini di performance elettrochimiche, durabilità nel tempo e resilienza a reggimi di carico variabili.

Per quanto riguarda la caratterizzazione delle membrane a scambio cationico (CEM) e anionico (AEM) che verranno realizzate da UniParthenope, il grado di funzionalizzazione chimica sarà effettuato mediante analisi elementare ed EDS. La caratterizzazione delle strutture chimiche e delle composizioni dei materiali di membrana su scala molecolare sarà analizzata mediante tecniche di spettroscopia NMR, Raman e FT-IR. Per studiare in dettaglio la morfologia della membrana, saranno impiegati microscopia elettronica a scansione (SEM), microscopia elettronica a trasmissione (TEM), microscopia a forza atomica in modalità tapping (AFM) e scattering di raggi X a basso angolo (SAXS). Per valutare le prestazioni delle PEM, determinazione della IEC, ovvero il numero di gruppi ionici (equivalenti molari per grammo di membrana secca) sarà effettuato mediante titolazione, mentre l'assorbimento di acqua sarà calcolato sulla base della differenza di peso tra la membrana umida e la membrana secca. La conducibilità sarà generalmente determinata utilizzando la spettroscopia elettrochimica di impedenza (EIS) attraverso la tecnica della sonda a quattro punti misurando la resistenza della membrana nella direzione in *plane* e nella direzione *through plane*. Al fine di testare la resistenza meccanica in varie condizioni delle PEM, verranno esaminate le proprietà di trazione sia allo stato secco che umido. La calorimetria a scansione differenziale e le analisi termogravimetriche permetteranno di saggiare la stabilità termica della membrana. Per esaminare la stabilità chimica, le membrane saranno esposte a una soluzione simulanti le condizioni chimiche operative delle FC per un periodo di tempo controllato. Successivamente verranno registrate eventuali variazioni della struttura chimica, delle proprietà termiche, meccaniche ed elettriche. Tutte le attività di caratterizzazione chimofisica saranno svolte anche con il supporto, strumentazioni e le risorse dei consulenti dei coproponenti.

I MEA realizzati con i componenti innovativi saranno assemblati e caratterizzati per testarne l'efficienza, la stabilità chimica e dimensionale utilizzando le stazioni di prova disponibili nei laboratori di ENEA presso il centro ricerche di Ponticelli. Le prove saranno eseguite su uno stack di piccole dimensioni in regime stazionario e transitorio, esaminando il comportamento della membrana, variando i principali parametri operativi convenzionali, come tensione, temperatura, corrente, ecc. Verrà eseguita la valutazione dell'impedenza dello stack tramite EIS. Saranno effettuati test di polarizzazione e test EIS per misurare la risposta del materiale in termini di densità di corrente. Verrà inoltre studiato l'effetto dell'umidificazione sul comportamento elettrico della membrana. Vale la pena sottolineare che l'aumento dell'efficienza e dell'integrità meccanica dei manufatti prodotti consentirà l'ingegnerizzazione e la realizzazione di stack di FC di dimensioni maggiori rispetto a quelli commerciali, e quindi utili per applicazioni che richiedono elevate prestazioni.

I componenti innovativi per MCFC sviluppati nel progetto verranno assemblati e testati nei laboratori di caratterizzazione elettrochimica dell'ENEA. Le attività sperimentali si concentreranno sui test in operando di celle di taglia diversa a seconda delle caratterizzazioni necessarie:

- *Button cell*: test di screening per quantificare il comportamento elettrochimico dei componenti innovativi, sfruttando le peculiarità del set up sperimentale che permette misurazioni delle performance dei singoli componenti.
- *Single cell*: test parametrici volti alla mappatura delle performance al variare dei principali parametri operativi, analizzando le composizioni dei gas in uscita dai compartimenti anodici e catodici.
- *Short stack*: test di lunga durata per determinare la durabilità dei sistemi MCFC nel tempo in regime di carico dinamico (e.g. inseguimento del carico, *hot stand-by*, etc.).

Tutte le caratterizzazioni in operando delle celle MCFC verranno condotte utilizzando strumenti diagnostici mirati a quantificare le performance elettrochimiche, per questo motivo verranno condotte misure galvanostatiche e di polarizzazione in continuo e puntualmente verranno condotte le misurazioni di spettroscopia di impedenza (EIS) volte a mettere in luce i contributi alle performance dei diversi processi chimico-fisici avvenenti all'interno della cella. La molteplicità dei setup sperimentali utilizzati per la caratterizzazione sperimentale permetterà una mappatura completa dei componenti sviluppati nel progetto. Nello specifico la conducibilità delle matrici verrà monitorata in continuo effettuando test sotto carico elettrico costante con misurazioni spot ad alta frequenza che permetteranno di diagnosticare la conducibilità ionica della matrice senza interrompere i test di lunga durata in corso. Mentre per gli elettrodi sarà possibile eseguire misure separate in operando esclusive per ogni elettrodo andando a separarne i contributi.

Gli elementi di validità del progetto sono molteplici e così riassumibili:

- i. Caratterizzazione delle prestazioni di nuove membrane polimeriche innovative, aventi spessore ridotto, durabilità e capacità di scambio ionico migliorate; stabilità dimensionale incrementata; maggiore densità di potenza, possibilità di realizzare superfici attive di grandi dimensioni;
- ii. Caratterizzazione delle prestazioni di nuove membrane ceramiche, aventi un'elevata stabilità meccanica, un'aumentata conducibilità ionica (e della densità di potenza) dovuta all'aumento della porosità e stabilità della matrice e aventi un meccanismo di conduzione ionica duale con trasporto di ioni carbonato e ossigeno contemporaneamente.
- iii. Caratterizzazione delle prestazioni di MEA realizzati con le membrane innovative e le tecniche di deposizione laser;
- iv. Caratterizzazione degli elettrodi MCFC realizzati a partire da formulazioni innovative e tecniche di produzione non convenzionali.
- v. Caratterizzazione delle prestazioni di celle a combustibile di elevata densità di potenza e superficie attiva per applicazioni *heavy-duty*.

I risultati del progetto favoriranno la nascita di una nuova generazione di *stack* di celle a combustibile, ad alte prestazioni, in linea con le esigenze globali di sostenibilità ambientale; il processo di produzione e la conseguente filiera saranno generatori di notevoli impatti in termini economici e di occupazione.

Enea garantirà l'esecuzione dei test in ottica di *quality assurance*, definendo una matrice di prova, volta a quantificare empiricamente e in tempi rapidi i principali indicatori di performance per entrambe le tipologie di celle a combustibile (e.g. minor resistenza interna, maggior densità di potenza, etc.). Una volta stabilita la matrice sperimentale questa verrà applicata per testare tutti i componenti innovativi e le celle sviluppate dai coproponenti. Una volta completati i test di screening saranno quantificati i progressi ottenuti nello sviluppo dei componenti di entrambe le tecnologie. La completa caratterizzazione sperimentale delle prestazioni di componenti e celle consentirà anche di effettuare un'analisi volta a quantificare e qualificare l'avanzamento dello stato dell'arte delle tecnologie sviluppate nel progetto anche da un punto di vista di sostenibilità economico-ambientale.

Tutte le attività di CALIPSO relative allo sviluppo dei componenti innovativi e delle configurazioni di *stack* per celle a combustibile polimeriche saranno supportate ed indirizzate dalle analisi condotte da **ARCO**, che si avvarrà della sua esperienza per stabilire i requisiti e dettare le linee guida per una progettazione orientata al futuro sviluppo industriale della tecnologia proposta su larga scala.

La definizione dei requisiti progettuali sarà effettuata valutando i vincoli tecnici relativi alla corretta installazione e integrazione a bordo dei sistemi di celle a combustibile per diversi mezzi di trasporto, quali veicoli *heavy-duty*, veicoli stradali per il trasporto passeggeri, imbarcazioni di diversa taglia e treni, in modo da considerare un ampio spettro di applicazioni.

Inoltre, i requisiti progettuali si baseranno sulla valutazione delle prestazioni attese per ciascun caso di studio. Tale analisi verrà effettuata mediante l'implementazione e messa a punto di modelli dinamici per la simulazione di *powertrain* ibridi basati sulla integrazione di batterie e celle a combustibile. Le simulazioni dinamiche del sistema veicolo-*powertrain* verranno eseguite con riferimento a differenti *duty cycle*, standard ed arbitrari, e differenti architetture del *powertrain*, relativamente al dimensionamento ed alle curve caratteristiche di motore elettrico, celle a combustibile, e pacco batterie. Per diversi mezzi di trasporto di riferimento, verrà dunque definito un *layout* di *powertrain* ibrido, all'interno del quale si assumerà di dover integrare lo *stack* sviluppato nell'OR1. Tale analisi consentirà inoltre di individuare le caratteristiche del sistema di gestione termica dello *stack* PEMFC in modo da orientare la progettazione dello stesso.

A partire da uno studio approfondito delle soluzioni tecniche attualmente disponibili e sulla definizione dei requisiti progettuali, verranno quindi individuati gli indici prestazionali di riferimento, e suddivisi in classi a seconda dell'ambito: tecnico, ambientale ed economico. Tali indici rappresenteranno il target che si intende raggiungere, e saranno inoltre utilizzati come strumento di valutazione e comparazione dei risultati, al termine del progetto.

Arco ed ECOSPRAY seguiranno tutte le attività di sviluppo dei componenti e della progettazione degli *stack* al fine di assicurare tempi rapidi di prototipazione e industrializzazione. Attraverso tale attività di monitoraggio

indirizzeranno pertanto le scelte progettuali e, parallelamente, condurranno una analisi volta a determinare l'effettivo potenziale tecnico ed economico della tecnologia proposta ad essere implementato su larga scala.

2.2. RISULTATI ATTESI

Università degli Studi di Napoli Parthenope – UniParthenope

I risultati attesi delle attività di UniParthenope (OR1) riguardano lo sviluppo di componenti innovativi per *stack* e moduli PEMFC ad alta potenza idonei per applicazioni *heavy duty*.

Nuove membrane polimeriche ad alta conducibilità ionica e ad alta durabilità

Le nuove membrane per celle combustibile polimeriche ad alta potenza consentiranno di superare i limiti della conducibilità elettrica di strutture polimeriche amorfe e, quindi, incrementare la superficie attiva realizzabile, la densità di corrente e la durabilità. L'utilità delle nuove membrane a nanoporosità diffusa e orientata è fondata sulla capacità di raddoppiare la conducibilità ionica e di incrementare durata e stabilità mediante la capacità di adsorbire, efficacemente e senza problemi di rilascio o diffusione troppo rapida, molecole di scavenger dei radicali che si formano durante l'operatività della cella. L'originalità delle nuove membrane polimeriche è nella struttura cristallina nanoporosa con domini opportunamente orientati mentre quelle utilizzate nelle celle a combustibile commercialmente disponibili sono tipicamente amorfe e, pertanto, non particolarmente efficienti poiché caratterizzate da una distribuzione non ordinata dei domini conduttivi. L'approccio delle attività di sviluppo delle nuove membrane è alternativo e finora mai sperimentato in letteratura scientifica per tali applicazioni.

Nuovi MEA a basso contenuto di platino

I nuovi MEA a basso contenuto di platino saranno preparati con tecniche innovative di deposizione laser mai applicate a questo settore. L'utilità delle nuove tecniche di deposizione è fondata sulla possibilità di depositare catalizzatori con un minor impiego di materiale pregiato a parità di prestazione della cella. L'originalità è nella possibilità di realizzare deposizione controllata di strati nanometrici di catalizzatore. L'approccio è alternativo e finora mai sperimentato in letteratura scientifica per tali applicazioni.

Nuovi processi di produzione L'ingegnerizzazione della preparazione delle nuove membrane e dei nuovi sistemi catalitici e delle procedure di assemblaggio dei nuovi MEA è di grande rilevanza per conservare le caratteristiche strutturali e morfologiche dei nuovi componenti. I nuovi MEA saranno di grande utilità perché coniugano elevate prestazioni e costi contenuti. L'originalità risiede nell'automazione di tecniche di deposizione laser per la produzione di MEA a basso contenuto di platino mai sperimentati e/o applicati in questo settore.

Nuovi piatti bipolari per celle ad elevata potenza

L'ottimizzazione della geometria e del layout dei canali di distribuzione è di grande rilevanza per la progettazione di *stack* di alta potenza. L'utilità della definizione dei canali di distribuzione dei gas nei piatti bipolari riguarda aspetti prevalentemente fluidodinamici che incidono sulle prestazioni complessive degli *stack* e dei moduli di alta potenza a causa delle rilevanti dimensioni attese. Il progetto prevede la messa a punto di soluzioni originali che consentano ai nuovi piatti bipolari di: i) fornire la connessione elettrica tra le celle (conducibilità elettrica); ii) distribuire il flusso gassoso del combustibile e dell'ossidante ai singoli elettrodi in maniera più uniforme possibile; iii) rimuovere l'acqua prodotta nella reazione; iv) permettere un'efficace dissipazione del calore; v) separare combustibile ed ossidante tra le celle connesse in serie. Risultato finale sarà la messa a punto di piatti bipolari di ridotto spessore, e con una configurazione di canali altamente ottimizzata.

Per quanto riguarda la possibilità di incrementare il numero di celle, lo sviluppo delle nuove celle riguarderà inoltre la messa a punto di piatti bipolari con caratteristiche avanzate. Inoltre, i piatti bipolari hanno una incidenza molto significativa sul costo totale di uno *stack*. Pertanto, è fondamentale non soltanto la scelta dei materiali, ma anche una loro progettazione ottimizzata e, conseguentemente, la scelta dei processi di lavorazione più opportuni.

Progettazione nuovi stack ad elevata potenza

Accanto allo sviluppo della cella e dei suoi componenti, l'attività di ricerca verrà focalizzata, inoltre sulla progettazione di *stack* innovativi, altamente efficienti e idonei per applicazioni di alta potenza. Attualmente, gli

stack di celle a combustibile disponibili sul mercato sono composti da un numero di celle inferiore alle 400 unità. Il presente progetto prevede di progettare uno stack che, facendo leva sul grado di innovazione raggiunto per la singola cella, e sviluppando soluzioni ingegneristiche avanzate per il sistema di alimentazione e di gestione termica dello stack, sia in grado di raggiungere elevati valori di potenza specifica, essendo composto da un numero di celle molto elevato e superiore a quello delle attuali tecnologie.

Le attività descritte, in caso di successo, si prefigurano più che come un superamento dello stato dell'arte, come una vera e propria rivoluzione nel modo in cui sono attualmente concepite le celle a combustibile a membrana polimerica.

Università degli Studi di Genova (UNIGE)

L'attività di UNIGE nell'ambito dell'OR2 è focalizzata sullo sviluppo della tecnologia MCFC finalizzato in particolare ad applicazioni stazionarie di grande potenza e alla mobilità navale.

Come detto, tale attività di ricerca prevede due obiettivi principali da conseguire in serie: il superamento del *gap* tecnologico esistente rispetto allo stato dell'arte statunitense e il successivo miglioramento di prestazioni specifiche che consentano l'impiego di tali celle in contesti innovativi.

Tecnologia di riferimento

Il primo risultato di rilievo sarà quindi la realizzazione di celle MCFC utilizzando materiali e processi produttivi propri dello stato dell'arte e testarle dimostrando prestazioni in accordo coi parametri di valutazione intermedi. L'obiettivo è molto ambizioso perché pretende di recuperare anni di sviluppo tecnologico, tuttavia già l'acquisizione di nuova esperienza diretta sul filone produttivo delle MCFC e l'ottenimento di un prodotto di interesse potranno essere elementi determinanti di svolta nel progresso scientifico e nell'avvio di un investimento industriale nel settore. Il conseguimento del risultato risulta sostenibile grazie alla capacità già acquisita nella produzione di altre celle a combustibile e all'esperienza sperimentale condotta con risultati di eccellenza da UNIGE su MCFC prodotte in passato da Ansaldo Fuel Cells, recentemente da Fuel Cell Energy e, a livello laboratoriale, dal Korea Institute of Science and Technology. Saranno inoltre di supporto l'esperienza di UNIPG e del ParisTech, oltre alla eventuale collaborazione in atto fra ECOSPRAY e la società Fuel Cell Poland, includendo in questo modo tutte le principali competenze mondiali nel settore.

Tecnologia ottimizzata

Passo successivo sarà quello di migliorare le prestazioni ai fini applicativi, considerando in particolare tempi di vita, resistenza agli inquinanti ed efficienze di conversione. L'attività di ricerca focalizzerà l'attenzione sulla matrice (migliorandone la resistenza meccanica e sondando la possibilità di utilizzare materiali a conduzione anionica per la messa a punto di celle a doppia conduzione ad elevata densità di potenza) e sugli elettrodi (ottimizzando le prestazioni elettrochimiche e mitigando i limiti imposti dai fenomeni di diffusione dei reagenti), ma anche sui collettori e di corrente e sul disegno progettuale dei *device* cella e *stack*. Questo sviluppo sarà portato avanti seguendo le indicazioni per l'industrializzazione fornite dall'azienda ECOSPRAY e perseguendo l'ottimizzazione dei KPI individuati per migliorare aspetti specifici in funzione delle particolari finalità applicative.

In particolare, sia il contesto industriale di generazione di grandi potenze sia l'applicazione navale propongono come elemento strategico per l'affermarsi di questa tecnologia il valorizzare la sua capacità unica di funzionare anche come strumento di cattura della CO₂. L'attenzione anche a questo uso strategico in un contesto di transizione energetica porterà a guidare l'innovazione delle MCFC considerando anche parametri funzionali quali i fattori di utilizzo della CO₂ o l'impiego di particolari condizioni operative.

Secondo risultato di grande rilevanza sarà quindi l'ottenimento di celle MCFC ottimizzate per questi ambiti applicativi, basate su nuove caratteristiche microstrutturali, nuovi materiali e nuovi disegni progettuali in accordo con i task precedentemente descritti. Questo rappresenterà un elemento di indubbia originalità, sia in termini di componenti di cella sia di sviluppi applicativi (l'applicazione navale, per esempio, non presenta alcun rilievo nel mondo neppure a livello di analisi di fattibilità, se non gli studi a oggi condotti da UNIGE ed ECOSPRAY).

Processi produttivi innovativi

Le MCFC innovative proposte saranno concepite badando anche alla loro sostenibilità ambientale ed economica. In questa direzione di particolare rilievo saranno anche i processi produttivi impiegati, oggetto di studio dedicato. Terzo risultato di evidente utilità sarà quindi la definizione di processi produttivi innovativi vantaggiosi non solo per l'ottenimento di caratteristiche ottimali dei componenti, ma anche da un punto di vista della futura industrializzazione in termini di automazione, tempi e affidabilità. Il risultato potrà dimostrare la propria concreta efficacia indirizzando la progettazione delle apparecchiature manifatturiere previste da ECOSPRAY presso la neo-costituita *start-up* innovativa con sede a Isola del Canone e già destinata a promuovere lo sviluppo industriale di tale tecnologia.

Proprietà intellettuale e diffusione dei risultati

Altro risultato importante sarà determinato dall'attenzione da una parte alla protezione della proprietà intellettuale sul fronte tecnologico e dall'altra alla divulgazione dei progressi della conoscenza sul fronte prettamente scientifico.

In particolare le soluzioni innovative per le celle MCFC potranno essere oggetto di domande brevettuali, mentre l'avanzamento della comprensione dei fenomeni elettro-chimico-fisici sarà condiviso con la comunità scientifica nell'ambito di pubblicazioni e convegni, promuovendo lo sviluppo della ricerca futura (si pensa in particolare all'applicazione delle celle a conduzione mista, avamposto all'avanguardia nella ricerca del settore).

Ricordando come alla base dell'ottenimento dei risultati descritti sia una metodologia che vede come proprio punto di forza una attività di modellizzazione accurata, si vuole infine segnalare come risultato di rilievo anche l'*upgrade* del codice SIMFC, che si intende registrare come prodotto proprietario e proporre come efficace strumento diagnostico, predittivo, progettuale e di controllo.

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA

I risultati attesi da ENEA (OR3) sono relativi alla messa appunto di protocolli di testing, trasversali alle due tecnologie prese in esame dal progetto, in grado di quantificare in maniera efficace i benefici in termini di performance delle innovazioni apportate nello sviluppo di materiali o processi produttivi. Questo risultato è di particolare importanza per quel che riguarda l'industrializzazione delle celle a combustibile, è infatti di massima priorità velocizzare il processo di innovazione che parte dalla formulazione di nuovi concept alla produzione su scala industriale. In questo iter è obbligatorio avere degli strumenti che permettano ai produttori di verificare in tempi brevi cosa e quanto è stato migliorato dal punto di vista delle performance. Questa esigenza comune a molti aspetti del mondo industriale diventa particolarmente ostica, quando riferita a dispositivi complessi come le fuel cell, dal momento che è molto difficile distinguere i contributi dei diversi processi avvenenti all'interno della cella e attribuirli in maniera certa e univoca ad ogni componente. Per superare questa difficoltà ENEA si avvarrà di un ampio database di dati ereditato dalla trentennale esperienza nel campo delle celle a combustibile, questo database farà da spina dorsale per l'identificazione e la quantificazione dei processi chimico - fisici alla base del funzionamento di PEM e MCFC. Avendo quindi un solido benchmark su cui poter contare il protocollo di testing verrà sviluppato utilizzando test rapidi di caratterizzazione in operando, che verranno ripetuti in condizioni identiche per ogni campione sviluppato nel progetto. Grazie quindi a questo rapido screening sarà possibile selezionare i componenti innovativi più promettenti testandoli in condizioni rilevanti e mappandone le performance al variare dei principali parametri operativi. Successivamente verranno valutate le performance in test di lunga durata con lo scopo di mettere in luce la durabilità nel tempo delle performance dei sistemi sviluppati. Una volta affinato, il protocollo sarà in grado di rilevare con una certa affidabilità e in tempi rapidi se e quanto il campione testato va oltre lo stato dell'arte in termini di performance elettrochimiche. Vale la pena notare che procedendo nel tempo in maniera sistematica con un protocollo di testing su una numerosità di campioni via via crescenti, si innescherà un circolo virtuoso che porterà ad un ampliamento significativo del database delle performance delle celle, affinando in maniera sempre più efficace la fase di screening rapida iniziale. Questo porterà dei benefici consistenti in termini di tempi di sviluppo di nuovi concept per celle a combustibile.

ARCO Fuel Cell srl -Arco

I risultati attesi dalle attività di ARCO Fuel Cell (OR4) riguardano le analisi sugli scenari di riferimento, l'analisi dei requisiti progettuali e l'identificazione dei target per i principali parametri operativi delle celle PEM. In particolare, finalità principale di ARCO è quella di indirizzare le attività di ricerca di CALIPSO verso una progettazione funzionale alla futura industrializzazione della tecnologia proposta.

L'attività di ARCO consentirà innanzitutto il conseguimento di un risultato preliminare fondamentale, ossia la definizione dei possibili scenari applicativi per le celle PEM nell'ambito della mobilità. Ciò sarà effettuato attraverso una approfondita analisi dei vincoli tecnici e delle prestazioni attese per un'ampia gamma di mezzi di trasporto, nell'ambito dell'intero settore dei trasporti. I casi studio identificati come più promettenti per la futura industrializzazione saranno oggetto di una più dettagliata specificazione del layout del sistema di propulsione. Pertanto verrà selezionato un numero limitato di mezzi di trasporto di riferimento e per ciascuno di essi verrà definita una architettura ottimale di *powertrain* ibrido batterie/celle a combustibile, sulla quale si baserà il dimensionamento e l'integrazione dello stack PEM oggetto di sviluppo. I risultati di tale attività riguarderanno quindi la definizione dei requisiti di base per i veicoli di riferimento, in termini di energia, potenza e quantità di idrogeno necessari ad assolvere determinati compiti e raggiungere una determinata autonomia. Altro risultato fondamentale sarà relativo alla determinazione dei requisiti e delle caratteristiche progettuali del sistema di gestione termico dello stack di celle a combustibile e, conseguentemente, alla definizione degli schemi di integrazione ottimali dello stack stesso all'interno del sistema veicolo.

Le applicazioni selezionate saranno approfonditamente studiate, individuando KPI e proponendo soluzioni innovative di ingegnerizzazione, che garantiscano massima efficienza energetica e, al contempo, minimizzazione di pesi e ingombri. Le attività di ARCO confluiranno infine in un piano di sviluppo del sistema proposto su larga scala, che preveda tempi di prototipazione e industrializzazione competitivi.

Ecospray Technologies srl - ECOSPRAY

Principale finalità di ECOSPRAY nell'ambito del progetto CALIPSO è maturare e fornire indirizzi per l'industrializzazione di MCFC ad alta potenza.

L'OR5 consentirà il conseguimento di un importante preliminare risultato: l'identificazione di scenari applicativi per le celle MCFC in ambito stazionario e navale. Questo sarà conseguito dedicando particolare attenzione anche al *plus* proprio di questa tecnologia, cioè la potenzialità di attuare la *carbon capture*. Gli esausti di un tradizionale impianto di potenza a combustibili fossili, infatti, possono essere inviati al comparto catodico delle MCFC, da dove la CO₂ contenuta nei gas migra sotto forma di ioni carbonato fino al comparto anodico, dal quale viene espulsa in seno a una portata molto ridotta e prevalentemente costituita da vapore acqueo e CO₂ ad alta concentrazione. Tale portata risulta quindi di facile gestione per una finale segregazione della CO₂. Rispetto ai tradizionali metodi di carbon capture, questo processo risulta di grande interesse grazie al fatto che è un sistema attivo (contestualmente genera energia) e in grado di trattare anche esausti a bassi tenori di CO₂ (per esempio provenienti da sistemi turbogas, intorno al 4% molare) senza dover incrementare dimensioni o costi. Nel settore industriale questa applicazione offre alle MCFC molti ambiti di impiego, che hanno dettato oggi in particolare l'interesse delle grandi compagnie *oil&gas*, mentre nell'ambito navale offre un'occasione unica per un'azione di retrofitting capace di garantire il rispetto dei vincoli ambientali per le navi esistenti o in progettazione.

I casi studio identificati come più promettenti per un futuro sviluppo commerciale saranno oggetto di una più dettagliata specificazione del *layout* e in particolare, grazie alla consolidata esperienza di ECOSPRAY nel settore, l'applicazione navale sarà studiata proponendo soluzioni innovative di ingegnerizzazione a bordo tali da consentire la necessaria minimizzazione dell'ingombro.

Questo lavoro porterà come altri importanti risultati alla definizione di possibili disegni di sistema pronti per la proposta sul mercato e alla relativa definizione di requisiti e KPI che le celle MCFC devono rispettare per garantire la competitività delle proposte e che quindi saranno utilizzati come target dell'attività di ricerca propria dell'OR2.

Infine, risultato di decisiva rilevanza sarà la prospettiva di tempi di prototipazione e industrializzazione del prodotto sviluppato e di *time-to-market* competitivi per l'avvio di una linea di produzione da inserirsi in un mercato con grandi potenzialità a livello mondiale.

2.3. EFFICIENZA, SOSTENIBILITÀ E DURABILITÀ

Le finalità innovative indagate dalla ricerca del progetto sono state descritte come “high risk / high gain”, tuttavia i soggetti proponenti mettono in campo fra le più autorevoli competenze nel settore, in taluni ambiti con caratteristiche di unicità, per questo si ritiene che il progetto CALIPSO costituisca una opportunità esclusiva per il raggiungimento degli Obiettivi Realizzativi proposti con il minimo dispendio di risorse possibile.

L'efficacia dei risultati del progetto è attestata dall'interesse industriale dei co-proponenti aziendali che indirizzeranno le attività in una prospettiva di sfruttamento industriale e inserimento sul mercato. Questo sarà un elemento chiave per promuovere le tecnologie in studio e poter fornire un contributo determinante nel progredire della transizione ecologica, riducendo le emissioni e agevolando la conseguente mitigazione del rischio di cambiamenti climatici.

Se lo sviluppo tecnologico programmato dalle aziende a seguito dei risultati ottenuti in seno al progetto garantirà la durabilità degli stessi, anche la ricerca scientifica farà altrettanto, curando nuove linee innovative di indagine promosse dal progetto (in particolare l'approccio rivoluzionario per la sintesi delle nuove membrane o il dettaglio dei meccanismi di doppia conduzione). Questa attività di studio di base sarà sicuramente portata avanti dai proponenti accademici e di ricerca di CALIPSO, accrescendo il *know-how* nazionale, ma sarà anche di stimolo per una attività di respiro internazionale, in forza della diffusione dei risultati scientifici e delle collaborazioni in essere. Oltre alla sostenibilità del progetto in termini di fattibilità con un dispendio ottimizzato di risorse, merita una menzione anche la sostenibilità dei prodotti stessi del progetto da un punto di risparmio di risorse economiche e ambientali.

Focalizzando quindi l'attenzione sugli aspetti tecnici, le attività di UniParthenope sono infatti orientate a ridurre sensibilmente il quantitativo di platino primario da impiegare nella produzione di elettrodi per *fuel cell*. La produzione di tale metallo, infatti, ha conseguenze rilevanti per l'ambiente. Per meglio esemplificare quanto detto bisogna pensare che la produzione di 1kg di platino primario (da fonti vergini) emette 40 tonnellate di CO₂ e consuma 200 GJ di energia. Inoltre, tutte le attività di ricerca sono improntate ai principi della *Green Chemistry*: ad esempio la funzionalizzazione delle membrane allo stato solido richiederà, rispetto a quella comunemente effettuata in soluzione, l'utilizzo di un volume molto ridotto di solventi di natura organica. Sullo stesso fronte, le nuove membrane polimeriche, che il progetto mira ad introdurre, sono caratterizzate da un minore impatto ambientale rispetto a quelle attualmente in commercio: se consideriamo ad esempio le membrane al Nafion® attualmente utilizzate, a fronte delle ottime prestazioni in termini di alta conducibilità di carica ed elevata durabilità, in condizioni di umidificazioni ottimali, non possono essere propriamente considerate green, perché costituite da un polimero perfluorurato, che crea grossi problemi ambientali nella fase di smaltimento. Al contrario, CALIPSO propone di sviluppare polimeri non fluorurati, che comportano problemi di natura ambientali significativamente ridotti al termine del loro ciclo di vita.

Anche le attività di UNIGE nel progetto CALIPSO avranno come obiettivo, per le celle a carbonati fusi, la riduzione della quantità di materiale necessaria per la creazione di matrici ed elettrodi garantendo così un minor impatto economico nonché ambientale sulle risorse del pianeta. Altro obiettivo importante sarà quello di ridurre durata e intensità dei cicli termici per il trattamento di componenti della cella permettendo un minor consumo di energia e favorendo il risparmio di risorse energetiche. I metodi innovativi per la produzione dei componenti saranno improntati e progettati pensando già alla futura industrializzazione per poter così ottimizzare e ridurre al minimo scarti di materiale (incremento efficienza dell'utilizzo delle materie prime) e recupero di calore generato durante le fasi di produzione. Nella scelta dei leganti e dei solventi, l'ottimizzazione della loro quantità andrà di pari passo con la valutazione del rischio chimico e ambientale: a parità di prestazioni saranno favoriti leganti e solventi con un minor rischio chimico-ambientale. In ultimo, l'incremento delle *performance*, come ad esempio l'incremento della densità di potenza, permetterà di soddisfare le potenze richieste dei vari casi industriali analizzati utilizzando una minor quantità di materie prime non soltanto a livello di *stack* MCFC, ma anche per tutte le altre unità presenti in impianto.

CALIPSO è, quindi, volto allo sviluppo di nuove soluzioni che superino lo stato dell'arte nelle tecnologie di conversione dell'energia con sistemi a idrogeno e che abbiano un impatto dirompente nelle applicazioni stazionarie e di mobilità e, conseguentemente, sulla società. L'idea alla base delle soluzioni proposte mira ad incrementare le prestazioni e la vita utile dei sistemi in cui queste verranno implementate e ridurre i costi all'interno della filiera dell'idrogeno stesso. Ciò comporterà una significativa riduzione dell'impatto ambientale dovuta sia alla maggiore efficienza dei sistemi che faranno uso delle tecnologie proposte ma anche e soprattutto alla spinta che le tecnologie proposte daranno all'adozione dell'idrogeno come vettore energetico generale.

3. IMPATTO DEL PROGETTO

3.1. POTENZIALITÀ DI SVILUPPO

I componenti e i sistemi innovativi proposti nell'ambito del progetto CALIPSO avranno un impatto significativo sullo sviluppo di celle a combustibile e moduli per le applicazioni stazionarie e di mobilità. I risultati introdurranno innovazioni che potranno con successive attività di ricerca industriale condurre alla prototipazione di moduli di potenza capaci di rispondere ai requisiti richiesti dalle applicazioni *heavy duty* di elevata potenza.

Le attività di ricerca fondamentale affrontano tematiche di frontiera non ancora esplorate nello specifico settore di applicazione, con un potenziale alto impatto in termini di avanzamento della conoscenza, di ricaduta tecnologica e di applicazione industriali, a beneficio dell'economia e della società.

Il progetto propone un approccio innovativo per lo sviluppo di componenti chiave per realizzare celle a combustibile di alta potenza per molteplici applicazioni sia nel campo della mobilità che della produzione di energia stazionaria.

CALIPSO consentirà di ottenere significativi progressi nello sviluppo di celle a base polimerica introducendo materiali polimerici innovativi per i quali la cristallinità rappresenta un valore aggiunto non solo strutturale (poiché migliora, ad esempio, la resistenza meccanica e quella alla deformazione delle PEM) ma anche funzionale, ottimizzandone le proprietà di conduzione della carica e la durata operativa. Sistemi catalitici altamente performanti verranno sviluppati riducendo il contenuto di metalli preziosi.

Nel campo delle alte temperature l'attività sperimentale sarà affiancata da un approccio di modellizzazione multi-scala che permetterà di indirizzare l'ottimizzazione dei materiali basandosi sulle specifiche esigenze applicative. L'obiettivo è il raggiungimento di più alti rendimenti, di maggiori tempi di vita e di prestazioni ottimali in particolari condizioni di esercizio agendo in particolare sulla matrice, più resistente ed eventualmente adatta ad una conduzione mista, e sulla microstruttura del catalizzatore elettrodico. Le tecniche di produzione alternative proposte mireranno dunque alla realizzazione di un prodotto innovativo dalle alte prestazioni, ma contemporaneamente sostenibili economicamente per una realizzazione su scala industriale.

CALIPSO potrà, pertanto, fornire nuove soluzioni competitive commercialmente e sostenibili ecologicamente per la realizzazione di celle a combustibile sia a bassa che ad alta temperatura a seconda dell'applicazione di interesse. Il progetto è, quindi, caratterizzato da un livello di innovazione estremamente elevato, sia da un punto di vista di ricerca di base, migliorando il *know-how* sui materiali, che di sviluppo tecnologico negli specifici contesti (mobilità terrestre, navale, impianti di cogenerazione a diversa scala).

I nuovi prodotti dovranno colmare gli attuali vincoli tecnologici correlati a prestazioni non stabili in funzionamenti di lunga durata, costi poco competitivi rispetto ai generatori di potenza tradizionali e ingombri eccessivi soprattutto per applicazioni nel settore dei trasporti. Le principali innovazioni proposte da CALIPSO per celle PEM e MCFC sono elencate di seguito:

- nuove membrane elettrolitiche polimeriche caratterizzate da elevata efficienza e durabilità;
- nuovi elettrodi per celle a basse temperature caratterizzati da prestazioni comparabili con quelli attualmente disponibili sul mercato ma con un quantitativo di Pt sensibilmente ridotto;
- nuovi piatti bipolari di ridotto spessore da applicare nelle celle PEM;
- *stack* di celle a combustibile PEM composti da un alto numero di celle e caratterizzati da elevata potenza specifica;

- nuove matrici per celle MCFC dai ridotti spessori che garantiscano la resistenza meccanica senza compromettere l'alta conducibilità;
- nuovi elettrodi MCFC a base di Ni ottimizzati e/o con materiali alternativi dall'alta attività catalitica e maggiore tolleranza agli inquinanti;
- collettori di corrente con grado di vuoto ottimale per ridurre il fenomeno dello *shadow-effect*;
- *stack* di celle MCFC con maggiori densità di potenza e vendibili a prezzi competitivi grazie all'ottimizzazione raggiunta nel processo produttivo.

CALIPSO pone solide basi per lo sviluppo industriale delle conoscenze acquisite durante la realizzazione del progetto stesso, grazie alla stesura di specifici protocolli che permettano la riproducibilità su taglie maggiori dei risultati ottenuti. Il raggiungimento degli obiettivi fissati permetterebbe quindi al nostro Paese di riacquisire la sovranità tecnologica nel campo delle celle a combustibile, incentivando l'abbandono dell'utilizzo dei combustibili fossili e promuovendo la produzione di energia *carbon-free*.

Diversi sono i contesti applicativi dove le innovazioni proposte possono trovare sbocchi ideali:

- le celle a bassa temperatura in sistemi articolati su moduli di alta potenza per applicazioni stazionarie e in moduli compatti per applicazioni nel settore del trasporto pesante su gomma e ferroviario;
- le celle MCFC per taglie di potenza maggiori sia in applicazioni industriali che nel settore del trasporto navale. Inoltre, la loro capacità di concentrare efficacemente la CO₂ anche da correnti molto diluite le candida come unità di *retrofitting* a sistemi tradizionali per la produzione di energia, riducendone però significativamente le emissioni a costi ridotti.

Il potenziale quantitativo delle attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale attivabili per dare corso alla ricerca ed alla sperimentazione sulle nuove conoscenze introdotte dal progetto appare, pertanto, particolarmente ricco, sia in termini di impatto economico ma soprattutto in termini di impatto sociale ed ambientale. In particolare, da un punto di vista economico e industriale, le nuove conoscenze acquisite grazie alle collaborazioni con le imprese coinvolte nel progetto potranno consentire una rapida industrializzazione.

3.2. POTENZIALITÀ TECNOLOGICA

Il progetto è perfettamente coerente con gli obiettivi fissati dalla Politica della Ricerca e dell'Innovazione definiti a livello europeo e nazionale; questi obiettivi sono raggiunti attraverso progetti finanziati da bandi competitivi nell'ambito dei programmi Horizon. In particolare, le azioni previste dal progetto sono perfettamente in linea con il programma di finanziamento della *Clean Hydrogen Partnership (ex FCH JU)*, il partenariato pubblico-privato tra la Commissione Europea e le imprese industriali e della ricerca di *Hydrogen Europe* (associazione che rappresenta le industrie, la comunità della ricerca e le associazioni nazionali europee di settore). Questa *partnership* europea mira ad accelerare l'ingresso nel mercato delle tecnologie dell'idrogeno e delle celle a combustibile, facilitando la realizzazione del loro potenziale come strumenti per realizzare un sistema energetico pulito.

CALIPSO condurrà ad importanti scoperte scientifiche e applicative, in un settore di ricerca estremamente attuale, portando a significativi progressi rispetto allo stato dell'arte, ed andando a colmare importanti lacune tecnologiche e di conoscenza. Il progetto propone nuovi approcci tecnologici per raggiungere obiettivi estremamente ambiziosi che vanno oltre l'attuale stato dell'arte delle tecnologie ingegneristiche delle celle a combustibile. In relazione all'impatto scientifico e tecnologico, CALIPSO aprirà prospettive completamente nuove nell'ottenimento di membrane a conduzione protonica ed anioniche, robuste e con elevate prestazioni.

I risultati di CALIPSO saranno oggetto di pubblicazioni scientifiche, comunicazioni a conferenze internazionali e azioni a tutela della proprietà intellettuale brevetti. Se una soltanto delle diverse sfide tecnologiche proposte nel progetto daranno i risultati attesi in termini di efficienza e durabilità dei nuovi componenti, è agevole immaginare una rapida prototipazione da parte delle aziende coinvolte nel progetto ed interessate alla produzione delle tecnologie innovative.

Inoltre, l'aumento della densità di potenza delle celle realizzate con i nuovi materiali ingegnerizzati nel presente progetto comporterà una notevole riduzione degli effetti termici che si verificano durante il funzionamento delle celle a combustibile, che consentirà quindi la creazione di *stack* di grandi dimensioni, in grado di fornire più

potenza e quindi utili per applicazioni ad alta richiesta di energia. Alla luce di questi auspicabili effetti, è quindi lecito ipotizzare anche applicazioni dei nuovi materiali e manufatti, nella produzione di idrogeno per elettrolisi, settore in cui, secondo le ultime direttive europee, si dovranno compiere progressi significativi nei prossimi anni per rendere la produzione di idrogeno significativamente più economica e meno impattante sull'ambiente (entro il 2030 l'obiettivo dovrebbe essere di 40 GW di elettrolizzatori installati in Europa in grado di produrre idrogeno ad un costo inferiore a 3 €/kg).

Inoltre, gli elettrodi innovativi sviluppati (per esempio a ridotto quantitativo di catalizzatore al platino o caratterizzati da maggiore durabilità) permetteranno di ridurre in modo significativo i costi di produzione ed esercizio e di contenerne gli impatti ambientali. In particolare, lo studio finalizzato all'ottimizzazione delle modalità e tecniche di deposizione ha un'elevata potenzialità tecnologica, poiché la messa a punto dei parametri operativi renderà la tecnica facilmente implementabile su larga scala, essendo la qualità della deposizione direttamente correlata a parametri tecnici di geometria e di intensità del laser, che verranno studiati.

Infine, i protocolli sviluppati per l'innovazione delle celle e la conoscenza acquisita sui materiali sia dal punto di vista microstrutturale elettro-chimico-fisico che dal punto di vista dell'interazione dei vari componenti di cella potranno essere utilizzati per nuove ricerche anche nel settore dell'elettrolisi, rafforzando e promuovendo la filiera dell'idrogeno. Analogamente, le conoscenze per quanto riguarda il controllo delle porosità e di conseguenza di diffusione dei gas potranno essere utilizzate in tutti quei campi di ricerca e industriali dove siano di interesse adsorbimento, catalisi eterogenea o in genere fenomeni di trasporto di materia in sistemi complessi.

Lo sviluppo di celle innovative giocherà un ruolo importante nella filiera dell'idrogeno anche perché le nuove *performance* di potenza raggiunte permetteranno l'incremento della diffusione della tecnologia sul territorio europeo/italiano, specialmente in applicazioni dove non è possibile utilizzare motori tradizionali o impianti alimentati a combustibili fossili con elevate emissioni di CO₂ (es. applicazioni di mobilità in aree protette, limiti per la riduzione della CO₂, ecc.).

Alla luce di quanto descritto, si prevede che l'impatto economico del progetto possa essere molto rilevante, poiché propone un progresso tecnologico nella produzione di energia rispettosa del clima, pienamente in linea con l'attuale Energy Roadmap 2050 italiana ed europea, finalizzato a sostenere la transizione verso un'energia sicura, competitiva e a basse emissioni di carbonio. Inoltre, vale la pena notare che il successo del progetto potrebbe fornire una risposta credibile e solida alle richieste sempre più pressanti di "indipendenza energetica" di molti paesi, come l'Italia, che mancano di riserve sufficienti di fonti energetiche fossili per soddisfare la domanda interna e quindi dipendono dalle loro importazioni da paesi terzi.

3.3. IMPATTO AMBIENTALE

Molti paesi stanno scommettendo su strategie di sviluppo ambiziose che mirano a sostenere la penetrazione dell'idrogeno come vettore energetico in molti settori, in quanto ritenuto capace di contribuire in modo decisivo agli obiettivi della decarbonizzazione. Tra i settori maggiormente attenzionati c'è quello della mobilità, ritenuto strategico per assicurare un decisivo contributo al raggiungimento di una "carbon neutrality" al 2050. La mobilità è essenziale per lo sviluppo della società e dell'economia e può risultare decisiva per il successo delle politiche ambientali e sociali, per la qualità della vita, per la protezione dell'ambiente nonché per le politiche di coesione sociale, sviluppo urbano e sicurezza. La sfida più impegnativa e difficile che il mondo è oggi chiamato ad affrontare è la riduzione della dipendenza da fonti non rinnovabili e la transizione pulita e sostenibile dei settori dell'energia e dei trasporti verso la neutralità climatica attraverso modelli, soluzioni e tecnologie innovative.

Ad oggi, il settore dei trasporti rappresenta uno dei maggiori responsabili del cambiamento climatico in atto, contribuendo per più di un quarto sulle emissioni globali di gas serra nell'Unione Europea. Nello specifico la mobilità pesante, che si tratti di ferrovia, mare o aria, rimane una delle maggiori sfide della transizione energetica odierna che può contribuire a milioni di tonnellate evitate di CO₂. In Europa, il trasporto è responsabile per il 70% di emissioni. Ad esempio, le emissioni causate dal trasporto marittimo a livello intenzionale stimano essere pari a circa 1 miliardo di tonnellate all'anno a livello globale, mentre a livello Europeo, sono pari a circa il 13% delle emissioni legate all'intero settore dei trasporti. Tali valori sono destinati irrimediabilmente a crescere, se non verranno prese misure significative: secondo le più accreditate proiezioni, le emissioni di CO₂ causate dal trasporto

marittimo subiranno un incremento di almeno il 50% entro il 2050, nello scenario più ottimistico. Se fosse un paese, il trasporto marittimo occuperebbe il sesto posto nella classifica mondiale delle emissioni. A livello dell'UE, le emissioni di CO₂ prodotte dal trasporto marittimo sono aumentate del 48% tra il 1990 e il 2008. Nel 2015 il trasporto marittimo era responsabile del 13% del totale delle emissioni di gas a effetto serra del settore dei trasporti nell'Unione.

In Italia, il settore dei trasporti è direttamente responsabile del 25,2% delle emissioni di gas a effetto serra e del 30,7% delle emissioni di CO₂, a cui si aggiungono le emissioni nel settore dell'aviazione e del trasporto marittimo internazionali. Il 92,6% delle emissioni nazionali di tutto il comparto è attribuibile al trasporto stradale di passeggeri e merci, settore per il quale si registra un aumento del 3,2% delle emissioni tra il 1990 e il 2019, in controtendenza rispetto al calo del 19% delle emissioni totali durante lo stesso periodo. Si pensi ad esempio che i camion rappresentano il 2% del parco circolante in Italia, ma contribuiscono per il 20% alle emissioni di CO₂.

Per far fronte a questi problemi, si rende necessario promuovere modelli operativi che assicurino la sostenibilità dal punto di vista sia energetico che ambientale e, in tal senso, l'idrogeno rappresenta un vettore energetico estremamente interessante. Numerose iniziative sono state adottate da governi e Organizzazioni, tra cui il *Climate Target Plan* UE 2030 che mira ambiziosamente a ridurre le emissioni di gas serra di almeno il 55% entro il 2030. Per contribuire a raggiungere gli obiettivi europei (pacchetto 'Fit for 55'), che prevedono la riduzione del 55% delle emissioni climalteranti entro il 2030 e il loro azzeramento entro il 2050, è necessario accelerare il processo di decarbonizzazione, partendo proprio dal settore della mobilità.

A livello mondiale, l'Organizzazione marittima internazionale (IMO) ha proposto strategie e misure, che coinvolgono innovazioni tecnologiche (es. celle a combustibile) e combustibili alternativi (es. idrogeno, ammoniac, metanolo) con l'obiettivo sia di ridurre del 50% le emissioni di GHG entro il 2050 rispetto ai valori del 2008, sia di ridurre l'intensità di carbonio del trasporto marittimo internazionale di almeno il 40% entro il 2030 e del 70% entro il 2050, rispetto allo stesso anno.

Per ridurre le emissioni climalteranti del settore le soluzioni tecnologiche basate sull'elettrificazione risultano attualmente quelle più promettenti per diversi comparti, soprattutto quello del trasporto su strada. Se per alcuni mezzi, come automobili e furgoni commerciali (mobilità leggera) le tecnologie alternative sono già adottabili in larga scala, per la mobilità pesante (navi, aerei e camion a lunga percorrenza) la sperimentazione è ancora in corso ed è quindi necessario continuare a investire in ricerca e sviluppo.

Consentire la transizione energetica a idrogeno del settore della mobilità pesante significa sviluppare soluzioni tecnologiche efficienti, efficaci, economiche che utilizzano le celle a combustibile e che siano in grado di rispondere alle esigenze di tale settore.

La rivoluzione del settore dei trasporti basata su schemi e abitudini di mobilità più sostenibili e tecnologie verdi e pulite genera un impatto immediato e misurabile sull'ambiente e sulla qualità della vita e, indirettamente, riduce la dipendenza energetica e l'esigenza di innovazione crea nuova occupazione e nuove filiere produttive. Al tempo stesso, sistemi ed infrastrutture di trasporto più moderne, efficienti e sicure determinano economie ed occasioni di sviluppo che generano nuove risorse da investire nella transizione verso la mobilità sostenibile.

L'emergenza degli ultimi mesi ha messo in evidenza l'esigenza di creare filiere produttive nazionali ed europee complete, indipendenti e competitive. La mobilità gioca in questo contesto di accelerazione e innovazione un ruolo fondamentale: la quarta rivoluzione industriale sta portando evoluzioni tecnologiche a una velocità senza precedenti. La ricerca e lo sviluppo di tecnologie di stoccaggio dell'energia elettrica e di nuovi sistemi propulsivi, la penetrazione delle fonti rinnovabili e la diffusione di veicoli, reti e sistemi intelligenti e connessi, devono rispondere alle sfide della decarbonizzazione e della sostenibilità delle nuove filiere produttive, conservando la centralità dell'approccio sostenibile e il ruolo cruciale della mobilità elettrica nel panorama dei trasporti del nuovo millennio.

L'evoluzione verso un modello di mobilità sostenibile potrà peraltro rivoluzionare i confini dei segmenti di mercato tradizionalmente riconosciuti, dando la possibilità a diversi attori di offrire nuovi servizi e prodotti, sviluppare nuove tecnologie, nuovi modelli di business e approcci collaborativi, stimolare iniziative economiche, politiche e strategiche con attenzione al consumo delle risorse (flusso dei materiali, circolarità, second-life e zero-waste).

CALIPSO risponde appieno a queste sfide: le tecnologie innovative proposte sono capaci di andare oltre lo stato dell'arte delle attuali conoscenze su componenti e processi per le celle a combustibili per applicazioni stazionarie e di mobilità. L'approccio di CALIPSO mira all'incremento delle performance dei sistemi studiati rispetto a quelli attualmente in commercio e in particolare alla creazione di nuove celle a combustibile con elevata efficienza e densità di potenza. Le nuove tecnologie porteranno a due ordini di benefici in termini di impatto ambientale: nuovi stack di celle a combustibile di grandi dimensioni, e quindi adatti alle applicazioni anche di tipo heavy duty di grande potenza; la riduzione delle quantità e dei costi dei materiali impiegati per la loro realizzazione.

Ciò comporterà una significativa riduzione dell'impatto ambientale dovuta sia alla maggiore efficienza dei sistemi che faranno uso delle tecnologie proposte ma anche e soprattutto alla spinta che le tecnologie proposte daranno all'adozione dell'idrogeno come vettore energetico generale.

Le innovazioni di CALIPSO risultano, pertanto, allineate con gli obiettivi nazionali ed europei, e in particolare, aderisce alle traiettorie tecnologiche del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, supportando la sostenibilità del settore energetico e la mobilità, mediante lo sviluppo di tecnologie in grado di contribuire fortemente all'abbattimento delle emissioni ed alla conseguente mitigazione del rischio di cambiamenti climatici.

IV° PARTE: ULTERIORI ELEMENTI

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

Le attività progettuali proposte sono coerenti con il principio che prevede di non arrecare un danno significativo agli obiettivi ambientali (c.d. principio del "Do No Significant Harm" (DNSH)), ai sensi dell'articolo 17 del Regolamento (UE) 2020/852).

Il progetto si inserisce infatti nelle Strategie Europee sull'Idrogeno, mirando a sviluppare sistemi, componenti e processi per la produzione di *Energia Pulita* che rispetto a quanto già diffuso nel mercato attuale delle celle a combustibile, siano ugualmente o maggiormente efficaci in termini di prestazioni, ma siano più rispettose dell'ambiente, consentendo allo stesso tempo anche un risparmio in termini economici.

Le attività di ricerca di CALIPSO 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 la fabbricazione di apparecchi per la produzione e l'uso di idrogeno (elettrolizzatori e celle a combustibile, cfr. Scheda n. 25). La misura si applica ai generatori di energia elettrica alimentati a idrogeno ossia le celle a combustibile. 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 utilizzato. In particolare il progetto CALIPSO risponde appieno ai vincoli DNSH che impongono l'uso di eco progettazione che consenta un'elevata durabilità, separabilità dei materiali e riciclabilità degli stessi alla fine della loro vita utile.

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 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)”*.

5. CRONOPROGRAMMA

5.1. CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITÀ

				Trimestre I			Trimestre II			Trimestre III			Trimestre IV			Trimestre V			Trimestre VI			Trimestre VII			Trimestre VIII			Trimestre IX			Trimestre X			Trimestre XI			Trimestre XII		
OR	Soggetto proponente	Titolo OR	Task	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	31	32	33	34	35	36
OR1	Uniparthenope	Componenti e processi innovativi per celle polimeriche ad alta potenza	T1.1																																				
			T1.2																																				
			T1.3																																				
			T1.4																																				
			T1.5																																				
			T1.6																																				
OR2	Unige	Componenti e processi innovativi per celle a carbonati fusi ad alta potenza	T2.1																																				
			T2.2																																				
			T2.3																																				
			T2.4																																				
			T2.5																																				
			T2.6																																				
OR3	ENEA	Caratterizzazione prestazioni e sostenibilità di componenti e celle a combustibile	T3.1																																				
			T3.2																																				
			T3.3																																				
			T3.4																																				
OR4	ARCO	Indirizzi per l'industrializzazione di celle polimeriche ad alta potenza	T4.1																																				
			T4.2																																				
			T4.3																																				
OR5	Ecospray	Indirizzi per l'industrializzazione di celle a carbonati fusi ad alta	T5.1																																				
			T5.2																																				
			T5.3																																				

5.2. CRONOPROGRAMMA REALIZZATIVO

			Trimestre I			Trimestre II			Trimestre III			Trimestre IV			Trimestre V			Trimestre VI			Trimestre VII			Trimestre VIII			Trimestre IX			Trimestre X			Trimestre XI			Trimestre XII		
OR	Soggetto proponente	Titolo OR	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	31	32	33	34	35	36
OR1	Uniparthenope	Componenti e processi innovativi per celle polimeriche ad alta potenza																																				
OR2	Unige	Componenti e processi innovativi per celle a carbonati fusi ad alta potenza																																				
OR3	ENEA	Caratterizzazione prestazioni e sostenibilità di componenti e celle a combustibile																																				
OR4	ARCO	Indirizzi per l'industrializzazione di celle polimeriche ad alta potenza																																				
OR5	Ecospray	Indirizzi per l'industrializzazione di celle a carbonati fusi ad alta potenza																																				

5.3. CRONOPROGRAMMA DI SPESA

Soggetto proponente	Anno I	Anno II	Anno III
UNIPARTHENOPE	519.300,00 €	692.400,00 €	519.300,00 €
UNIGE	334.800,00 €	446.400,00 €	334.800,00 €
ENEA	129.000,00 €	172.000,00 €	129.000,00 €
ARCO	86.250,00 €	115.000,00 €	86.250,00 €
ECOSPRAY	86.250,00 €	115.000,00 €	86.250,00 €

6. RISORSE FINANZIARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Università degli Studi di Napoli Parthenope

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA						
FABBISOGNO	Anno (I)	Anno (II)	Anno (III)	Anno ()	Anno ()	Anno ()
Spese previste ammissibili (1)	159.159,84	212.213,12	159.159,84			
IVA	35.015,16	46.686,89	35.015,16			
<i>Totale</i>	<i>194.175,00</i>	<i>258.900,00</i>	<i>194.175,00</i>			
FONTI DI COPERTURA						
Eccedenza fonti anno precedente						
Apporto di mezzi propri/finanziamento						
Erogazioni contributo alla spesa	194.175,00	258.900,00	194.175,00			
Debiti verso fornitori (2)						
Cash-flow						
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)						
Altro						
<i>Totale</i>	<i>194.175,00</i>	<i>258.900,00</i>	<i>194.175,00</i>			

Università degli Studi di Genova

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA						
FABBISOGNO	Anno (I)	Anno (II)	Anno (III)	Anno ()	Anno ()	Anno ()
Spese previste ammissibili (1)	90.983,61	121.311,48	90.983,61			
IVA	20.016,39	26.688,52	20.016,39			
<i>Totale</i>	<i>111.000,00</i>	<i>148.000,00</i>	<i>111.000,00</i>			
FONTI DI COPERTURA						
Eccedenza fonti anno precedente						
Apporto di mezzi propri/finanziamento						
Erogazioni contributo alla spesa	111.000,00	148.000,00	111.000,00			
Debiti verso fornitori (2)						
Cash-flow						
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)						
Altro						
<i>Totale</i>	<i>111.000,00</i>	<i>148.000,00</i>	<i>111.000,00</i>			

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA						
FABBISOGNO	Anno (I)	Anno (II)	Anno (III)	Anno ()	Anno ()	Anno ()
Spese previste ammissibili (1)	24.590,16	40.983,61	16.393,44			
IVA	5.409,84	9.016,39	3.606,56			
<i>Totale</i>	<i>30.000,00</i>	<i>50.000,00</i>	<i>20.000,00</i>			
FONTI DI COPERTURA						
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>			

ARCO FC srl

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA						
FABBISOGNO	Anno (I)	Anno (II)	Anno (III)	Anno ()	Anno ()	Anno ()
Spese previste ammissibili (1)	15.000,00	20.000,00	15.000,00			
IVA	3.300,00	4.400,00	3.300,00			
<i>Totale</i>	<i>18.300,00</i>	<i>24.400,00</i>	<i>18.300,00</i>			
FONTI DI COPERTURA						
Eccedenza fonti anno precedente						
Apporto di mezzi propri/finanziamento soci						
Erogazioni contributo alla spesa	9.150,00	12.200,00	9.150,00			
Debiti verso fornitori (2)	0	0	0			
Cash-flow	9.150,00	12.200,00	9.150,00			
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)						
Altro						
<i>Totale</i>	<i>18.300,00</i>	<i>24.400,00</i>	<i>18.300,00</i>			

PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA						
FABBISOGNO	Anno (I)	Anno (II)	Anno (III)	Anno ()	Anno ()	Anno ()
Spese previste ammissibili (1)						
IVA						
<i>Totale</i>						
FONTI DI COPERTURA						
Eccedenza fonti anno precedente						
Apporto di mezzi propri/finanziamento						
Erogazioni contributo alla spesa						
Debiti verso fornitori (2)						
Cash-flow						
Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2)						
Altro						
<i>Totale</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

Tab.1 – Costi del progetto

A.1) Attività di ricerca	Spesa prevista	Percentuale di imputazione al progetto	Costo ammissibile	Costo regioni Centro-Nord	Costo regioni Mezzogiorno
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>					
<i>Totale A.1.1</i>	1.987.800,00	100%	1.987.800,00	979.716,00	1.008.084,00
<i>A.1.2 Spese generali</i>					
<i>Totale A.1.2</i>	646.950,00	100%	646.950,00	307.804,00	339.146,00
<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>	617.250,00	100%	617.250,00	263.500,00	353.750,00
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>					
<i>Totale A.1.5</i>	600.000,00	100%	600.000,00	251.500,00	348.500,00
Totale generale A.1) Attività di ricerca	3.852.000,00	100%	3.852.000,00	1.802.520,00	2.049.480,00

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

A.1) Attività di ricerca	Costo regioni Centro-nord	Costo regioni Mezzogiorno
	Costo regione Centro - nord	Costo regione Campania
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>		
<i>Totale A.1.1</i>	979.716,00	1.008.084,00
<i>A.1.2 Spese generali</i>		
<i>Totale A.1.2</i>	307.804,00	339.146,00
<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>	263.500,00	353.750,00
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>		
<i>Totale A.1.5</i>	251.500,00	348.500,00
Totale generale A.1) Attività di ricerca	1.802.520,00	2.049.480,00

Inoltre, in riferimento all'articolo 3, comma 2 dell'Avviso, tale progetto verrà realizzato per la sua quota maggioritaria presso sedi, filiali o laboratori ubicati nella Regione Campania.

Tab.1 – Costi del progetto

A.1) Attività di ricerca	Spesa prevista	Percentuale di imputazione al progetto	Costo ammissibile	Costo regioni Centro-Nord	Costo regioni Mezzogiorno
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>					
<i>Totale A.1.1</i>	805.000,00	100%	805.000,00		805.000,00
<i>A.1.2 Spese generali</i>					
<i>Totale A.1.2</i>	278.750,00	100%	278.750,00		278.750,00
<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>	337.250,00	100%	337.250,00		337.250,00
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>					
<i>Totale A.1.5</i>	310.000,00	100%	310.000,00		310.000,00
Totale generale A.1) Attività di ricerca	1.731.000,00	100%	1.731.000,00		1.731.000,00

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

A.1) Attività di ricerca	Costo regioni Centro-nord	Costo regioni Mezzogiorno
	Costo regione Centro - nord	Costo regione Campania
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>		
<i>Totale A.1.1</i>		805.000,00
<i>A.1.2 Spese generali</i>		
<i>Totale A.1.2</i>		278.750,00
<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>		337.250,00
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>		
<i>Totale A.1.5</i>		310.000,00
Totale generale A.1) Attività di ricerca		1.731.000,00

Tab.1 – Costi del progetto

A.1) Attività di ricerca	Spesa prevista	Percentuale di imputazione al progetto	Costo ammissibile	Costo regioni Centro-Nord	Costo regioni Mezzogiorno
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>					-
<i>Totale A.1.1</i>	552.800, 00 €	100%	552.800, 00 €	552.800, 00 €	
<i>A.1.2 Spese generali</i>					-
<i>Totale A.1.2</i>	193.200, 00 €	100%	193.200, 00 €	193.200, 00 €	
<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>	150.000,00 €	100%	150.000,00 €	150.000,00 €	
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>					-
<i>Totale A.1.5</i>	220.000,00 €	100%	220.000,00 €	220.000,00 €	
Totale generale A.1) Attività di ricerca	1.116.000,00 €	100%	1.116.000,00 €	1.116.000,00 €	-

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

A.1) Attività di ricerca	Costo regioni Centro-nord	Costo regioni Mezzogiorno
	Costo regione Liguria	Costo regione Mezzogiorno
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>		
<i>Totale A.1.1</i>	552.800, 00 €	
<i>A.1.2 Spese generali</i>		
<i>Totale A.1.2</i>	193.200, 00 €	
<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>	150.000,00 €	
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>		
<i>Totale A.1.5</i>	220.000,00 €	
Totale generale A.1) Attività di ricerca	1.116.000,00 €	

Tab.1 – Costi del progetto

A.1) Attività di ricerca	Spesa prevista	Percentuale di imputazione al progetto	Costo ammissibile	Costo regioni Centro-Nord	Costo regioni Mezzogiorno
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>					
<i>Totale A.1.1</i>	250.000,00	100%	250.000,00	112.500,00	137.500,00
<i>A.1.2 Spese generali</i>					
<i>Totale A.1.2</i>	80.000,00	100%	80.000,00	36.000,00	44.000,00
<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>	30.000,00	100%	30.000,00	13.500,00	16.500,00
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>					
<i>Totale A.1.5</i>	70.000,00	100%	70.000,00	31.500,00	38.500,00
Totale generale A.1) Attività di ricerca	430.000,00	100%	430.000,00	193.500,00	236.500,00

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

A.1) Attività di ricerca	Costo regioni Centro-nord	Costo regioni Mezzogiorno
	Costo regione Lazio	Costo regione Campania
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>		
<i>Totale A.1.1</i>	112.500,00	137.500,00
<i>A.1.2 Spese generali</i>		
<i>Totale A.1.2</i>	36.000,00	44.000,00
<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>	13.500,00	16.500,00
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>		
<i>Totale A.1.5</i>	31.500,00	38.500,00
Totale generale A.1) Attività di ricerca	193.500,00	236.500,00

Tab.1 – Costi del progetto

A.1) Attività di ricerca	Spesa prevista	Percentuale di imputazione al progetto	Costo ammissibile	Costo regioni Centro-Nord	Costo regioni Mezzogiorno
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>					
<i>Totale A.1.1</i>	190.000,00 €	100%	190.000,00 €	124.416,00 €	65.584,00 €
<i>A.1.2 Spese generali</i>					
<i>Totale A.1.2</i>	47.500,00 €	100%	47.500,00 €	31.104,00 €	16.396,00 €
<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>	50.000,00 €	100%	50.000,00 €	50.000,00 €	- €
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>					
<i>Totale A.1.5</i>	- €	100%	- €	- €	- €
Totale generale A.1) Attività di ricerca	287.500,00€		287.500,00€	205.520,00€	81.980,00€

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

A.1) Attività di ricerca	Costo regioni Centro-nord	Costo regioni Mezzogiorno
	Costo regione Emilia Romagna	Costo regione Campania
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>		
<i>Totale A.1.1</i>	124.416,00 €	65.584,00 €
<i>A.1.2 Spese generali</i>		
<i>Totale A.1.2</i>	31.104,00 €	16.396,00 €
<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>	50.000,00 €	- €
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>		
<i>Totale A.1.5</i>	- €	- €
Totale generale A.1) Attività di ricerca	205.520,00€	81.980,00€

Tab.1 – Costi del progetto

A.1) Attività di ricerca	Spesa prevista	Percentuale di imputazione al progetto	Costo ammissibile	Costo regioni Centro-Nord	Costo regioni Mezzogiorno
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>					
<i>Totale A.1.1</i>	190.00,00	100%	190.00,00	190.00,00	
<i>A.1.2 Spese generali</i>					
<i>Totale A.1.2</i>	47.500,00	100%	47.500,00	47.500,00	
<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>	50.000,00	100%	50.000,00	50.000,00	
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>					
<i>Totale A.1.5</i>					
Totale generale A.1) Attività di ricerca	287.500,00	100%	287.500,00	287.500,00	

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

A.1) Attività di ricerca	Costo regioni Centro-nord	Costo regioni Mezzogiorno
	Costo regione Liguria	Costo regione Campania
<i>A.1.1 Personale (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 3)</i>	190.00,00	
<i>Totale A.1.1</i>		
<i>A.1.2 Spese generali</i>	47.500,00	
<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>	50.000,00	
<i>Totale A.1.4</i>		
<i>A.1.5 Materiali e forniture</i>		
<i>Totale A.1.5</i>	287.500,00	
Totale generale A.1) Attività di ricerca		

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

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	3	1	3300	77,7	256.500,00
Personale tipo 2	Quadri/ Professori associati/ Ricercatori e Tecnologi III liv	3	2	3000	48,5	145.500,00
Personale tipo 3	Impiegati/ Ricercatori universitari/ Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/ Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici	3	0	1500	38	57.000,00
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)	4		11500		346.000,00
Totale				19300		805.000,00

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

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	1	1900	66	125.400,00 €
Personale tipo 2	Quadri/ Professori associati/ Ricercatori e Tecnologi III liv	1	1	3000	54	162.000,00 €
Personale tipo 3	Impiegati/ Ricercatori universitari/ Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/ Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici	1	1	2000	30	60.000,00 €
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)	3		6800		205.400,00 €
Totale		6		13700		552.800,00 €

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

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	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.)					
Totale		11	6	7509		250.000,00

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

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					
Personale tipo 2	Quadri/ Professori associati/ Ricercatori e Tecnologi III liv	1	0	1543,2	42,50 €	65.584,00 €
Personale tipo 3	Impiegati/ Ricercatori universitari/ Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/ Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici	4	0	3888,0	32,00 €	124.416,00 €
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)					
Totale		5		5431,2		190.000,00 €

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

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	2	0	864	55€	47.500,00 €
Personale tipo 2	Quadri/ Professori associati/ Ricercatori e Tecnologi III liv	3	1	1500	35€	52.500,00 €
Personale tipo 3	Impiegati/ Ricercatori universitari/ Ricercatori e Tecnologi IV, V, VI e VII/ Tecnici amministrativi e collaboratori tecnici	3	2	3000	30€	90.000,00 €
Personale tipo 4	Operai					
Personale tipo 5	Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.)					
Totale		8	3	5364		190.000,00 €

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

TABELLE DI DETTAGLIO

Università degli Studi di Napoli Parthenope

Tab.3 – Personale impegnato per obiettivo realizzativo

	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
OR1	3300	3000	1500		13500	21300	0	21300
TOTALE:	3300	3000	1500		13500	21300	0	21300
COSTO ORARIO	77,70€	48,50€	38,00€					

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
OR2	1900	3000	2000		6800	13700	13700	
TOTALE:	1900	3000	2000		6800	13700	13700	
COSTO ORARIO	66,00€	54,00€	30,00€					

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
OR3	300	6109	1100			7509	3379	4055
TOTALE:	300	6109	1100			7509	3379	4055
COSTO ORARIO	55,00€	33,00€	29,00€					

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
OR4		1543,2	3888			5431,2	3888	1543,2
TOTALE:		1543,2	3888			5431,2	3888	1543,2
COSTO ORARIO		42,50€	32,00€					

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
OR5	864	1500	3000			5364	5364	
TOTALE:								
COSTO ORARIO	55,00 €	35,00 €	30,00 €					

PERSONAL INFORMATION

Elio Jannelli



📍 Centro Direzionale Is. C4, 80143, Naples, Italy

☎ +39 081 547 67 62 📠 +39 335 740 29 59

✉ elio.jannelli@uniparthenope.it

<http://orcid.org/0000-0002-8605-9905>

Sex Male | Date of birth 21/05/1958 | Nationality Italian

Enterprise	University	EPR
☐ Management Level	☒ Full professor	☐ Research Director and 1st level Technologist / First Researcher and 2nd level Technologist
☐ Mid-Management Level	☐ Associate Professor	☐ Level III Researcher and Technologist
☐ Employee / worker level	☐ Researcher and Technologist of IV, V, VI and VII level / Technical collaborator	☐ Researcher and Technologist of IV, V, VI and VII level / Technical collaborator

WORK EXPERIENCE

From 2008 – to date

Full professor of Energy Systems

Department of Engineering, University of Naples Parthenope, Naples, Italy

- Rector's delegate for research (2017-2020)
- Director of the Energy Systems Laboratory (2008-to date)
- Coordinator of the Advanced Energy Systems group (2008-to date)
- Director of the Energy Science and Engineering PhD course (up to 2013)
- Member of the Scientific and Organizing Committee of the European Fuel Cell Piero Lunghi Conference (2017-to date)
- President of the Joint Evaluation of Teaching at Engineering Department (2014-2017)
- Director of the Industrial Engineering PhD course (2011-2014)
- President of the Education Committee in Management Engineering (M.Sc. and B.Sc.) (2008-2014)
- Teaching at PhD, M.Sc. and B.Sc. courses (Power Plants, Fluid Machinery, Energy Systems) (2008-to date)

University/Academia

From 2019 – to date

Member of National Committee of Guarantors for Research (CNGR)

Italian Ministry of Research (MUR), Rome, Italy

University/Academia

From 2016 – to date

CEO

Atena scarl – Distretto Alta Tecnologia Energia e Ambiente

- President of Scientific Committee (2014-2016)

University/Academia

From 2001 – to 2008

Full professor of Energy Systems

Department of Industrial Engineering, University of Cassino, Cassino, Italy

- Director of the Fluid Machinery and Energy Laboratory (1996-2008)
- Coordinator of the Fuel Cell Research Team (1996-2008)
- President of the Joint Evaluation of Teaching at Faculty of Engineering (2002-2008)
- President of the Selection Committee of the qualifying evaluation for the profession of engineer (2003)
- Member of the Education Committee of M.Sc. and B.Sc. in Mechanical Engineering (2001-2002)
- Member of the PhD Committee in Civil and Industrial Engineering (2000-2006)

- Responsible for Design, testing and commissioning of the experimental facilities at the Research Laboratory "Energy Systems" (1998-1999)
- Member of Academic Committee for the management of the Department of Mechanical Engineering (1988-1993)
- Teaching at PhD, M.Sc. and B.Sc. courses

University/Academia

EDUCATION AND TRAINING

- | | |
|------|---|
| 1987 | Ph.D. in Fluid Machinery and Power Plants
University of L'Aquila, Italy |
| 1982 | Master in Energy Management
University of Naples Federico II, Naples, Italy |
| 1981 | M.Sc. in Mechanical Engineering
University of Naples Federico II, Naples, Italy |

PERSONAL SKILLS

- | | |
|-------------------|--|
| Mother tongue(s) | Italian |
| Other language(s) | English (proficient oral/written user) |

- | | |
|----------------------------------|--|
| Research and innovation projects | <p>Research and Innovation Project: "E-SHYIPS - Ecosystemic knowledge in Standards for Hydrogen Implementation on Passenger Ship" (2021-2024)
funded by EU FCH – JTI</p> <p>Research and Innovation Project: "H2PORTS - Implementing Fuel Cells and Hydrogen Technologies in Ports" (2019-2022)
funded by EU FCH – JTI</p> <p>Research and Innovation Project: "REGGAE - Realizzazione di un pozzo Esplorativo e di un sistema di Geoscambio innovativo per l'utilizzo sostenibile di risorse Geotermiche A media Entalpia" (2018-2021)
funded by Regione Campania</p> <p>Research and Innovation Project: "HyLIVE - Hydrogen Light Innovative Vehicles" (2018-2020)
funded by Regione Campania</p> <p>Research and Innovation Project: "FORCE - Volo in formazione di Assemblati di CubEsat per l'osservazione della Terra" (2020-2022)
funded by Italian Ministry of Education, University and Research</p> <p>Research and Innovation Project: "ATENA FUTURE TECHNOLOGY" (2018-2019)
funded by Regione Campania</p> <p>Research and Innovation Project: Innovative technologies for fast ships performance detection and control (2016-2018)
funded by Italian Ministry of Economic Development</p> <p>Research and Innovation Project: ET-NET - Emerging energy Technologies for International NETworks (2015-2016)
funded by Regione Campania</p> |
|----------------------------------|--|

Research and Innovation Project: MITO - Multimedia Information for Territorial Objects" – PAC01_00119 (2013-2015)
funded by Italian Ministry of Education, University and Research

Research and Innovation Project: "Smart Generation" - PON03PE_00157 (2011-2017)
funded by Italian Ministry of Education, University and Research

Research and Innovation Project: "Fuel Cell Lab" – PON03PE_00109 (2011-2016)
funded by Italian Ministry of Education, University and Research

Research and Innovation Project: "Preliminary study for Fuel Cell APU application on MALE - UAV" (2011-2012)
funded by CIRA - Italian Aerospace Research Centre

Research and Innovation Project: "Preliminary study for the selection and sizing of a hybrid propulsion system for UAS" (2011-2012)
funded by CIRA - Italian Aerospace Research Centre

Research and Innovation Project: "Development of a regenerative energy system for HALE-UAV" (2007-2008)
funded by CIRA - Italian Aerospace Research Centre

Research and Innovation Project: "Technical and economic evaluation of a waste treatment plant integrated with a CHP plant" (2007-2008)
funded by Italian Ministry of Agriculture and Forestry

Research and Innovation Project: "Development of micro-CHP systems with fuel cells fed by hydrogen generators" (2007-2008)
funded by the National Research Council and Italian Ministry of Economic Development.

Research and Innovation Project: "Development of an innovative prototype for dispersed generation of electricity and heat with high efficiency and low environmental impact, based on fuel cells powered by hydrogen produced from natural gas" (2006-2007)
funded by Coelmo spa and Italian Ministry of Economic Development

Research and Innovation Project: "Development of mobile micro generators powered by PEM fuel cell for low power application" (2004-2005)
funded by Coelmo spa and Regione Campania

Research and Innovation Project: "Environmental Impact of 800 MW combined cycle power plant – site of Paduli" (2001-2002)
funded by Ansaldo Energia and General Construction

Research and Innovation Project "Assets estimation of 12Mwe cogeneration plant – Anagni site" (2001-2002)
funded by Videocolor (Thomson Group) and Cogethorm (EDF Group)

Research and Innovation Project: "Reversible energy storage systems" (1996-1998)
funded by University of Cassino

Research and Innovation Project: "Fuel saving and emissions reduction by use of non-conventional fuels in internal combustion engines" (1997-2000)
funded by Regione Lazio

Research and Innovation Project: "Optimization of CHP Energy Systems" (1991-1993)
funded by ENEL - Thermal Research Centre of Pisa.

Education and awards Education Project: FC SMARTGEN "Fuel Cell in Hybrid poligeneneration systems (2012-2016)

funded by Italian Ministry of Education, University and Research

Best Paper Award in the Track on Simulation, Virtual Reality and Automotive supercomputing for scientific paper "Numerical Simulation of Four Cylinder, 16 Valve, Spark-Ignition Engine" (1999)

ATI/ESSO Award for Master Degree Thesis: "Performance analysis of Intercooled and Reheat High Pressure Gas Turbine cycles" – Candidate: M.Minutillo (1999)

ATI/ESSO Award for Master Degree Thesis "Analisi, simulazione ed ottimizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili" – Candidate: M.Cusano (1999)

ATI/ESSO Award for Ph.D. Thesis "Multidimensional Modeling of Premixed Turbulent Combustion: Models and Experimental Test of a Small Spark-Ignition Engine" – candidate: M. Minutillo (2004)

ATI/ESSO Award for Master Degree Thesis "Numerical modeling of a spark-ignition engine fueling with premixed lean air-gasoline-hydrogen mixtures." – candidate: E. Ciacciarelli (2005)

ADDITIONAL INFORMATION

- Publications
162. Minutillo M., Perna A., Forcina A., Di Micco S., Jannelli E., Analyzing the levelized cost of hydrogen in refueling stations with on-site hydrogen production via water electrolysis in the Italian scenario (2021) International Journal of Hydrogen Energy Volume 46, Issue 26, Pages 13667 - 1367714 April 2021, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.11.110
 161. Minutillo M., Perna A., Di Trollo P., Di Micco S., Jannelli E., Techno-economics of novel refueling stations based on ammonia-to-hydrogen route and SOFC technology (2021) International Journal of Hydrogen Energy Volume 46, Issue 16, Pages 10059 - 100713 March 2021, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.113
 160. Mercuri A., Fanelli P., Ubertini S., Falcucci G., Jannelli E., Biscarini C., Effect of strain measurement layout on damage detection and localization in a free falling compliant cylinder impacting a water surface (2021) Fluids Open Access Volume 6, Issue 2February 2021 Article number 58, DOI: 10.3390/fluids6020058
 159. Minutillo M., Nastro R.A., Di Micco S., Jannelli E., Cioffi R., Di Giuseppe M., Performance Assessment of Multi-Electrodes Reactors for Scaling-up Microbial Fuel Cells (2020) E3S Web of Conferences Open Access Volume 19722 October 2020 Article number 0802075th National ATI Congress - #7 Clean Energy for all, ATI 2020, 15 September 2020 - 16 September 2020, DOI: 10.1051/e3sconf/202019708020
 158. Di Ilio G., Bella G., Jannelli E., Performance Evaluation of Extended-Range Electric Vehicles Equipped with Hydrogen-Fueled Rotary Engine (2020) SAE Technical Papers Issue 202027 September 2020 SAE 2020 2nd Conference on Sustainable Mobility, CSM 2020, 4 October 2020 - 7 October 2020, DOI: 10.4271/2020-24-0011
 157. Perna A., Minutillo M., Di Micco S., Di Trollo P., Jannelli E., Biogas and ammonia as hydrogen vectors for small refueling stations: Techno-economic assessment (2019) AIP Conference Proceedings Open Access Volume 219117 December 2019 Article number 02012774th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI 2019, 11 September 2019 - 13 September 2019, DOI: 10.1063/1.5138860
 156. Casazza M., Lega M., Jannelli E., Minutillo M., Jaffe D., Severino V., Ulgiati S., 3D monitoring and modelling of air quality for sustainable urban port planning: Review and perspectives (2019) Journal of Cleaner Production Volume 231, Pages 1342 - 135210 September 2019, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.257
 155. Florio C., Nastro R.A., Flagiello F., Minutillo M., Pirozzi D., Pasquale V., Ausiello A., Toscano G., Jannelli E., Dumontet S., Biohydrogen production from solid phase-microbial fuel cell spent substrate: A preliminary study (2019) Journal of Cleaner Production Volume 227, Pages 506 - 5111 August 2019, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.316
 154. Gargiulo N., Peluso A., Aprea P., Marino O., Cioffi R., Jannelli E., Cimino S., Lisi L., Caputo D., Chromium-based MIL-101 metal organic framework as a fully regenerable D4 adsorbent for biogas purification (2019) Renewable Energy Volume 138, Pages 230 – 235 August 2019, DOI: 10.1016/j.renene.2019.01.096
 153. Facci A.L., Falcucci G., Agresta A., Biscarini C., Jannelli E., Ubertini S., Fluid structure interaction of buoyant bodies with free surface flows: Computational modelling and experimental validation (2019) Water (Switzerland), Open Access Volume 11, Issue 51 May 2019 Article number 104, DOI: 10.3390/w11051048

152. Fanelli P., Trupiano S., Belardi V.G., Vivio F., Jannelli E., Structural health monitoring algorithm application to a powerboat model impacting on water surface (2019) *Procedia Structural Integrity*, Open Access Volume 24, Pages 926 - 938 2019 48th International Conference on Stress Analysis, AIAS 2019, 4 September 2019 - 7 September 2019, DOI: 10.1016/j.prostr.2020.02.081
151. Fanelli P., Mercuri A., Trupiano S., Vivio F., Falcucci G., Jannelli E., Live reconstruction of global loads on a powerboat using local strain FBG measurements (2019) *Procedia Structural Integrity*, Open Access Volume 24, Pages 949 - 960 2019 48th International Conference on Stress Analysis, AIAS 2019, 4 September 2019 - 7 September 2019, DOI: 10.1016/j.prostr.2020.02.083
150. Perna A., Minutillo M., Jannelli E., Cigolotti V., Nam S.W., Han J., Design and performance assessment of a combined heat, hydrogen and power (CHHP) system based on ammonia-fueled SOFC (2018) *Volume 231, Pages 1216 - 1229*. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.09.138 PUBLISHER: Elsevier Ltd
149. Alparone M., Minutillo M., Migliaccio M., Jannelli E., Massarotti N., Conventi F., Di Donato C., Nunziata F., Buono A., Rossi E., Gifuni A., Grassini G., Hydrogen-based hybrid power unit for light vehicles: Assessment of energy performance and radiated electromagnetic emissions (2018) *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C*, 2018, 41(6), 225. DOI: 10.1393/ncc/i/2018-18225-2
148. Perna, A., Minutillo, M., Jannelli, E., Cigolotti, V., Nam, S.W., Yoon, K.J. Performance assessment of a hybrid SOFC/MGT cogeneration power plant fed by syngas from a biomass down-draft gasifier (2018) *Applied Energy*, 227, pp. 80-91. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.08.077 PUBLISHER: Elsevier Ltd
147. Gargiulo, N., Peluso, A., Aprea, P., Micoli, L., Ausiello, A., Turco, M., Marino, O., Cioffi, R., Jannelli, E., Caputo, D. Use of a Metal Organic Framework for the Adsorptive Removal of Gaseous HCl: A New Approach for a Challenging Task (2018) *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10 (17), pp. 14271-14275. DOI: 10.1021/acsami.8b03007; PUBLISHER: American Chemical Society
146. Perna, A., Minutillo, M., Jannelli, E. Designing and analyzing an electric energy storage system based on reversible solid oxide cells (2018) *Energy Conversion and Management*, 159, pp. 381-395. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.12.082; PUBLISHER: Elsevier Ltd
145. Perna, A., Minutillo, M., Lubrano Lavadera, A., Jannelli, E. Combining plasma gasification and solid oxide cell technologies in advanced power plants for waste to energy and electric energy storage applications (2018) *Waste Management*, 73, pp. 424-438. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.09.022; PUBLISHER: Elsevier Ltd
144. Russo, S., Biscarini, C., Facci, A.L., Falcucci, G., Jannelli, E., Ubertini, S. Russo, S., Biscarini, C., Facci, A.L., Falcucci, G., Jannelli, E., Ubertini, S. Experimental assessment of buoyant cylinder impacts through high-speed image acquisition (2018) *Journal of Marine Science and Technology (Japan)*, 23 (1), pp. 67-80. DOI: 10.1007/s00773-017-0456-8; PUBLISHER: Springer Tokyo
143. Perna, A., Minutillo, M., Jannelli, E. Designing and analyzing an electric energy storage system based on reversible solid oxide cells (2018) *Energy Conversion and Management*, 159, pp. 381-395. Doi=10.1016
142. Falcucci, G., Nastro, R.A., Minutillo, M., Jannelli, E. Microbial fuel cells in solid waste valorization: Trends and applications (2017) *Modelling Trends in Solid and Hazardous Waste Management*, pp. 159-171. DOI: 10.1007/978-981-10-2410-8_9; PUBLISHER: Springer Singapore
141. Gargiulo, N., Peluso, A., Aprea, P., Micoli, L., Ausiello, A., Turco, M., Marino, O., Cioffi, R., Jannelli, E., Caputo, D.; Use of a Metal Organic Framework for the Adsorptive Removal of Gaseous HCl: A New Approach for a Challenging Task (2018) *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10 (17), pp. 14271-14275. DOI: 10.1021/acsami.8b03007; PUBLISHER: American Chemical Society
140. Gambino, E., Toscanesi, M., Del Prete, F., Flagiello, F., Falcucci, G., Minutillo, M., Trifuoggi, M., Guida, M., Nastro, R.A., Jannelli, E. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Degradation and Detoxification of Water Environment in Single-chamber Air-cathode Microbial Fuel Cells (MFCs) (2017) *Fuel Cells*, 17 (5), pp. 618-626. DOI: 10.1002/uce.201700124; PUBLISHER: John Wiley and Sons Ltd
139. Russo, S., Biscarini, C., Facci, A.L., Falcucci, G., Jannelli, E., Ubertini, S. Experimental assessment of buoyant cylinder impacts through high-speed image acquisition (2017) *Journal of Marine Science and Technology (Japan)*, pp. 1-14. Article in Press. DOI: 10.1007/s00773-017-0456-8; PUBLISHER: Springer Tokyo
138. Fanelli, P., Biscarini, C., Jannelli, E., Ubertini, F., Ubertini, S. Structural health monitoring of cylindrical bodies under impulsive hydrodynamic loading by distributed FBG strain measurements (2017) *Measurement Science and Technology*, 28 (2), art. no. 024006, DOI: 10.1088/1361-6501/aa4eac PUBLISHER: Institute of Physics Publishing
137. Mellino, S., Petrillo, A., Cigolotti, V., Autorino, C., Jannelli, E., Ulgiati, S. A Life Cycle Assessment of lithium battery and hydrogen-FC powered electric bicycles: Searching for cleaner solutions to urban mobility (2017) *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (3), pp. 1830-1840. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.10.146 PUBLISHER: Elsevier Ltd

136. Perna, A., Minutillo, M., Lubrano Lavadera, A., Jannelli, E. Combining plasma gasification and solid oxide cell technologies in advanced power plants for waste to energy and electric energy storage applications^[1](2017) Waste Management, . Article in Press. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.09.022 PUBLISHER: Elsevier Ltd
135. Facci, A.L., Cigolotti, V., Jannelli, E., Ubertini, S.^[1]Technical and economic assessment of a SOFC-based energy system for combined cooling, heating and power (2017). Applied Energy, 192, pp. 563-574. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.06.105 PUBLISHER: Elsevier Ltd^[1]
134. Cinti, G., Frattini, D., Jannelli, E., Desideri, U., Bidini, G.^[1]Coupling Solid Oxide Electrolyser (SOE) and ammonia production plant^[1](2017) Applied Energy, 192, pp. 466-476. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.09.026 PUBLISHER: Elsevier Ltd^[1]
133. Perna, A., Minutillo, M., Jannelli, E., Cigolotti, V., Nam, S.W., Yoon, K.J.^[1]Performance assessment of a hybrid SOFC/MGT cogeneration power plant fed by syngas from a biomass down-draft gasifier (2017) Applied Energy. Article in Press. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.08.077^[1]PUBLISHER: Elsevier Ltd^[1]
132. Minutillo, M., Perna, A., Jannelli, E., Cigolotti, V., Nam, S.W., Yoon, S.P., Kwon, B.W.^[1]Coupling of Biomass Gasification and SOFC - Gas Turbine Hybrid System for Small Scale Cogeneration Applications^[1](2017) Energy Procedia, 105, pp. 730-737, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.383 EDITORS: Li H., Yan J., Sun F., Desideri U., Chou S.K. PUBLISHER: Elsevier Ltd^[1]
131. Gargiulo, N., Peluso, A., Aprea, P., Micoli, L., Ausiello, A., Turco, M., Cioffi, R., Jannelli, E., Caputo, D.^[1]Amino-functionalized, chromium-based metal organic framework as a potential high performance adsorbent for hydrogen chloride (2017) Advanced Science Letters, 23 (6), pp. 6010-6011, doi: 10.1166/asl.2017.9094 PUBLISHER: American Scientific Publishers
130. Gambino, E., Toscanesi, M., Del Prete, F., Flaggiello, F., Falcucci, G., Minutillo, M., Trifuoggi, M., Guida, M., Nastro, R.A., Jannelli, E. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Degradation and Detoxification of Water Environment in Single-chamber Air-cathode Microbial Fuel Cells (MFCs)^[1](2017) Electroanalysis, . Article in Press. doi: 10.1002/face.201700124 PUBLISHER: Wiley-VCH Verlag
129. Perna, A., Minutillo, M., Cicconardi, S.P., Jannelli, E., Scarfogliero, S.^[1]Performance Assessment of Electric Energy Storage (EES) Systems Based on Reversible Solid Oxide Cell (2016) Energy Procedia, 101, pp. 1087-1094, doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.148 EDITORS: Arsie I., Masoero M.C. PUBLISHER: Elsevier Ltd
128. Frattini, D., Cinti, G., Bidini, G., Desideri, U., Cioffi, R., & Jannelli, E. (2016). A system approach in energy evaluation of different renewable energies sources integration in ammonia production plants. Renewable Energy, 99, 472-482. doi:10.1016/j.renene.2016.07.040
127. Frattini, D., Falcucci, G., Minutillo, M., Ferone, C., Cioffi, R., & Jannelli, E. (2016). On the effect of different configurations in air-cathode MFCs fed by composite food waste for energy harvesting doi:10.3303/CET1649015
126. Krastev, V. K., Amati, G., Jannelli, E., & Falcucci, G. (2016). Direct numerical simulation of SCR reactors through kinetic approach. SAE Technical Papers, 2016-April doi:10.4271/2016-01-0963
125. Panciroli, R., Biscarini, C., Falcucci, G., Jannelli, E., & Ubertini, S. (2016). Live monitoring of the distributed strain field in impulsive events through fiber bragg gratings. Journal of Fluids and Structures, 61, 60-75. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2015.10.013
124. Panciroli, R., Biscarini, C., Jannelli, E., Ubertini, F., & Ubertini, S. (2016). Dynamic monitoring of compliant bodies impacting the water surface through local strain measurements. Paper presented at the Proceedings of SPIE - the International Society for Optical Engineering, , 9803 doi:10.1117/12.2218601
123. Perna, A., Minutillo, M., & Jannelli, E. (2016). Hydrogen from intermittent renewable energy sources as gasification medium in integrated waste gasification combined cycle power plants: A performance comparison. Energy, 94, 457-465. doi:10.1016/j.energy.2015.10.143
122. Petrillo, A., De Felice, F., Jannelli, E., Autorino, C., Minutillo, M., & Lavadera, A. L. (2016). Life cycle assessment (LCA) and life cycle cost (LCC) analysis model for a stand-alone hybrid renewable energy system. Renewable Energy, 95, 337-355. doi:10.1016/j.renene.2016.04.027
121. Russo, S., Krastev, V. K., Jannelli, E., & Falcucci, G. (2016). Design and optimization of an experimental test bench for the study of impulsive fluid-structure interactions. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, , 1738 doi:10.1063/1.4952059
120. Facci, A. L., Sánchez, D., Jannelli, E., & Ubertini, S. (2015). Trigenerative micro compressed air energy storage: Concept and thermodynamic assessment. Applied Energy, 158, 243-254. doi:10.1016/j.apenergy.2015.08.026
119. Panciroli, R., Biscarini, C., Giovannozzi, A., Maggiorana, P., & Jannelli, E. (2015). Structural health monitoring through fiber bragg grating strain sensing. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, , 1648 doi:10.1063/1.4912471
118. Panciroli, R., Falcucci, G., Erme, G., De Santis, E., & Jannelli, E. (2015). Fluid-structure interaction

- during the water entry of flexible cylinders. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, , 1648 doi:10.1063/1.4912797
117. Panciroli, R., Ubertini, S., Minak, G., & Jannelli, E. (2015). Experiments on the dynamics of flexible cylindrical shells impacting on a water surface. *Experimental Mechanics*, 55(8), 1537-1550. doi:10.1007/s11340-015-0047-8
 116. Perna, A., Minutillo, M., & Jannelli, E. (2015). Investigations on an advanced power system based on a high temperature polymer electrolyte membrane fuel cell and an organic rankine cycle for heating and power production. *Energy*, 88, 874-884. doi:10.1016/j.energy.2015.07.027
 115. Perna, A., Minutillo, M., Cicconardi, S. P., Jannelli, E., & Scarfogliero, S. (2015). Conventional and advanced biomass gasification power plants designed for cogeneration purpose. Paper presented at the *Energy Procedia*, , 82 687-694. doi:10.1016/j.egypro.2015.11.793
 114. Zarghami, A., Porfiri, M., Jannelli, E., & Ubertini, S. (2015). Front-tracking lattice boltzmann simulation of a wedge water entry. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, , 1648 doi:10.1063/1.4912793
 113. Minutillo, M., Lubrano Lavadera, A., & Jannelli, E. (2015). Assessment of design and operating parameters for a small compressed air energy storage system integrated with a stand-alone renewable power plant. *Journal of Energy Storage*, 4, 135-144. doi:10.1016/j.est.2015.10.002
 112. Krastev, V. K., Falcucci, G., Jannelli, E., Minutillo, M., & Cozzolino, R. (2014). 3D CFD modeling and experimental characterization of HT PEM fuel cells at different anode gas compositions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(36), 21663-21672. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.09.015^[1]_{SEP}
 111. Minutillo, M., Perna, A., & Jannelli, E. (2014). SOFC and MCFC system level modeling for hybrid plants performance prediction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(36), 21688-21699. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.09.082^[1]_{SEP}
 110. Zarghami, A., Falcucci, G., Jannelli, E., Succi, S., Porfiri, M., & Ubertini, S. (2014). Lattice boltzmann modeling of water entry problems. *International Journal of Modern Physics C*, 25(12) doi:10.1142/S0129183114410125
 109. Tribioli, L., Barbieri, M., Capata, R., Sciubba, E., Jannelli, E., & Bella, G. (2014). A real time energy management strategy for plug-in hybrid electric vehicles based on optimal control theory. Paper presented at the *Energy Procedia*, , 45 949-958. doi:10.1016/j.egypro.2014.01.100^[1]_{SEP}
 108. Jannelli, E., Minutillo, M., Cozzolino, R., & Falcucci, G. (2014). Thermodynamic performance assessment of a small size CCHP (combined cooling heating and power) system with numerical models. *Energy*, 65, 240-249. doi:10.1016/j.energy.2013.11.074 Jannelli^[1]_{SEP}
 107. E., Minutillo, M., Lubrano Lavadera, A., & Falcucci, G. (2014). A small-scale CAES (compressed air energy storage) system for stand-alone renewable energy power plant for a radio base station: A sizing-design methodology. *Energy*, 78, 313-322. doi:10.1016/j.energy.2014.10.016^[1]_{SEP}
 106. Jannelli, E., Minutillo, M., & Perna, A. (2013). Analyzing microcogeneration systems based on LT-PEMFC and HT-PEMFC by energy balances. *Applied Energy*, 108, 82-91. doi:10.1016/j.apenergy.2013.02.067^[1]_{SEP}
 105. Krastev, V. K., Falcucci, G., Jannelli, E., Ubertini, S., & Andreassi, L. (2013). Numerical characterization of micro-CHP system based on HT-PEM fuel cells. Paper presented at the EFC 2013 - Proceedings of the 5th European Fuel Cell Piero Lunghi Conference, 145-146^[1]_{SEP}
 104. Falcucci, G., Jannelli, E., Ubertini, S., & Succi, S. (2013). Direct numerical evidence of stress-induced cavitation. *Journal of Fluid Mechanics*, 728, 362-375. doi:10.1017/jfm.2013.271
 103. Falcucci, G., Nastro, R., Minutillo, M., De Santis, E., Erme, G., Ulgiati, S., & Jannelli, E. (2013). Microbial fuel cells fed by solid organic waste: A preliminar experimental study. Paper presented at the EFC 2013 - Proceedings of the 5th European Fuel Cell Piero Lunghi Conference, 139-140.
 102. Falcucci, G., Jannelli, E., Minutillo, M., Ubertini, S., Han, J., Yoon, S. P., & Nam, S. W. (2012). Integrated numerical and experimental study of a MCFC-plasma gasifier energy system. *Applied Energy*, 97, 734-742. doi:10.1016/j.apenergy.2012.01.060
 101. Falcucci, G., Jannelli, E., Ubertini, S., & Bella, G. (2013). Direct numerical simulation of flow induced cavitation in orifices. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 6(3) doi:10.4271/2013-24- 0005
 100. Cicconardi, S. P., Jannelli, E., Minutillo, M., & Perna, A. (2013). System level modeling approach for performance prediction of high temperature fuel cells. Paper presented at the EFC 2013 - Proceedings of the 5th European Fuel Cell Piero Lunghi Conference, 389-390.
 99. Facci, A. L., Falcucci, G., Jannelli, E., & Ubertini, S. (2013). Optimization strategies for MICRO-CHP systems based on HT-PEM fuel cells. Paper presented at the EFC 2013 - Proceedings of the 5th European Fuel Cell Piero Lunghi Conference, 141-142.
 98. G. Falcucci, E. Jannelli, M. Minutillo, S. Ubertini, J. Han, S.P. Yoon, S.W. Nam, "Integrated numerical and experimental study of a MCFC-Plasma Gasifier energy system", *Appl. En.*, 2012, DOI:10.1016/j.apenergy.2012.01.060; ISSN: 0306-2619;
 97. G. Falcucci, E. Jannelli, M. Minutillo and S. Ubertini, "Fluid Dynamic Analysis of High Temperature

- PEM FuelCells", J. Fuel Cell Sci. Technol., 2012, DOI:10.1115/1.4005628; ISSN: 1550-624X;
96. G. Falcucci, E. Jannelli S. Ubertini and G. Bella, "Lattice Boltzmann Modeling of High Temperature PEM Fuel Cells", submitted to ECOS 2012 - International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2012, Perugia, Italy;
 95. G. Falcucci, E. Jannelli, M. Minutillo and S. Ubertini, "Experimental Investigation of High Temperature PEM Fuel Cells operating with Reformate Gas", submitted to ECOS 2012 - International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2012, Perugia, Italy;
 94. G. Falcucci, S. Ubertini, G. Bella, A. De Maio, S. Palpacelli and E. Jannelli, "Lattice Boltzmann Simulation of Diesel Injection", submitted to ASME 2012 Summer Heat Transfer Conference;
 93. G. Falcucci, S. Ubertini, E. Jannelli and M. Minutillo, "Gas Channels Fluid Dynamics in High Temperature FuelCells", Proc. of EFC 2011 European Fuel Cell Congress, 2011; ISBN: 978-88-8286-254-1;
 92. G. Falcucci, S. Ubertini, E. Jannelli and M. Minutillo, "Experimental Analysis of a High Temperature PEM Fuel Cell Stack", Proc. of EFC 2011 European Fuel Cell Congress, 2011; ISBN: 978-88-8286-254-1^[1]_{SEP};
 91. G. Falcucci, E. Jannelli, M. Minutillo, S. Ubertini "Analisi fluidodinamica della geometria dei canali anodici e catodici di celle PEM ad alta temperatura", 66th Congresso Nazionale ATI, Cosenza, 2011; ISBN: 9788895267111^[1]_{SEP};
 90. E. Fierimonte, E. Jannelli, M. Minutillo, S. Ubertini, J. Han, Y.P. Yoon, S.W. Nam, "Development of a Molten Carbonate Fuel Cell Model for the performance prediction of Integrated Power Generation Systems" Third International Conference on Applied Energy - 16-18 May 2011 - Perugia, Italy^[1]_{SEP};
 89. D. Di Bona, M.Minutillo, , E.Jannelli, A.Perna (2011). Investigations on the behaviour of 2 kW natural gas fuel Int. J. Hydrogen Energy, Vol.XXX pp.XX-XX^[1]_{SEP};
 88. G. Falcucci, S. Ubertini and E. Jannelli, "PEM Fuel Cell Modelling through Lattice BoltzmannModels", (Abstract), proceedings of DSFD 2010^[1]_{SEP}87. L.Andreassi, D.Chiappini, E.Jannelli, S.Ubertini (2010). Ultra Low CO2 Emission MCFC Based power Plant. Journal of Fuel Cell Science and Technology, Vol. 8, Issue 3, 031003, 2009^[1]_{SEP};
 86. D.Di Bona, G. Erme, G. Falcucci, E. Jannelli, M. Minutillo, S. Ubertini, Analisi delle prestazioni di un sistema di microgenerazione con celle a combustibile PEM alimentate con idrogeno prodotto da gas naturale, da presentare al 65° National Conference ATI, September 2010, Cagliari (Italy)^[1]_{SEP};
 85. G. Falcucci, S. Ubertini, M. Minutillo, E. Galloni, E. Jannelli, Applicazione di Metodi Cinetici alla Modellazione di Celle a Combustibile PEM, da presentare al 65° National Conference ATI, September 2010, Cagliari (Italy)^[1]_{SEP};
 84. E. Galloni, D. Di Bona, G. Erme, E. Jannelli, "Energy recovery analysis of a CHP system based on a PEM fuel cell", proceeding of of International Symposium HYPOTHESIS VIII, April 1-3, 2009, Lisbon (Portugal)^[1]_{SEP};
 83. S.P. Cicconardi, E. Jannelli, A. Perna, E. Galloni, M. Minutillo, D. Di Bona, R. Cozzolino, G.Erme, La Microgenerazione con Sistemi Integrati Fuel Cell/Fuel Reformer, II Convegno sull'Energia, New Energy Frontiers, 17-19 June 2009, Gaeta (Italy)^[1]_{SEP};
 82. E.Jannelli, F.Marignetti, M.Minutillo, A.Perna (2009). Measuring the PEM Fuel Cell Performance in a Versatile Test Station. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, vol. IEEE 09- 2178-TIE.R1, ISSN: 0278-0046^[1]_{SEP};
 81. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Falcucci, M.Minutillo, A.Perna (2009). Experimental Analysis of PEMFC Stacks under Different Cooling and Humidification Systems. In: Third European Fuel Cell Technology & Applications Conference. Rome, Italy, December 15-18, ROME: EFC09,vol. EFC09- 17425
 80. D.Di Bona, E.Jannelli, M.Minutillo, A.Perna (2009). Investigations on the Behaviour of 2 kW Natural Gas Fuel Processor. In: Proc. of Hysydays 2009. Turin, Italy, October 7-9
 79. G.Falcucci, S.Ubertini, E.Jannelli, E.Galloni (2009). Modeling Fuel Cells Through Lattice Boltzmann Methods. In: Third European Fuel Cell Technology & Applications Conference. Rome, Italy, December 15-18, ROME: EFC 09, vol. EFC09-17239
 78. E.Jannelli, M.Minutillo, A.Perna, D.Di Bona, G.Erme (2008). Analisi numerico- sperimentale delle perdite di polarizzazione di celle a combustibile polimeriche alimentate da gas riformato. 63° Congresso Nazionale ATI. Palermo, Settembre 2008.
 77. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, M.Minutillo, A.Perna, G.Erme (2008). Analisi energetica ed ambientale del processo di tri-reforming per la produzione di gas di sintesi per l'industria chimica. 63° Congresso Nazionale ATI. Palermo, Settembre 2008.
 76. E.Jannelli, G.Galeno, E.Fierimonte, G.Erme, N.Favaloro (2008). Analisi preliminare per lo

- sviluppo di un sistema di accumulo di energia per UAV-HALE. 63° Congresso Nazionale ATI. Palermo, Settembre 2008.
75. E.Jannelli, F.Tunzio (2008). Valutazione tecnico-economica di un impianto di trattamento di reflui zootecnici integrato con un impianto di cogenerazione di energia elettrica e termica e un impianto di abbattimento del carico azotato Relazione finale al Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Roma, luglio 2008.
 74. M.Minutillo,E.Jannelli,F.Tunzio(2008).ExperimentalResultsofaPEMSystemOperated on Hydrogen and Reformate. Journal Of Fuel Cell Science And Technology. vol. 5, Issue 1 ISSN: 1550-624X.
 73. M.Minutillo, E.Jannelli (2007). Simulation of the flue gas cleaning system in a RDF incineration power plant. Waste Management. vol. 27, pp. 684-690 ISSN: 0956-053X^[1]_[SEP]
 72. M.Minutillo,E.Jannelli,E.Galloni(2007).PerformanceofAPEMFuelCellSystemFuelled With Hydrogen Generated By A Fuel Processor. Journal Of Fuel Cell Science And Technology. Vol. 4 Issue 4 ISSN: 1550-624X. Selected paper from Proceedings of 1st European Fuel Cell Conference – Rome, December 2005. ASME Paper EFC2005- 86209.
 71. E.Jannelli,M.Minutillo,A.Perna,D.DiBona,M.Monsurrò(2007).PerformanceAnalysisof a Back-up Power Generator based on a PEMFC. WHTC2007, World Hydrogen Technologies Convention. Montecatini Terme, Italy. 2007.
 70. M.Minutillo, E.Jannelli, A.Perna, D.Di Bona (2007). Designing and Operating Residential CHP Systems Based on PEM Fuel Cell. ASME FUEL CELL 2007, 5th International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology. New York, USA. 2007.
 69. M. Minutillo, E. Jannelli, L. Maratta. (2006). Analisi delle prestazioni energetiche ed ambientali di soluzioni innovative per lo smaltimento di reflui civili e industriali Congresso Nazionale ATI – Perugia, settembre.
 68. M. Minutillo, E. Jannelli. (2006). Modeling and Testing a PEM Fuel Cell Fuelled by a steam reforming system. ASME FUEL CELL 2006 Fourth International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology. June. (vol. FUELCELL2006-97151).
 67. M. Minutillo, E. Jannelli, M. Monsurrò. (2005). Previsione delle prestazioni di una PEMFC alimentata con generatore di idrogeno. Congresso Nazionale ATI - Roma. settembre.^[1]_[SEP]
 66. M. Minutillo, E. Jannelli, F. Tunzio (2005). PEM FC Generator fuelled by Steam Reforming System. Fuel Cell Seminar, Palm Springs, California, USA.^[1]_[SEP]
 65. M. Minutillo, E. Jannelli (2005). Thermochemical modelling and analysis of a compact reforming system for PEM-FC Application. ASME FUELCELL2005 Third International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology. May 23-25, 2005, Ypsilanti, Michigan. (vol. FUELCELL2005-74123).
 64. M. Minutillo, E. Jannelli, F. Tunzio (2005). Performance Estimation Of A Polymer Electrolyte Fuel Cell Operating on Diluted Hydrogen Feed. 1st European Fuel Cell Conference – Rome. Dicembre. (vol. ASME Paper EFC2005-86305).
 63. M. Minutillo, E. Jannelli, E. Galloni (2004). Simulation and Analysis of Landfill Gas Fuelled Microgeneration Systems. ISWA World Congress and Exhibition, Roma
 62. M. Minutillo, E. Jannelli, E. Galloni (2004). Metodologie di valutazione di impatto ambientale di centrali termoelettriche. Congresso Nazionale ATI - Genova. 14-17 settembre. (vol. III, pp. 1813-1824).
 61. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, M. Minutillo (2003). Performance and Fuel Consumption Estimation of a Hydrogen Enriched Gasoline Engine at Part-Load Operation. In DANIEL J. HOLT. Hydrogen and its Future as a Transportation Fuel - SAE Progress in Technology Series. (vol. SAE Paper n. 2002-01-2196, pp. 105-110). (USA).
 60. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, M. Minutillo. (2003). Different Technologies for Hydrogen engine fuelling",International Symposium Hypothesis V, Porto Conte, Sardinia, Italy. (vol.1).
 59. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, R. Palmaccio. (2003). Influence of the Intake System Design on a Small Spark-Ignition Engine Performance. A Theoretical Analysis. SAE Paper. (vol. no. 2003-01-3134).
 58. M. Minutillo, E. Jannelli, F. Tunzio (2003). Dimensionamento delle tecnologie di utilizzazione del biogas da discarica. Atti del IV Convegno Nazionale Utilizzazione Termica dei Rifiuti, Abano Terme. (vol. 1).
 57. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, (2002) "New Gas Injection Systems for Spark-Ignition Engines", Relazione finale - Progetto Nazionale COFIN '99, L'Aquila.
 56. M. Minutillo, E. Jannelli, E. Galloni, (2002) "Previsione del trasporto degli effluenti gassosi inquinanti mediante modelli di diffusione emessi da un impianto a ciclo combinato gas vapore", Atti del 57° Congresso ATI, Settembre, Pisa.
 55. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, M. Minutillo, (2002) "Performance and fuel consumption estimation of a hydrogen enriched gasoline engine at part-load operation", Automotive and Transportation Thecnology Congress & Exhibition - ATT, Luglio 2002, Parigi.

54. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, M. Minutillo, (2002) "Numerical modeling of a spark-ignition engine fueling with premixed lean air-gasoline-hydrogen mixtures", 14a Word Hydrogen Energy Conference - WHEC, Giugno 2002, Montreal.^[1]_{SEP}
53. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, "Sviluppo di soluzioni e metodologie per la riduzione dei consumi e delle emissioni di motori a combustione interna di piccola cilindrata applicati su vettura", Relazione conclusiva contratto di ricerca ELASIS- Analisi sperimentale e criteri di ottimizzazione per l'impiego di combustibili alternativi, Cassino, settembre 2001.
52. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, (2001) "Multidimensional Modeling of Premixed Turbulent Combustion: Models and Experimental Test of a Small Spark-Ignition Engine", Proceedings of ASME ICE Spring Tech. Conference, pp. 93-108, Philadelphia, 2001.
51. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, (2001) "New Gas Injection Systems for Spark-Ignition Engines", Workshop Progetto Nazionale COFIN '99, L'Aquila, febbraio 2001.
50. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, (2001) "Sviluppo di soluzioni e metodologie per la riduzione dei consumi e delle emissioni di motori a combustione interna di piccola cilindrata applicati su vettura", Il Relazione intermedia contratto di ricerca ELASIS - Analisi sperimentale e criteri di ottimizzazione per l'impiego di combustibili alternativi - Cassino, gennaio 2001.
49. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, M. Minutillo, R. Fiorenza, P. Gaudino, M. Perrussio, (2001) "Modeling of a small gas-fueled spark-ignition engine", Atti del 7 Congresso Internazionale High-Tech Engines and Cars, Modena.
48. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli; (2000) "Sviluppo di soluzioni e metodologie per la riduzione dei consumi e delle emissioni di motori a combustione interna di piccola cilindrata applicati su vettura", I Relazione intermedia del contratto di ricerca ELASIS "Analisi sperimentale e criteri di ottimizzazione per l'impiego di combustibili alternativi", Cassino
47. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, E.Galloni (2000) Combustibili non convenzionali in motori a combustione interna: potenzialità del GPL. XII Convegno Commissione Tecnica A.C.I., Paestum.
46. G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli, M. Minutillo (2000) "Numerical Modelling of a Small, Multivalve, Spark-Ignition Engine: Predicted and Measured Performance at Part-Load Operation", 6° Convegno Internazionale "Automobili e Motori High-Tech", Modena
45. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, A. Perna, G.Spazzafumo (2000) Parametric Analysis of a Steam Cycle with a Quasi-Isothermal Expansion reviewed for publication on Int. J. Hydrogen Energy.
44. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Cocchi, P.Arnaldi (1999) Verifica della possibilità di reimpiego dei residui solidi dei processi di combustione di CDR - Relazione conclusiva fase 2 – Contratto di ricerca E.A.L.L. s.r.l. – Orvieto.
43. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, A. Perna, G.Spazzafumo (1999) A Steam Cycle With Mixed Quasi-Isothermal/Adiabatic Expansion. International Symposium Hypothesis III, S. Petersburg (Russia).
42. G.Fontana, E.Galloni, E.Jannelli (1999) Numerical simulation of a four cylinder, 16 Valve, Spark-Ignition Engine. ISATA Paper no. 99SI017.Award as best paper in "Track on Simulation, Virtual Reality and Supercomputing Automotive Applications" 32nd ISATA, 14- 18 June 1999, Vienna, Austria, Vol.1 pp. 169-176, Vienna
41. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, A. Perna, G.Spazzafumo (1999) "A steam cycle with an isothermal expansion: the effect of flow variation" Int. J. Hydrogen Energy, Vol.24 pp.53- 57
40. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli, E.Galloni (1999) Configurazioni Complesse di impianti con turbine a gas: confronto delle prestazioni. Atti del Workshop Tecniche di Progettazione, Analisi, Gestione e Controllo degli Impianti Energetici, SGE Padova, Vol I, pp. 97-108.
39. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Cocchi, P.Arnaldi (1999) Progetto di riutilizzo della energia termica di supero in un impianto di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (CDR e biomasse) della potenza netta di 10 MW termici - Relazione conclusiva fase 1 – Contratto di ricerca E.A.L.L. s.r.l. – Orvieto.
38. S.P. Cicconardi, G. Fontana, E. Galloni, E. Jannelli (1998) "Valutazioni tecniche ed economiche di investimenti nel settore della cogenerazione industriale", Raccolta dei casi studio corso post-universitario per la formazione di animatori della diffusione di innovazione, Docup Ob.2 mis. 2.9, Vol.1, pp 1-52, Idea Stampa, Cassino.
37. S.P. Cicconardi, G. Fontana, E. Jannelli, E. Galloni (1998) "Modellizzazione teorica", Relazione sulla fase 2 del progetto di ricerca - Regione Lazio: "Impiego di combustibili non convenzionali in motori a combustione interna: riduzione consumo ed emissioni inquinanti", Cassino.
36. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, A. Perna, G.Spazzafumo (1998) Valutazioni parametriche di un ciclo limite a vapore con espansione paraisoterma. Atti del 53° Congresso Nazionale ATI, Firenze, Vol.1, pp.745-753.
35. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Spazzafumo (1998) "A thermodynamic cycle with a quasi-isothermal expansion". Int. J. Hydrogen Energy, Vol.23, No. 3, pp.209-211.
34. S.P. Cicconardi, G. Fontana, E. Jannelli, E. Galloni (1997) "Impiego di combustibili non convenzionali in motori a combustione interna: riduzione consumo ed emissioni inquinanti",

Rapporto di ricerca Convenzione Regione Lazio, Roma

33. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Spazzafumo (1997) Hydrogen Energy Storage: Hydrogen and Oxygen storage subsystems, *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol.22, No. 9, pp.897-902.
32. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, A. Perna, G.Spazzafumo (1998) "A steam cycle with direct combustion of hydrogen and oxygen and an isothermal expansion" *T.O.Saetre Hydrogen Power; Theoretical and Engineering Solutions. Selected Papers of HYPOTHESIS II*, Grimstad, Norway, Vol.1, pp.505-510.
31. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, A. Perna, G.Spazzafumo (1997) "Dimensionamento di un dispositivo di livellamento del carico elettrico basato su tecnologia Hydrogen Energy Storage" *Atti del IX Convegno Tecnologie e sistemi energetici complessi "Sergio Stecco"*, Milano, Vol.1, pp.403-411.
30. G.Fontana E.Jannelli (1996) Combustibili innovativi per motori ad accensione comandata: Potenzialità dell'idrogeno. *Atti del 51° Congresso Nazionale ATI*, Udine, Vol.2, pp.1589- 1602.
29. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Spazzafumo (1996) Sulle possibilità di migliorare le prestazioni di un ciclo Hirn impiegando risurriscaldatori a miscela. *Atti del 51° Congresso Nazionale ATI*, Udine, Vol.1, pp.47-55
28. E.Jannelli, G.Fontana, D.Falcone, F.de Felice (1995) Optimal Planning of CHP Systems Paper 8B3 - *Transactions of International Symposium on Energy, Environment and Economics*, Melbourne, Australia, Vol.1, pp.343-350.
27. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli, R.Nocera, G.Spazzafumo (1995) Hydrogen as a Fuel for Internal Combustion Engines. A Review. Paper 5D4 – *Transactions of International Symposium on Energy, Environment and Economics*, Melbourne, Australia, Vol.1, pp.567-574.
26. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Spazzafumo (1995) MHD Plants: A comparison between two level and three level systems. *Energy Convers. Mgmt Vol.38*, n.6, pp.525-531,1997.
25. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Spazzafumo (1995) Hydrogen Energy Storage: reconversion subsystems. *Proceedings of "Hypothesis" Hydrogen Power (Thermal & Electrochemical) Systems International Symposium*, Cassino-Gaeta, vol.1, pp.355-364.
24. S.P.Cicconardi, E.Jannelli (1995) Produzione combinata di energia elettrica e termica in impianti integrati di smaltimento dei rifiuti solidi urbani ed industriali. *Convegno "Dall'Emergenza alla valorizzazione energetica dei rifiuti"*, Ordine degli Ingegneri - Frosinone.
23. G.Fontana, E.Jannelli (1995) Progettazione ottimale di sistemi di cogenerazione per le P.M.I. *Giornata di Studio "Autoproduzione e Cogenerazione nell'industria"*, Cassino.
22. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Spazzafumo, P.Valente (1994) Accumulo di energia: Confronto tra le prestazioni di sistemi ad energia potenziale idraulica e ad energia chimica. *Atti del 49° Congresso Nazionale A.T.I.*, Perugia, vol.II, pp.1143-1154.
21. G.Fontana, E.Jannelli (1994) Cicli di TG ad elevata efficienza in cicli combinati Gas/Vapore. *Atti del 49° Congresso Nazionale A.T.I.*, Perugia, Vol IV, pp. 383-390.
20. S.P.Cicconardi, E.Jannelli, G.Spazzafumo (1993) Hydrogen Energy Storage: A Specific Plant for Hydrogen Liquefaction. *Proceedings of the First International Conference on New Energy Systems and Conversions*, Yokohama, Japan, vol.1, pp.665-672.
19. S.P.Cicconardi, E.Jannelli G.Spazzafumo (1993) Hydrogen Energy Storage: Preliminary Analysis. *Int.J. Hydrogen Energy*, Vol.18, n.11, pp.933-940.
18. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli (1992) Confronto tra cicli sottoposti a vapore per impianti combinati. *Atti del V Convegno Nazionale ATI "Gruppi Combinati Prospettive Tecniche ed Economiche"*, Genova, vol.1, pp.749-762.
17. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli, G.Spazzafumo (1992) Tecniche di valutazione delle prestazioni di turbine a gas ad elevata efficienza. *Atti della Giornata di studio MURST 40%*, Bologna.
16. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli (1992) Second law analysis of integrated coal gasification combined cycles. *Flowers'92, Proceedings of the 2nd Florence Word Energy Research Symposium*, Firenze, vol.1, pp.521-538.
15. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli G.Spazzafumo (1991) Turbine a gas con compressione inter-refrigerata ed espansione inter-riscaldata: analisi termodinamica. *Atti del 46° Congresso Nazionale ATI*, Cassino-Gaeta, vol.II, pp.195-206.
14. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli (1991) Analisi delle prestazioni di turbine a gas a compressione inter-refrigerata ed espansione inter-riscaldata. *Atti del V Convegno Nazionale ATI "Gruppi Combinati Prospettive Tecniche ed Economiche"*, Bologna, vol.1, pp.207-217
13. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli, A.Losi (1991) Ottimizzazione di un sistema energetico territoriale caratterizzato da produzione combinata di energia elettrica e termica. *Atti della Giornata di studio ATI "Ottimizzazione Tecnica ed Economica degli Impianti Termici e dei loro Componenti per la Produzione di Energia"*, Badia S.Andrea Genova.
12. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli, A.Losi (1990) Metodologie di analisi ed ottimizzazione di sistemi energetici territoriali caratterizzati da produzione combinata di energia elettrica e termica. *Rapporto di Ricerca - Contratto ENEL Centro Ricerche Termiche*, Pisa.

11. S.P.Cicconardi, G.Gaggio, E.Jannelli, G.Spazzafumo (1990) Theoretical evaluation of the influence of fuel enrichment on the performance of an energetic system based on fuel cells and photosynthetic processor. Proceedings of World Hydrogen Energy Conference Progress VIII. Hawaii, U.S.A., vol.3, pp.1519-1534.
10. Fontana, E.Jannelli, R.Tuccillo. (1990) Coal derived gas utilization in combined gas-steam cycle power plants. 35o ASME IGTI - International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition, Brussels, ASME Paper no.90-GT-366.
9. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli (1990) Cicli combinati alimentati a gas di carbone. Atti della Giornata di studio MPI 40%, Firenze, vol.1.
8. S.P.Cicconardi, G.Fontana, E.Jannelli, R.Lensi (1990) Performance analysis of combined gas/steam cycle power plants fed by coal gasification. Proceedings of Flowers'90 (Florence World Energy Research Symposium), Firenze, Additional Papers, pp. 77-89.
7. G.Fontana, E.Jannelli e R.Tuccillo. (1990) Considerazioni su impianti combinati utilizzando combustibili derivati dal carbone. Atti del IV Convegno Nazionale ATI "Gruppi Combinati Prospettive Tecniche ed Economiche", Firenze, vol 1, pp.177-192.
6. S.P.Cicconardi, D.Falcone, G.Fontana E.Jannelli (1990) Considerazioni termoeconomiche sulla scelta ottimale di impianti di cogenerazione. Atti della Giornata di studio ATI "Aspetti Tecnici ed Economici nella Generazione e Cessione dell'Energia Elettrica Prodotta per Cogenerazione ed a Fonti Rinnovabili", Badiadi S. Andrea Genova.
5. S.P.Cicconardi, D.Falcone, G.Fontana, E.Jannelli (1989) Thermoeconomic analysis of CHP systems. Proceedings of I Congreso Internacional Energia, Ambiente e Innovación Tecnológica, Caracas, Venezuela. Paper no. 21353
4. G.Fontana, E.Jannelli (1989) Confronto tra metodologie di analisi termodinamica di impianti di cogenerazione. Atti del III Convegno Nazionale ATI "Gruppi Combinati Prospettive Tecniche ed Economiche", Bologna, vol.1, pp.337-355.
3. E.Jannelli (1987) Analisi teorico-sperimentale degli effetti dei sensori e degli attuatori sul funzionamento dei motori a combustione interna a controllo elettronico. Contributo ad una ottimizzazione stocastica dei consumi e delle emissioni. Tesi di Dottorato in "Ingegneria delle Macchine".
2. E.Jannelli, M.Gambino, E.Raimo e G.Rizzo (1985) The effects of sensors and actuators precision on the performance of an open-loop control system of a s.i. internal combustion engine. Atti del 40° Congresso Nazionale ATI, Trieste, vol.1, sez.I, pp.107-121.
1. E.Jannelli, G.Rizzo (1984) Gli effetti delle dispersioni delle caratteristiche di funzionamento dei sensori e degli attuatori sulla ottimizzazione di un m.c.i. a controllo elettronico. Memoria presentata al 39° Congresso Nazionale ATI, L'Aquila.