

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

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

1. STRUTTURA ORGANIZZATIVA E DI RICERCA

Per ogni soggetto proponente, descrivere la struttura organizzativa e fornire indicazioni sul management; fornire inoltre una dettagliata descrizione della struttura produttiva (ove applicabile) e della struttura dedicata ad attività di ricerca e sviluppo. Infine, fornire elementi validi per la valutazione dell'adeguatezza della o delle unità locali nelle quali verrà realizzato il progetto di ricerca.

Università degli Studi di Genova - UNIGE

Struttura organizzativa:

L'Università degli Studi di Genova (UNIGE) è una delle più antiche tra le grandi università europee con oltre 250 percorsi di studio distribuiti tra le sedi di Genova e i poli universitari di Imperia, Savona e La Spezia. Attualmente sono presenti oltre 4300 ricercatori, di cui più di 1200 docenti, 450 assegnisti e post-doc. Sono al momento attivi 28 corsi di dottorato e 45 spin-off. Sono state sviluppate 70 domande di brevetto negli ultimi 5 anni e gestiti 28M Euro/anno per oltre 200 progetti di ricerca attualmente attivi. UNIGE raccoglie una popolazione studentesca di oltre 32000 allievi distribuiti nelle 5 Scuole di: Scienze Naturali; Scienze Mediche; Scuola Politecnica; Scienze Sociali; Scienze Umanistiche.

Per questo Progetto verranno coinvolti 3 Dipartimenti della Scuola Politecnica (DICCA, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale; DITEN, Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni; DIME, Dipartimenti di Ingegneria Meccanica, Energetica, Gestionale e dei Trasporti) e 1 della Scuola di Scienze Naturali (DCCI, Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale).

Management:

Le 4 unità lavoreranno in sinergia mediante incontri periodici di aggiornamento e pianificazione delle attività. Verranno compilati dai Team Leader, in accordo coi tempi previsti di sviluppo del progetto, dei report e inviati al PI. I dati di progetto saranno gestiti, trasferiti tra i membri dell'unità e con i partner di progetto tramite una cartella apposita sul server del dipartimento del PI, che assicura la sicurezza nella gestione dei dati ed il rispetto delle norme sulla privacy.

Descrizione della struttura:

Nel DICCA si svolgono ricerche d'eccellenza nei settori della meccanica delle strutture, dei solidi e dei fluidi, ingegneria sismica, geotecnica, geomatica, idraulica marina e idrologia, ingegneria dei materiali, elettrochimica, chimica industriale, catalisi, sviluppo e modellazione di impianti e processi chimici, alimentari e biotecnologici.

Il DICCA è anche dotato di un Sistema Integrato che comprende diversi Laboratori Specialistici, alcuni istituiti per legge fino dal 1939, altri definiti Altamente Qualificati nell'Albo dei Laboratori di Ricerca autorizzati dal MIUR. Tutti i laboratori sviluppano attività sperimentale a supporto della ricerca scientifica, didattica e dell'attività di consulenza che il DICCA svolge nei confronti di Enti pubblici e privati. Tali laboratori, e relativi spazi ed infrastrutture, possono essere utilizzati da dottorandi e docenti del Dipartimento e possono essere anche fruibili da studentesse/studenti per lo svolgimento di tesi di laurea e per attività esterne oltre che per eventi di divulgazione. In questo contesto nel maggio 2020 è stato inoltre istituito un laboratorio congiunto con Ecospray Technologies

presso la nuova sede genovese di tale società. Il laboratorio, denominato CAPLAB - Launching Electrochemical Cells for Carbon Capture and Energy Transition, è finalizzato allo sviluppo di tecnologie per la produzione pulita di energia, la cattura della CO₂ e la promozione del vettore idrogeno e si auspica possa essere occasione di positive ricadute di immagine, occupazionali e di sviluppo industriale per il territorio.

Il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale - DCCI - dell'Università di Genova nasce nel 1996, in seguito all'unione dei quattro Istituti Chimici attivi nella Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali (Chimica Generale, Chimica Industriale, Chimica Fisica e Chimica Organica). Il Dipartimento consiste in un'unica struttura sita in Via Dodecaneso 31, e al momento comprende 47 membri permanenti tra professori e ricercatori, 18 tecnici, 10 impiegati amministrativi e 27 giovani ricercatori (dottorandi e titolari di assegni di ricerca).

Al DCCI afferiscono il corso di laurea triennale in Chimica e Tecnologie Chimiche ed i corsi di laurea magistrale in Scienze Chimiche, in Chimica Industriale ed in Scienza e Ingegneria dei Materiali; inoltre il DCCI è dipartimento associato per il corso di laurea triennale in Scienza dei Materiali. ed il corso di laurea magistrale in Metodologie per la Conservazione e il Restauro dei Beni Culturali. Al DCCI afferiscono anche gli insegnamenti di discipline chimiche di diversi corsi di studio. Presso il DCCI sono operanti i corsi del Dottorato in Scienze e Tecnologie della Chimica e dei Materiali e diversi corsi di Master.

Per lo svolgimento delle attività di ricerca il DCCI è articolato in cinque Sezioni: Chimica Analitica e Ambientale, Chimica Fisica, Chimica Industriale, Chimica Inorganica e Metallurgia e Chimica Organica. Le molteplici attività di ricerca nei vari settori della chimica si avvalgono di una vasta e moderna dotazione strumentale e si svolgono spesso nell'ambito di collaborazioni interdisciplinari. Le attività sono articolate su progetti di ricerca - diverse decine ogni anno, per un totale di due-tre milioni di euro - finanziati dall'Ateneo genovese, dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica, dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, dalla Comunità Europea e da vari gruppi industriali nazionali ed internazionali. Il Dipartimento ospita Unità Operative di importanti Consorzi Nazionali Interuniversitari e del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide.

Il Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, Gestionale e dei Trasporti (DIME) dell'Università di Genova nasce nel 2012 ma le sue origini sono assai più remote e datano nella tradizione degli studi dell'Ingegneria Industriale e Meccanica, nell'eredità culturale degli Istituti di Fisica Tecnica, Impianti e Tecnologie Meccaniche, Meccanica Applicata alle Macchine, Macchine, Matematica per Ingegneria, Trasporti, attivi nella Facoltà di Ingegneria di Genova fino dagli anni 50. Il Dipartimento è caratterizzato da forte multidisciplinarietà nei campi dell'Energetica, dell'Ingegneria Gestionale, dei Trasporti e dei Modelli Matematici Applicati grazie a aree di assoluta eccellenza nella ricerca di base e applicata, accordi internazionali di ricerca e formazione con primarie università e centri, presenza nelle sedi di Genova, Savona e La Spezia, laboratori di alta qualificazione.

Il Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Eletttronica e delle Telecomunicazioni (DITEN) è un organo dell'Università di Genova e, in quanto tale, ne raccoglie le caratteristiche di ente pubblico e ne assume obiettivi, finalità, diritti e doveri. Il DITEN assicura lo svolgimento di attività didattiche ed è sede di attività scientifica, promuovendo e sostenendo l'attività di ricerca dei propri docenti. In particolare, il DITEN è composto da gruppi di ricerca che si occupano dei diversi aspetti dell'Information and Communication Technology, dell'ingegneria elettrica e dell'ingegneria navale. Ogni gruppo è composto da docenti, ricercatori e collaboratori esterni. Il DITEN dispone inoltre di una rete efficiente di laboratori utilizzati per la ricerca e l'insegnamento. L'organizzazione del DITEN e la sua flessibilità permettono un efficiente processo di innovazione e trasferimento tecnologico verso le realtà industriali. Il DITEN, anche grazie alle collaborazioni con enti di ricerca nazionali ed internazionali, è inoltre riconosciuto a livello internazionale, ed in particolare nell'ambito della Comunità Europea, come istituzione in grado di effettuare ricerca innovativa e di fornire didattica di alto livello.

Adeguatezza delle unità di ricerca:

Il gruppo del DCCI ha vasta esperienza nello sviluppo di modelli di simulazione multiscale per reattori chimici ed elettrochimici. La simulazione delle celle SOFC e' stata sviluppata e approfondita a partire dal livello microscopico dei singoli elettrodi, per raggiungere il livello macroscopico della cella e dell'intero impianto. In parallelo alle celle SOFC, sono stati studiati altri reattori elettrochimici, come ad esempio gli elettrolizzatori. Inoltre, recentemente lo studio è stato esteso anche ai reattori multitubolari per lo steam reforming del metano. Anche in questo caso il modello è multiscale, ed è stato sviluppato in COMSOL Multiphysics (di cui è disponibile licenza base con toolbox 'Chemical Reaction Engineering'). Il modello include una valutazione dettagliata delle prestazioni del catalizzatore, che viene simulato simultaneamente al singolo tubo e alla fornace. Il modello è il primo nel suo genere a sviluppare una simulazione 'fully coupled' sui tre livelli di dettaglio (catalizzatore, tubo, fornace). I risultati sono stati convalidati con dati sperimentali provenienti da un reattore industriale (raffineria IPLM, di Busalla, GE) in un'ampio range di condizioni operative.

Il gruppo del DCCI ha anche esperienza sullo sviluppo di modelli di simulazione per la definizione delle proprietà dei materiali. Tale parte del gruppo, ha studiato ossidi di cerio variamente drogati; esso è specializzato nella sintesi

e nella caratterizzazione mediante diffrazione di raggi X, sia utilizzando strumenti di laboratorio che luce di sincrotrone, sia mediante spettroscopia Raman. Lo scopo del gruppo di ricerca è di determinare composizione, dimensione degli ioni droganti e microstruttura in grado di aumentare la stabilità della struttura di tipo fluorite, massimizzando in tal modo conducibilità ionica. Dal 2009 i membri dell'unità UNIGE hanno ricevuto finanziamenti per circa 20 esperimenti presso varie strutture di radiazione di sincrotrone (Elettra, ESRF, PSI), in qualità di coordinatore scientifico. Le proposte sono state approvate dopo la selezione da un gruppo di esperti internazionali.

Il gruppo del DIME ha competenze nel campo della fluidodinamica, dal punto di vista sia teorico che sperimentale. Dal punto di vista sperimentale, il gruppo gestisce un laboratorio per lo studio della combustione, equipaggiato con attrezzature avanzate (LIF). Dal punto di vista teorico, il gruppo ha una lunga esperienza nella simulazione numerica per turbomacchine e nella fluidodinamica industriale, e ha sviluppato codici e piattaforme software CFD per la progettazione e l'analisi di turbomacchine.

Il laboratorio Network Infrastructures and Critical Electrical Systems (NICES) del DITEN dell'Università di Genova, ha una vasta esperienza che comprende la modellazione e la simulazione di reti elettriche, la modellazione di sistemi di potenza, il controllo e la protezione, l'integrazione di fonti di energia rinnovabili nel sistema elettrico, i sistemi di gestione dell'energia e le smart grids.

Università degli Studi di Milano - UNIMI

Struttura organizzativa

L'Università degli Studi di Milano (UNIMI), fondata nel 1924, è un ente pubblico destinato all'insegnamento e alla ricerca, presente nei maggiori ranking internazionali, e l'unico ateneo italiano a essere membro della Lega delle Università di Ricerca Europee (LERU) che raccoglie le 21 più prestigiose Università dell'Unione Europea. Con un corpo di circa 2.000 docenti e con quasi 60.000 studenti, UniMI è la più grande università in Lombardia. UniMI offre diversi programmi di studio, raggruppabili in tre macro-aree disciplinari: scienze umanistiche, sociali e della legge, medicina e sanità, scienze naturali.

L'ampia gamma di materie di insegnamento, attualmente composta di 137 corsi di Laurea breve e 9 corsi di Laurea a ciclo unico, 57 corsi di Master, 21 scuole di Dottorato di Ricerca, e diversi corsi di Perfezionamento professionale, attrae studenti provenienti da tutta Italia e dall'estero.

L'Ateneo ha la meritata reputazione di essere una delle università europee più seriamente impegnate nella ricerca, sia di base che applicata; le attività di ricerca sono svolte nell'intera gamma di settori scientifico-disciplinari presenti nell'istituzione. Le attività di ricerca sono condotte in 31 Dipartimenti e 62 Centri di ricerca e i risultati ottenuti sono attestati da una notevole quantità di pubblicazioni scientifiche (oltre 24.000 negli ultimi tre anni), più di 300 brevetti e 24 spin-off attivi. La Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR2015-19) recentemente conclusa posiziona il nostro Ateneo primo in Italia fra i grandi atenei per la qualità della ricerca del suo personale che non ha modificato ruolo nel periodo 2015-19 e secondo in Italia con riferimento al personale arruolato o reclutato, e di nuovo primo per quanto riguarda la sintesi di queste due dimensioni. Con riferimento ai ranking internazionali, quello effettuato dall'Università di Leiden nel 2021 colloca UNIMI al 5° posto in Italia e al 170° a livello mondiale.

Il Dipartimento di Chimica conta 82 unità di personale strutturato, che coprono tutte le discipline chimiche, 30 tecnici e 11 amministrativi. Lo staff è costituito al 57% da donne. Il Dipartimento ha competenze riconosciute internazionalmente nell'ambito della chimica di base ed applicata.

Management

L'unità di ricerca UNIMI afferrisce unicamente al Dipartimento di Chimica, rendendo particolarmente agevole la gestione tecnica ed amministrativa del progetto. Specificamente, l'unità è costituita da 9 ricercatori senior strutturati (>10 anni di esperienza), a cui si affiancheranno 4 ricercatori post-doc arruolati al 100% sul progetto. Questi ultimi avranno diversa esperienza (1 ricercatore esperto >3 anni di esperienza come post-doc, 3 con <3 anni di esperienza come post-doc) e competenze, per seguire i diversi aspetti della ricerca. In particolare uno sarà dedicato alla ricerca sperimentale sulla reazione di metanazione, uno al design di processo di questo step e valutazione economica, due alla caratterizzazione di materiali catalitici ed elettrocatalitici per le applicazioni previste.

Le attività saranno coordinate dal PI mediante team meeting settimanali di aggiornamento e pianificazione attività, le cui note confluiranno in report mensili inviati al PI di progetto e report ufficiali da inviare all'Ente finanziatore in occasione dei deliverables. Il PI, che coordinerà oltre al progetto anche le attività del OR3, sarà coadiuvato da due team leader che coordineranno le attività previste per l'OR1 (Prof. Marco Scavini) e l'OR8 (Prof. Carlo Pirola). La gestione tecnica del progetto verrà sviluppata utilizzando strumenti di pianificazione opportuni (ad esempio il

programma Click-UP è attualmente in uso al gruppo), per tenere traccia di scadenze, deliverables, milestones ed assegnare compiti e risorse.

I dati di progetto saranno gestiti, trasferiti tra i membri dell'unità e con i partner di progetto tramite una cartella apposita sul server del dipartimento (Chembox), che assicura la sicurezza nella gestione dei dati ed il rispetto delle norme sulla privacy.

Descrizione della struttura

La strumentazione disponibile presso il Dipartimento di Chimica include svariati reattori in flusso e batch con relativa strumentazione analitica, reattori MW e US, spettrometri NMR ed EPR, EFISH, diffrattometri a raggi X (per cristallo singolo e polveri), spettrometri di massa ad alta risoluzione, GC-MS ed LC-MS, spettrofotometri UV-Vis, FT-IR, Raman, fluorimetri, cromatografi GC e HPLC, polarimetri, profilometri, TGA-DSC-DT, XPS, ICP, CHN, SEM-EDS, AAS e vari strumenti di caratterizzazione elettrochimica, Size-exclusion chromatography, reometro. Per la deposizione di film e materiali avanzati: Ultra High Vacuum Thin Film Deposition, Screen-Stencil Printer deposition, Ink Jet Printer, Magnetron Sputtering Chamber, Spin Coaters.

È inoltre possibile l'accesso alle Piattaforme Tecnologiche di Atene, che raccolgono le grandi apparecchiature di ricerca, tra cui diffrattometri a raggi X, microscopi elettronici a scansione ed a trasmissione, spettrometri NMR, spettrometri di massa.

La dotazione computazionale include pacchetti specifici per la modellazione molecolare, cristallografica (VASP, CRYSTAL, QUANTUM ESPRESSO, SIESTA, MOLPRO, GAMESS, GAUSSIAN, MCTDH, OCTOPUS, DFTB+) e, su diversa scala, per il design e la simulazione di processo, la valutazione economica e il lifecycle assessment (AspenONE Engineering Suite, PROII, SimaPro).

Adeguatezza delle unità di ricerca

L'unità UNIMI raccoglie le seguenti expertise, meglio definite nei CV riportati nella Parte 3, Par.1.1.

Ilenia Rossetti, Carlo Pirola, Alberto Villa, Daniela Maggioni: sintesi, caratterizzazione e test di catalizzatori eterogenei. Esperienza pregressa nella produzione, stoccaggio ed uso di idrogeno da fonti rinnovabili (e.g. gassificazione biomassa, reforming di biocombustibili, produzione di metano sintetico, materiali per hydrogen storage, sintesi di vettori liquidi o gassosi per H₂). Coinvolti nel OR3 per la realizzazione di esperimenti di metanazione di CO₂ con H₂ green (sintesi e test di catalizzatori di metanazione; esecuzione di test cinetici).

Ilenia Rossetti, Carlo Pirola: design e simulazione di processo, valutazione economica, lifecycle assessment. Esperienza pregressa nel design di un processo di metanazione di CO₂ e di processi di produzione di vettori di H₂ liquidi (e.g. NH₃, CH₃OH). Esperienza nel design di sistemi di cattura e valorizzazione di CO₂. Coinvolti nel OR8 per la valutazione della fattibilità tecnica, economica e LCA della soluzione proposta.

Marco Scavini, Carlo Castellano, Daniela Maggioni: esperienza pregressa nella sintesi di materiali ceramici per l'energetica (e.g. elettroliti solidi per SOFC/SOEC, superconduttori cuprati), nella loro caratterizzazione tramite tecniche di luce di sincrotrone e di neutroni e di risonanza di spin elettronico, nello studio strutturale di ossidi multifunzionali quali perovskiti, piroclori e spinelli mediante EXAFS, XANES, scattering a piccolo angolo di raggi X e neutroni, presso "large scale facilities" (ESRF, Diamond, DESY, ILL, ISIS, Elettra) coinvolgendo gruppi di ricerca internazionali. Coinvolti in OR1 e OR3 per la caratterizzazione chimico fisica e strutturistica dei catalizzatori e dei materiali per metanazione e SOFC reversibili.

Alberto Vertova, Alessandro Minguzzi, Mariangela Longhi: esperienza pregressa nella sintesi e caratterizzazione di materiali per la conversione elettrochimica e foto-elettrochimica dell'energia; elettrochimica per l'ambiente, recupero e rigenerazione di reflui; studio dei processi di corrosione di metalli e leghe; elettrificazione dei processi chimici; nuovi dispositivi per elettroanalisi. Coinvolti in OR1 per la caratterizzazione elettrochimica dei materiali per SOFC reversibili e in OR8 per la verifica della fattibilità tecnica e LCA.

Oltre alla dotazione dipartimentale sopra esposta, l'unità UNIMI mette a disposizione del progetto le seguenti strutture di specifica pertinenza dei docenti interessati.

Ilenia Rossetti è responsabile di 5 laboratori, uno per la preparazione di catalizzatori (sintesi per pirolisi in fiamma, forni, muffole, ultracentrifuga, autoclavi, apparecchiature standard per sintesi sol gel e co-precipitazione), due per la caratterizzazione dei materiali (fisisorbimento, chemisorbimento, FT-IR), due per il test catalitico, che include 5 impianti da banco, 1 semipilota e 1 pilota abbinati ad appropriata strumentazione analitica (4 GC, 1 HPLC, 1 IC,

1 UV-Vis). È inoltre responsabile di un laboratorio di calcolo munito di server dedicato per design e simulazione di processo e relativa analisi economica (pacchetto AspenONE Engineering).

Carlo Pirola è responsabile di 3 laboratori, di cui il primo, un capannone di impianti pilota, è dedicato ai processi di separazione (colonne di rettifica con 15 piatti, colonne di assorbimento, apparecchiature per la determinazione della tensione di vapore e dei dati di equilibrio liquido-vapore, processi di adsorbimento con rigenerazione in situ dei materiali adsorbenti, purificazione e compressione di idrogeno a mix idrogeno-metano e relativa strumentazione analitica con 4 GC e 1 microGC), il secondo alla catalisi eterogenea con preparazione e test di catalizzatore per produzione di prodotti e fuels da materie prime rinnovabili (impianto bench-scale per la sintesi di Fischer-Tropsch o metanolo in continuo con microGC per analisi) e il terzo che consiste in una sala virtuale con software di calcolo e simulazione di processo (pacchetto AVEVA Pro II – dynsim) oltre che in postazioni di realtà virtuale immersiva aumentata tramite i software dynsim-eyesim di AVEVA per un impianto di Crude Distillation Unit. È inoltre “LCA expert” certificato (disponibilità pacchetto SimaPro).

Alberto Villa è responsabile di un laboratorio per la preparazione di catalizzatori (autoclavi, forno, ultracentrifuga, apparecchiature per la preparazione via immobilizzazione di sol, impregnazione, deposizione precipitazione), uno per gli strumenti per i test catalitici (autoclavi) e la strumentazione analitica (HPLC, GC).

Marco Scavini è responsabile di due laboratori, uno per la sintesi di materiali ceramici e trattamenti termici ad alte temperature in atmosfera controllata, l'altro di risonanza di spin elettronico. È disponibile uno strumento EPR Bruker ELEXSYS E500 operante in Banda X e provvisto di stages per le basse ed alte temperature, utile per la caratterizzazione dei materiali per metanazione ed IT-SOFC.

Carlo Castellano è co-responsabile del laboratorio di diffrazione di raggi X che include un diffrattometro Bruker APEX II da cristallo singolo. È inoltre “Principal Investigator” di proposals di assorbimento di raggi X e scattering di neutroni approvati presso “large scale facilities” internazionali.

Alberto Vertova e **Alessandro Minguzzi** hanno fondato il Laboratory of Applied Electrochemistry (ApE), che svolge un'ampia ed intensa attività di ricerca nelle applicazioni industriali della scienza e della tecnologia elettrochimica, ed in particolare nel campo della conversione energetica e della protezione e bonifica ambientale. ApE consta di 7 laboratori attrezzati per condurre misure di caratterizzazione elettrochimica tramite l'uso di 10 diversi potenziostati; un Frequency Response Analyzer; due bipotenziostati per uso Rotating Ring Disk Electrode e Scanning ElectroChemical Microscopy; 2 HPLC con detector UV e elettrochimico; 2 GC con detector FID e TCD; attrezzature per sintesi elettroorganiche (rotavapor, colonne, TLC), due microscopi ottici ed una lappatrice per la preparazione di provini di corrosione, elettrodi, ecc..

Mariangela Longhi è responsabile di tre laboratori, uno per la sintesi di materiali mediante pirolisi (con forni, stufe, miscelatore con controllo automatico dei flussi fino a tre gas) e via sol-gel (centrifuga, colonne di filtrazione). Uno per la caratterizzazione chimico fisica dei materiali, dotato di strumentazione per la determinazione in automatico del pH_{pzc} mediante titolazioni potenziometriche, pH-metri, voltmetri e conduttimetri, e caratterizzazione elettrochimica, con potenziostati, elettrometri, bipotenziostato, elettrodi a disco rotante e anello-disco. Infine un terzo laboratorio per la determinazione dell'area superficiale e della distribuzione di porosità dei catalizzatori dotato di un Tristar II Micromeritics.

Daniela Maggioni è responsabile di un laboratorio per la caratterizzazione dei materiali, dotato di ATR-FTIR, UV-vis e DLS accessorio di potenziale-zeta.

Università degli Studi di Padova – UNIPD

Descrizione della struttura

Dipartimento di Scienze Chimiche (DiSC): laboratorio di sintesi, laboratorio di caratterizzazione superficie specifica, laboratorio SEM/EDX, laboratorio di caratterizzazione XRD, laboratorio di caratterizzazione via chemisorbimento e fisisorbimento, laboratorio di studio funzionale (catalisi ed elettrocatalisi)

Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII): laboratorio di macchine termiche e aerauliche con cella prova motori a combustione interna e predisposizione per test di impianti di generazione di potenza con sistemi di combustione a biomassa

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali (DTG): laboratorio di prova motori a combustione interna.

Adeguatezza delle unità di ricerca

I laboratori del DiSC sono ben attrezzati per consentire la sintesi dei materiali richiesti; sono disponibili postazioni di sintesi sotto cappa aspirante e numerosi forni e muffole per consentire il trattamento termico in atmosfera

controllata; le strumentazioni per la caratterizzazione (Spettroscopie di fotoelettroni, XPS-UPS, microscopio elettronico con EDX, Diffrattometro con camera calda) sono a disposizione della prof. Glisenti il cui gruppo di ricerca ha competenza pluriennale nella progettazione, sintesi e caratterizzazione di materiali inorganici. Nel laboratorio di adsorbimento sono disponibili due strumenti basati su chemisorbimento (per Thermal Programmed Reduction, Oxidation, and Desorption) e fisisorbimento (per determinare area superficiale specifica, dimensione e volume dei pori, morfologia dei pori). Nel laboratorio di caratterizzazione funzionale sono disponibili due postazioni per lo studio catalitico con reattori che possono operare fino ad 800 °C, con qualsivoglia miscela di reagenti e che sono collegati con GC-MS, Quadrupolo e FTIR per consentire l'accurata determinazione dei prodotti di reazione. Vi sono anche due postazioni per lo studio Elettrochimico mediante Impedenza (EIS) con due tipologie di celle ad ossido solido: celle a camera singola per il test di celle simmetriche, e celle a camera doppia, per celle asimmetriche; in ambo i casi il sistema può essere alimentato con varie miscele di combustibili e/o comburenti ed i prodotti della reazione elettrochimica sono caratterizzabili con i metodi menzionati sopra. È possibile, nella postazione a camera doppia, anche operare in modalità elettrolizzatore (sempre con qualsivoglia miscela); in tutti i casi (SOFC e SOEC) i dispositivi possono essere fatti lavorare da temperatura ambiente fino ad 800 °C.

Sia i reattori che le celle elettrochimiche operano ad un elevato livello di automazione e sono controllabili da remoto.

I laboratori del DII e del DTG sono attrezzati per diverse tipologie di prova di funzionamento di motori a combustione interna alimentati anche con combustibili non convenzionali. Permettono oltre alla caratterizzazione delle prestazioni anche la misura di tutte le specie inquinanti previste dalle normative di omologazione dei veicoli automobilistici (nonché di altre non regolamentate). Nel laboratorio di macchine termiche e aerauliche, possono essere anche sperimentati impianti di potenza a combustione che implementano cicli termodinamici con fluido organico (ORC), oltre che diverse macchine a fluido usualmente integrate in detti impianti.

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

Per ogni soggetto proponente descrivere l'attività svolta.

Per le imprese, fornire indicazioni quantitative sul mercato di riferimento (fornendo anche eventuali fonti utilizzate) e l'attuale posizione del proponente nel suddetto mercato, rispetto ai principali competitor dei quali si dovrà fornire un adeguato dettaglio, nonché le previsioni per il successivo triennio. Deve essere indicato anche il fatturato del soggetto proponente nell'ambito del settore produttivo oggetto della ricerca. Fornire inoltre informazioni quali-quantitative del sistema competitivo con indicazione dei principali concorrenti. Dare indicazione sintetica dei principali accordi tecnici e/o commerciali, di licenze e brevetti detenuti.

Per gli organismi di ricerca, fornire gli elementi utili a descrivere l'attività rispetto al contesto di riferimento applicabile.

UNIGE

Il gruppo di ricerca UNIGE è attivo da molti anni nella modellazione e caratterizzazione strutturale di materiali, nello sviluppo di modelli di processi chimici, con particolare riferimento a quelli per la conversione di energia, nel campo della oxyfuel combustion, con dotazioni sperimentali e competenze modellistiche, nonché nell'integrazione di sistemi di conversione dell'energia in reti di distribuzione.

UNIMI

Il gruppo di ricerca di UNIMI è attivo nello sviluppo di catalizzatori, elettrocatalizzatori e nella relativa caratterizzazione. È disponibile esperienza ventennale nello sviluppo di *catalizzatori per la produzione di idrogeno* e per la sua conversione in piccole molecole che possano fungere da *vettori di idrogeno*, agevolandone stoccaggio e trasporto. Lo studio di catalizzatori per la produzione di idrogeno mediante steam reforming di materie prime rinnovabili (bioetanolo, glicerolo, biogas) risale all'anno 2006 ed è tuttora attivo. Parallelamente, dal 2008 al 2014 è stata sviluppata una ricerca (finanziata da enti pubblici ed aziende private) su un impianto dimostrativo su scala pilota comprendente un fuel processor (6 reattori contenenti ca. 1 kg di catalizzatore per pre-reforming di bioetanolo, steam reforming, water gas shift ad alta e bassa temperatura e metanazione selettiva del CO). L'impianto, alimentato con ca. 25 L/giorno di bioetanolo 96 vol% è in grado di produrre 5-7 Nm³/h di H₂ contenente < 20 ppm residui di CO. Il fuel processor è connesso ad una fuel cell di tipo PEM da 5 kW_{elettrici} + 5 kW_{termici}.

Dal 1999 ad oggi sono poi state attive linee di ricerca (con finanziamenti privati) per la produzione di NH₃, CH₃OH e CH₄ da H₂ prodotto da fonti rinnovabili, come *metodo per lo stoccaggio e la distribuzione di idrogeno utilizzando*

infrastrutture esistenti. Questi studi hanno sempre accoppiato da un lato la raccolta di dati sperimentali inerenti allo sviluppo e test di catalizzatori innovativi, basati su metalli non critici ed efficienti, in ottica di intensificazione di processo e miglior impiego delle risorse. Dall'altro lato sono stati sviluppati modelli computazionali di reattori, operazioni unitarie ed interi schemi di processo per dimostrare la fattibilità tecnica ed economica delle innovazioni proposte.

Inoltre il gruppo ha approfondito le *problematiche dello stoccaggio e distribuzione di H₂* sviluppando diverse soluzioni per piccola a grande scala. Le due opzioni tecnologiche prescelte sono 1) l'adsorbimento/assorbimento criogenico ad alta pressione (fino a 100 bar e 77K) in materiali microporosi a base di carbone, 2) la produzione di vettori di idrogeno caratterizzati da una rete di distribuzione e norme standard a livello globale. **Questo progetto applica questa seconda opzione, scegliendo in particolare il metano come vettore reversibile di idrogeno ed energia, vista la sua applicabilità su diverse scale e la rete infrastrutturale già disponibile che rende la possibile industrializzazione più realistica ed immediata. Inoltre, la metanazione di CO₂ mediante idrogeno "green" risponde pienamente ai requisiti del bando garantendo un impatto pressochè nullo o addirittura negativo in termini di emissioni di gas climalteranti.**

Questa *attività a 360° sulla produzione, stoccaggio, distribuzione ed uso di H₂* è valsa al PI Ilenia Rossetti il conferimento della medaglia Chiusoli nel 2016, conferita dalla Divisione di Chimica Industriale e dal Gruppo Interdivisionale di Catalisi della Società Chimica Italiana a uno scienziato italiano di età massima 45 anni, operante nei centri di ricerca sia accademici che industriali, che abbia portato contributi di particolare rilievo scientifico, innovativo o applicativo, nel settore della catalisi. La motivazione è stata "Per il suo approccio multidisciplinare, finalizzato allo sviluppo di processi altamente innovativi soprattutto nel campo della produzione e utilizzo di H₂".

UNIPD

DiSC – L'attività di ricerca riguarda la progettazione, la sintesi e la caratterizzazione, anche funzionale, di polveri inorganiche a base ossidica, di particolare interesse in questo progetto è lo sviluppo di SOC reversibili. In particolare, nell'ambito del DiSC sono state sviluppate diverse opportunità per la caratterizzazione delle superfici attive, caratterizzazioni strutturali e morfologiche di materiali anche nanodimensionali, ed è quindi possibile mettere in relazione i risultati delle caratterizzazioni con il comportamento funzionale per comprendere profondamente gli aspetti legati alla mobilità dell'ossigeno ed all'influenza di sintesi e trattamenti su tale mobilità e dunque con la risposta chimica ed elettrochimica dei materiali ossidici. Per quanto riguarda gli aspetti di studio funzionale sono particolarmente sviluppate le competenze relative alla catalisi termica, elettrocatalisi, e fotocatalisi. I metodi di sintesi sviluppati sono tutti metodi sostenibili che si svolgono in soluzione acquosa e che risultano facilmente esportabili all'ambito industriale.

DII - L'attività di ricerca del prof. Lazzaretto al DII riguarda il progetto, l'analisi numerica e sperimentale di sistemi per l'energia e per la sua conversione, oltre che il progetto e l'analisi di componenti. Tali attività trovano supporto e complemento nell'attività di ricerca del prof. Masi al DTG. Si evidenzia in particolare l'esperienza di simulazione e sperimentazione di combustione di idrogeno in turbine a gas.

DTG – L'attività di ricerca del prof Masi riguarda principalmente il progetto termo-fluidodinamico e la sperimentazione di macchine a fluido, oltre che i problemi di modellazione e simulazione di fenomeni fluidodinamici caratteristici del funzionamento dei componenti su cui i sistemi per l'energia di basano per il loro funzionamento. Tra le altre competenze condivise con il prof. Lazzaretto, si evidenzia l'esperienza nella combustione di idrogeno in turbine a gas.

II^a PARTE: ELEMENTI DESCRITTIVI DEL PROGETTO

1. TITOLO E DURATA DEL PROGETTO

Indicare il titolo del progetto e la sua durata in mesi, non inferiore a 12 e comunque non oltre il 31.12.2025

(nota bene: i progetti devono essere avviati successivamente alla presentazione della domanda di agevolazioni e, comunque, pena la revoca, non oltre 3 mesi dalla data del decreto di concessione; per data di avvio del progetto di ricerca e sviluppo si intende la data del primo impegno giuridicamente vincolante a ordinare attrezzature o di qualsiasi altro impegno che renda irreversibile l'investimento oppure la data di inizio attività del personale interno).

Titolo: Stoccaggio e distribuzione di idrogeno attraverso una strategia “power-to-gas/gas-to-power” con cattura ed utilizzo completi del carbonio - Hydrogen storage and distribution through power-to-gas strategy, with full carbon capture and utilization

Durata: 36 mesi. Indicativamente dal 01/09/2022 al 31/08/2025

2. AMBITO TECNOLOGICO

Indicare la tematica al cui sviluppo è finalizzato il progetto tra quelle indicate nell'Articolo 5, comma 1, dell'Avviso.

Descrivere brevemente gli elementi del progetto, indicando la finalità generale e le tecnologie applicate in relazione alla tematica indicata.

b) Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels, con particolare riferimento, indicativo e non esaustivo, ai seguenti ambiti:

Il progetto è finalizzato alla conversione di idrogeno “green” (ad es. prodotto da elettrolizzatori) in metano (gas naturale sintetico), al fine di agevolare la transizione ad un'economia basata sull'idrogeno sfruttando al massimo le infrastrutture e tecnologie (ad es. per la conversione dell'energia) attualmente esistenti. Il metano viene prodotto mediante reazione di metanazione partendo da CO₂ catturato da point sources (ad es. processi di combustione, impianti di produzione biogas, ecc.). Particolare attenzione sarà anche rivolta alla progettazione di un sistema integrato di 3 pipelines per l'utilizzo circolare ed in riciclo interno al processo di tutti i gas coinvolti (CO₂, CH₄, O₂), consentendo così un ciclo chiuso del CO₂ senza emissioni nette significative. Il prodotto finale sarà la dimostrazione di un sistema integrato per lo stoccaggio di “green-H₂” in forma di CH₄, sua distribuzione ed utilizzo, con verifica di fattibilità tecnico-economica, completa di lifecycle assessment, per le soluzioni proposte.

3. SINTESI

Fornire una sintesi del progetto di ricerca proposto.

Lo scopo del progetto è produrre e distribuire in modo facile ed efficiente H₂ prodotto da fonti di energia rinnovabile. Un primo stadio è costituito dallo sviluppo di un sistema power-to-gas (P2G) per la produzione di idrogeno “green” mediante un elettrolizzatore. Questo stadio verrà qui prevalentemente affrontato a livello di modellazione di dispositivi e sistemi. Sono infatti già commercializzati elettrolizzatori di diversa taglia basati su celle alcaline (AEC) o a elettrolita polimerico (PEM-EC) e questi verranno considerati per il design del processo integrato, onde consentirne un più rapido sviluppo a valle di questo progetto. Tuttavia, a livello più di ricerca di base, nel corso del progetto verranno studiati anche materiali e dispositivi per una tecnologia più efficiente ma meno sviluppata, basata su celle ad ossidi solidi (SO). In particolare si verificherà la possibilità di sviluppare celle che possano funzionare reversibilmente come elettrolizzatore (SOEC) e fuel cell (SOFC).

La produzione di H₂ “green” è seguita da un reattore di metanazione di CO₂ (reattore Sabatier) per produrre CH₄, ovvero gas naturale sostitutivo o sintetico (SNG). Questa è vista come una valida soluzione a breve termine ai problemi di distribuzione/stoccaggio di H₂ grazie alle infrastrutture già disponibili e alle misure di sicurezza per la distribuzione di CH₄, già ampiamente normata.

Il CO₂ necessario è fornito da processi di cattura di CO₂ abbinati a point source emissions. Esempi non esaustivi sono impianti di combustione o impianti di produzione biogas. Diverse soluzioni tecnologiche per la cattura di CO₂, basate su colonne di assorbimento ad acqua pressurizzata, con soluzioni acquose basiche o con adsorbenti solidi (ad es. pressure swing adsorption), sono in rapida evoluzione ed implementazione su impianti di diversa scala.

Parallelamente a questa soluzione lineare, con approvvigionamento esterno di CO₂ catturata, si valuterà una soluzione circolare costituita da un'estensione della rete del gas naturale con l'aggiunta di un nuovo gasdotto per il trasporto di CO₂ e un ulteriore gasdotto che trasporta l'O₂ co-prodotto dall'elettrolizzatore. In questo modo, il SNG prodotto dal reattore Sabatier, ovvero il vettore di stoccaggio H₂ viene trasportato nella linea del GN già esistente, cui si affiancano le due nuove linee di trasporto (locale) di CO₂ e O₂ in modo perfettamente circolare e ad emissioni virtualmente nulle. Uno scopo più ambizioso del progetto è quindi dimostrare la fattibilità tecnica ed economica di un concetto di rete di distribuzione di gas a tre gasdotti (3PGG, 3-Pipelines Gas Grid), consistente nel potenziamento della rete di distribuzione del gas naturale (GN) esistente, con le due nuove linee per O₂ e CO₂. In questo modo, il 3PGG viene utilizzato per lo stoccaggio di energia e idrogeno puro quando è disponibile l'energia elettrica in eccesso da una fonte rinnovabile. Valutazioni del tutto preliminari portano ad una stima per la

realizzazione di 3PGG pari al 10-30% dei costi di costruzione e gestione di una pipeline di distribuzione diretta di H₂. La verifica realistica della fattibilità tecno-economica e dell'impatto ambientale sarà uno dei risultati più ambiziosi del progetto.

Infine si procederà a verificare diverse ipotesi di utilizzo del vettore di H₂ (CH₄), sia dal punto di vista sperimentale che modellistico. Si studieranno quindi diverse alternative per lo stadio Gas-to-Power (G2P) di fornitura all'utenza.

Una prima applicazione considera il suo impiego diretto in fuel cells ad ossidi solidi (SOFC). La scelta di questa tecnologia è dettata da un lato dalla maggior efficienza (>55%) rispetto ad altre tipologie, ma soprattutto alla semplificazione del dispositivo, che potendo elaborare direttamente CH₄ come combustibile, evita il ricorso ad un fuel processor per la sua riconversione in H₂, che si renderebbe invece necessario nel caso si impiegassero celle operanti a temperature inferiori. Il CO₂ emesso durante il funzionamento della SOFC può essere alternativamente catturato con un processo di assorbimento/adsorbimento idoneo (e poi riutilizzato nel reattore di Sabatier), ovvero può essere inserito in pipeline se si adotta un concetto di tipo 3PGG. Il progetto, come anticipato sopra, si focalizzerà sullo sviluppo e caratterizzazione di materiali per SOFC operanti a temperatura intermedia (IT-SOFC, 600-800°C) e dei relativi dispositivi in grado di operare in modo reversibile, cioè come elettrolizzatore nello stadio P2G e come cella a combustibile per lo stadio G2P. Uno dei risultati finali del progetto sarà costituito proprio dall'integrazione di un elettrolizzatore, reattore di metanazione e fuel cell per verificare parametri di funzionamento, durata e possibili criticità di un sistema così integrato.

Una seconda strategia G2P sarà l'oxy-fuel combustion, Anche questa tecnologia si presta particolarmente bene al sequestro e riutilizzo di CO₂ (e quindi anche all'idea di 3PGG) qui proposti. Infatti, consente di eseguire la combustione con O₂ (dall'elettrolizzatore e/o dalla rete 3PGG) del CH₄ (diluiti con CO₂ per un miglior controllo termico), invece della combustione con aria, producendo un gas di combustione composto solo da CO₂ e vapore. Quest'ultimo può essere rimosso facilmente per condensazione ed il CO₂ puro può quindi essere reimpresso nel 3PGG o ritrasformato direttamente in metano nel reattore di metanazione a seconda delle rispettive collocazioni degli impianti.

Si osservi come la stechiometria di reazione sia perfettamente bilanciata, cioè teoricamente non è previsto accumulo di CO₂. In altre parole, l'idea sviluppata in questo progetto offre un'opportunità unica per trasferire energia da un vettore all'altro, ad esempio trasferire C dal gasdotto CH₄ al gasdotto CO₂ e viceversa, senza mai rilasciarlo nell'atmosfera, con un processo continuo di cattura e utilizzo di idrogeno e carbonio.

Dal punto di vista sperimentale si svilupperanno e testeranno sistemi su piccola scala, < 1 kW, mentre lo sviluppo modellistico ed il design di un sistema integrato si concentrerà principalmente su una configurazione a isola di dimensioni 10-100 kW (dimostrativi di laboratorio e scala pilota) e 1-10 MW (scala commerciale).

Infine si procederà all'ottimizzazione multi-obiettivo, alla valutazione della fattibilità economica ed alla valutazione di impatto ambientale delle soluzioni proposte.

4. FINALITA'

Descrivere la finalità del progetto rispetto allo scenario di riferimento del settore di ricerca e alle direttrici della ricerca e sviluppo nello stesso (fornendo eventuali fonti utilizzate per la determinazione delle proprie ipotesi), con particolare riguardo al contenuto di nuove conoscenze scientifiche e tecnologiche e di sostenibilità ambientale nell'ambito della tematica indicata, e al contributo al raggiungimento delle finalità perseguite dalla misura.

Scenario di riferimento e direttrici della ricerca e sviluppo

Nel 2018, la domanda mondiale di energia è aumentata del 2,3%, quasi il doppio del tasso di crescita medio dal 2010. Il Gas Naturale (GN), prevalentemente costituito da CH₄, ha contribuito per ca. il 45% [IEA. Global Energy & CO2 Status Report. Paris, France: 2019], associato a emissioni record di CO₂ di 33, 1 Gt, aumentate dell'1,7% rispetto al 2017. Un ulteriore aumento della domanda di energia fino al 48% è previsto entro il 2040 [Younas M, Loong Kong L, Bashir MJK, Nadeem H, Shehzad A, Sethupathi S. Energy and Fuels 2016;30:8815–31.]. D'altra parte, sono ora urgenti misure severe per invertire il trend delle emissioni di CO₂ e la recente cronaca ha anche evidenziato, se ce ne fosse bisogno, la necessità di una maggior indipendenza energetica. Il rapporto dell'IEA [IEA. Global Energy & CO2 Status Report. Paris, France: 2019] delinea che, entro il 2050, per rispettare l'accordo di Parigi è necessaria una riduzione delle emissioni annuali di gas serra dell'85% al di sotto dei livelli del 1990. Le tappe intermedie sono la riduzione delle emissioni nell'UE del 40% entro il 2030 e del 60% entro il 2040, secondo la "Low Carbon Roadmap" e la "Energy Roadmap" [Navarro JC, Centeno MA, Laguna OH, Odriozola JA. Catalysts 2018;8:1–25].

In questo quadro è pienamente riconosciuto il ruolo dell'idrogeno come vettore energetico producibile da diverse fonti primarie e/o materie prime (quindi in linea di principio ubiquitario ed adattabile alle caratteristiche locali) e sostenibile dal punto di vista ambientale, visto che il suo impiego in processi ossidativi (combustione diretta o impiego in fuel cells) vede acqua come prodotto diretto. Le altre emissioni sono correlate essenzialmente al processo di produzione, stoccaggio e trasporto di H₂. Nonostante gli indubbi vantaggi, esistono alcune criticità che al momento limitano la diffusione di tecnologie energetiche basate sull'idrogeno, sia per applicazioni mobili, sia stazionarie. Ad esempio, con un'energia di accensione inferiore rispetto alla benzina o al GN, l'idrogeno ha un ampio intervallo di infiammabilità in aria, quindi per un impianto di stoccaggio e distribuzione di H₂ la ventilazione e il rilevamento delle perdite sono un aspetto essenziale. All'interno degli impianti sono necessari anche speciali rilevatori di fiamma poiché H₂ brucia con una fiamma quasi invisibile. Inoltre, la selezione del materiale per immagazzinamento e distribuzione di H₂ è importante poiché alcuni metalli diventano fragili se esposti all'idrogeno. Infine, l'idrogeno richiede l'impiego di personale altamente specializzato sulle procedure di sicurezza; tutti i sistemi impiegati nella lavorazioni devono essere sottoposti ad un monitoraggio costante e testati per rilevare eventuali perdite e altri potenziali problemi. Pertanto, l'idrogeno rappresenta un combustibile sicuro e pulito, idoneo a traghettare l'Europa verso un futuro più verde, ma, affinché non rimanga solo una visione utopistica, una delle principali sfide da vincere consiste nello sviluppo di sistemi pratici per immagazzinare e distribuire H₂, oltre ai materiali idonei a supportarne lo stoccaggio su larga scala, che siano conformi a tutti i principi di protezione dalle esplosioni. Anche le specifiche normative devono essere allineate alle diverse applicazioni. **Tutto ciò richiede tempo non trascurabile di sviluppo, e questo inevitabile ritardo logistico rischia di inibire e rallentare anche lo sviluppo di tecnologie di produzione di H₂ "green", ad esempio elettrolizzatori o fuel processors basati su materie prime rinnovabili, ed i metodi di conversione di idrogeno in energia** (ad esempio le celle a combustibile).

Questo progetto è quindi finalizzato a trasformare H₂ "green" in un vettore facilmente trasportabile in modo capillare, come il metano, che ha un sistema normativo e logistico per trasporto, distribuzione ed immagazzinamento meno critici e già ampiamente disponibili in modo pressoché ubiquitario. Un ulteriore vantaggio dell'approccio qui proposto è la produzione di CH₄ "green" riducendo CO₂ con H₂ prodotto da Fonti Energetiche Rinnovabili (FER), ottenendo quindi un impatto elevatissimo in termini di sequestro e riutilizzo di CO₂.

Catturare la CO₂ è tecnicamente fattibile, ma il costo della cattura dipende dalla pressione parziale della CO₂ [Ghaib K, Ben-Fares FZ. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;81:433–46]. I processi di combustione convenzionali sono effettuati con aria, contenente il 79% di N₂, il quale rappresenta anche il componente principale dei gas post-combustione mentre la concentrazione di CO₂ si attesta 9,5%, il che rende la cattura del carbonio tecnicamente difficile e costosa. Questo è il motivo per cui la cattura di CO₂ dai gas di scarico non è ampiamente implementata al giorno d'oggi. Un'alternativa ancora migliore è offerta dalle strategie di utilizzo della CO₂ (Carbon Capture and Utilisation, CCU). *Tra le opzioni attualmente disponibili, la tecnologia preferibile è la conversione catalitica in CH₄ tramite metanazione di CO₂ (reattore Sabatier).* Questo converte una miscela di alimentazione di CO₂ e H₂ in CH₄ (Synthetic NG, SNG), che può quindi essere iniettato nella rete di distribuzione del GN [Götz M, Lefebvre J, Mörs F, McDaniel Koch A, Graf F, Bajohr S, et al. *Renew Energy* 2016;85:1371–90]. Tuttavia, la redditività e la compatibilità ambientale dipendono dalla fornitura di H₂. Oltre al costo dell'H₂, un altro inconveniente è il costo della compressione e del trasferimento della CO₂ dai siti di cattura ai siti di utilizzo. Pertanto, nel complesso, questa tecnologia è ancora sottoutilizzata (300 MtCO₂/a) e sono necessarie indagini sulle prestazioni tecnico-economiche, sul meccanismo di attuazione e sulle politiche governative.

Un modo per aggirare il problema è lo sfruttamento di FER [Dincer I. *Renew Sustain Energy Rev* 2000;4:157–75], che non coinvolga processi di combustione e non provochino emissioni di CO₂. Tuttavia, a causa della natura intermittente delle FER, molto spesso la domanda e l'offerta di energia non sono sincronizzate. Di conseguenza, è necessario sviluppare anche tecnologie di accumulo di energia. In questo contesto è stato proposto il concetto di Power-to-Gas (P2G) [O'Shea R, Wall DM, McDonagh S, Murphy JD. *Renew Energy* 2017;114:1090–100], alimentando l'energia elettrica in eccesso durante i picchi di produzione a una cella elettrolitica (EC), per produrre H₂ e O₂ dall'acqua. L'Hydrogen Council ha stimato che, entro il 2030, un surplus di energia da FER tra 250 e 300 TWh sarà disponibile per la conversione in H₂, che, durante i picchi di domanda dalla rete elettrica, genererebbe nuovamente 200 TWh di elettricità [Rozzi E, Minuto FD, Lanzini A, Leone P. *Energies* 2020;13:420.].

Tuttavia, le problematiche di accumulo e distribuzione di H₂ limitano di fatto lo sviluppo di questi processi a basso impatto ambientale. L'opzione alternativa consiste nell'accoppiare un EC con la metanazione della CO₂ [Ghaib K, Ben-Fares FZ. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;81:433–46.]. Tale reazione trarrebbe vantaggio dal contesto P2G. Nelle regioni in cui esiste un'infrastruttura GN, come nell'UE, il concetto P2G è un'opzione promettente per

immagazzinare l'energia FER in eccesso sotto forma di SNG [Ghaib K, Ben-Fares FZ. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;81:433–46.]. La capacità di stoccaggio mondiale totale di GN è di 3600 TWh, ben superiore alla produzione mondiale di energia elettrica del 2018 da energia eolica e solare (rispettivamente 1273 TWh e 554 TWh [International Energy Agency. *Renewables Information - Overview (2020 Edition)*. IEA Stat 2020:497]).

Tuttavia, alcune sfide rimangono aperte:

- Il GNL distribuito attraverso la rete a metano verrebbe comunque utilizzato principalmente per la normale combustione in aria, ad esempio nei tradizionali processi Gas-to-Power (G2P), per rialimentare la rete elettrica durante i picchi di domanda. Questa combustione produrrebbe CO₂, richiedendo ancora costose tecnologie di cattura del carbonio da miscele diluite;
- il trasporto su strada di CO₂ dal luogo di cattura alla rete distribuita dei reattori di metanazione, può avere un impatto negativo sull'economia e l'impatto ambientale dell'intero processo;
- dal lato P2G, l'O₂ prodotto dalla CE non sta attirando molta attenzione, e il suo destino principale è il rilascio in atmosfera;

Questo progetto mira ad affrontare le sfide sopra descritte. Viene proposta un'indagine ad ampio raggio, incentrata innanzitutto sulla verifica di un sistema integrato elettrolizzatore, metanazione di CO₂, utilizzo del metano per la produzione di potenza, che sia facilmente implementabile nel breve termine (10 anni). Inoltre, come obiettivo più ambizioso si valuterà la fattibilità di costituzione di un sistema di 3 pipelines (3 Pipelines Gas Grid), un concetto innovativo e ambizioso per la distribuzione circolare ed a circuito chiuso del carbonio, azzerando virtualmente le emissioni di CO₂ nell'atmosfera. Il concetto 3PGG offre un nuovo contesto che consente contemporaneamente: 1) una distribuzione efficiente di CO₂ ai sistemi P2G e 2) utilizzo in tecnologie G2P di CH₄ e O₂ puri. In particolare si valuteranno le alternative dell'oxy-fuel combustion (OFC) e l'utilizzo diretto di CH₄ in celle a combustibile ad Ossidi solidi (IT-SOFC). Entrambi questi processi consentono la cattura semplice e ad alta efficienza del CO₂ prodotto.

Finalità del Progetto

- 1) Dimostrazione della produzione di CH₄ da CO₂ (proveniente da processi di cattura o dalla 3PGG) e H₂ "green";
- 2) L'H₂ verrà reso disponibile da un processo di elettrolisi, che co-produce O₂;
- 3) Il CH₄ prodotto verrà utilizzato in processi G2P, in particolare in una IT-SOFC e in un processo di combustione oxy-fuel, entrambi con recupero diretto di CO₂;
- 4) Il sistema integrato EC-Metanatore-SOFC verrà assemblato e dimostrato sperimentalmente durante il progetto;
- 5) Il sistema OFC verrà dimostrato sperimentalmente durante il progetto;
- 6) L'impianto integrato verrà progettato con opportuni modelli matematici su diverse scale (pilota per il follow up diretto del progetto in un dimostratore su scala intermedia, 10 kW, e commerciale, 1-10 MW, per la valutazione di fattibilità techno-economica e LCA).

Si studierà anche la possibilità di investire su una nuova configurazione della rete gas (Figura 1), 3PGG, è composta da 3 "pipelines" parallele che trasportano rispettivamente CH₄ (esistente), O₂ e CO₂ (di nuova realizzazione e minor costo e criticità di una pipeline per H₂). La 3PGG rappresenta un potenziamento della rete GN esistente, pensata inizialmente per una configurazione ad isola.

La Figura 1 mostra un sistema P2G connesso al 3PGG. La FER, da un lato, è collegata alla rete elettrica, in modo che, quando la domanda di energia è elevata, la potenza venga consumata in loco e/o convogliata alla rete elettrica. La FER è anche accoppiata ad un sistema P2G, formato da un EC accoppiato ad un reattore Sabatier. Quando la richiesta di energia dalla rete elettrica è bassa, l'energia elettrica in eccesso è trasmessa alla EC, con produzione di H₂ e O₂. Una delle novità è il modo in cui il sistema P2G è collegato alla rete del gas. Infatti, l'O₂ viene convogliato alla "pipeline" O₂ del 3PGG, e l'H₂ al reattore di metanazione insieme al CO₂, che viene prelevato dalla "pipeline" CO₂ del 3PGG. Il SNG prodotto dal sistema P2G viene convogliato alla "pipeline" CH₄ del 3PGG, che garantisce l'accumulo e la distribuzione di energia in forma chimica. Una simulazione effettuata per il lato P2G [Costamagna P. *Energy Convers Manag* 2021;229:113739], mostra che, con una cella elettrolitica alcalina (AEC) commerciale, l'efficienza del sistema P2G è di circa il 52%. Sono attualmente allo studio altri tipi di elettrolizzatori, ad ossidi solidi (SOEC), operanti a temperature più elevate [Godula-Jopek A, editor. *Hydrogen Production by Electrolysis*. Wiley-VCH; 2015]. C'è infatti una tendenza generale, anche per gli AEC, ad aumentare la temperatura, per aumentarne l'efficienza [Ebbesen SD, Jensen SH, Hauch A, Mogensen MB. *Chem Rev* 2014;114:10697–734].

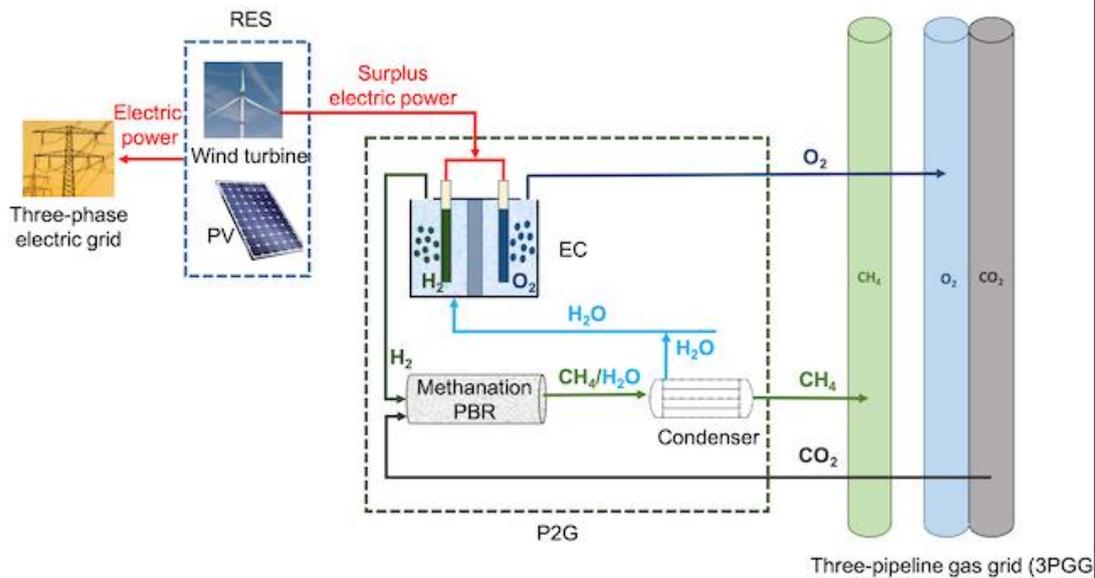


Figure 1

In una seconda fase, quando la domanda di energia elettrica è elevata, un sistema G2P rialimenta la rete elettrica. La prima opzione G2P qui considerato è un ciclo con turbina a gas, rappresentato in Figura 2. Le differenze principali rispetto a un normale ciclo con turbina a gas, sono nel fluido di lavoro del bruciatore e nel ciclo di alimentazione. Solitamente l'aria trasporta sia l'ossidante (O_2) sia il componente principale del fluido di lavoro (N_2 più i prodotti della combustione). Qui, l' O_2 puro, prelevato dal 3PGG, consente una combustione oxy-fuel, in cui il CO_2 fornito sempre dalla 2PGG può essere utilizzata come specie inerte, per ridurre la temperatura di combustione e creare le condizioni per una combustione stabile. Studi precedenti hanno dimostrato la fattibilità dell'ossicombustione di CH_4 in presenza di CO_2 [Vandel A, Chica Cano JP, de Persis S, Cabot G. *Exp Therm Fluid Sci* 2020;113:110010]. Un vantaggio è la compatibilità ambientale, poiché non si formano NO_x e le emissioni di CO sono minime se l' O_2 è vicino allo stechiometrico. Tale opzione G2P consente inoltre di separare facilmente il CO_2 dal vapore acqueo prodotto mediante sua condensazione a valle della turbina. In questo modo, il CO_2 puro viene immediatamente catturato per essere nel 3PGG, senza la necessità di costose strategie di sequestro.

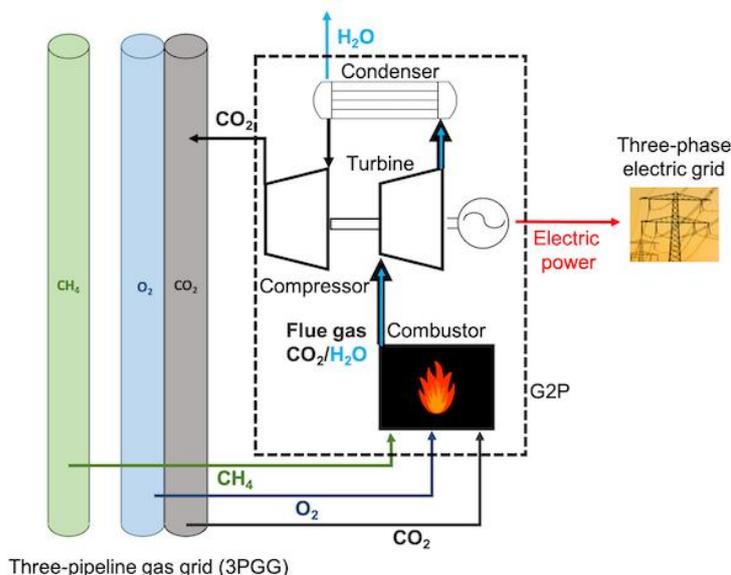


Figure 2

La seconda opzione G2P è l'IT-SOFC (Figura 3). Il 3PGG dovrebbe dare nuovo slancio alle IT-SOFC. Grazie al 3PGG, il lato catodico dell'IT-SOFC può essere alimentato con O_2 puro, e questo dovrebbe aumentare le prestazioni, a causa di due fattori chiave: l'aumento della tensione reversibile (tensione di Nernst) e la diminuzione nelle perdite di attivazione del catodo. Considerando che le perdite di attivazione del catodo sono la principale

fonte di perdita nelle IT-SOFC, si prevede che il nuovo contesto 3PGG offrirà una modalità operativa ad altissima efficienza. Sul lato anodico, l'IT-SOFC beneficia dell'elevata purezza del SNG (nessun composto di zolfo, nessun idrocarburo superiore). SNG/H₂O è proposta come miscela di alimentazione. È stato dimostrato che l'internal reforming di CH₄ è praticabile nelle IT-SOFC (600-800°C). Nel compartimento dell'anodo, il reforming interno produce localmente H₂, che è il principale reagente della reazione elettrochimica, con contributi aggiuntivi dall'ossidazione elettrochimica di CO e CH₄. La composizione del gas all'uscita del lato anodico è costituita principalmente da H₂O e CO₂ (con H₂ e CO residui). Anche qui, una facile separazione del CO₂ si ottiene attraverso la condensazione del vapore acqueo.

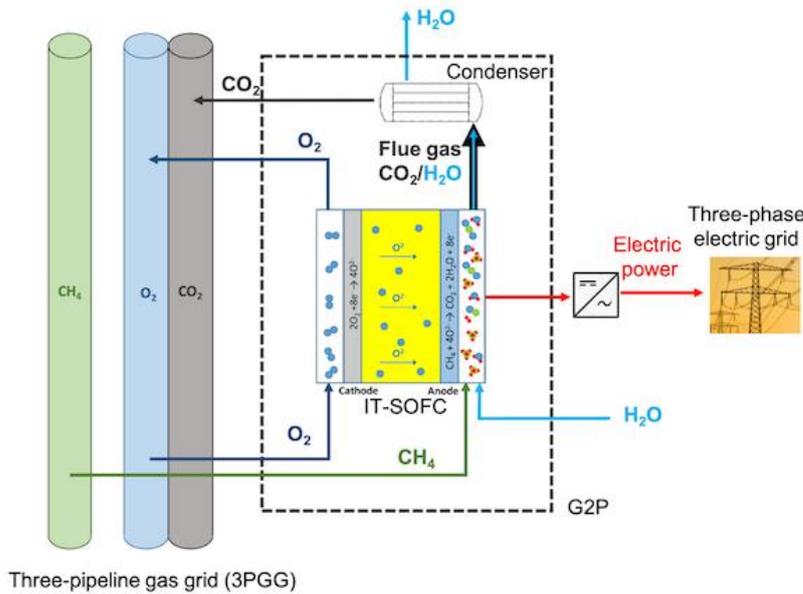


Figure 3

| EC | Sabatier reactor | IT-SOFC | Combustor |
|---|--|--|---|
| $4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + 2\text{O}_2$ | $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ $4\text{H}_2 + 4\text{CO}_2 \rightleftharpoons 4\text{CO} + 4\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ $4\text{CO} + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ $4\text{CO} + 2\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2$ $4\text{H}_2 + 2\text{O}_2 \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $4\text{CO} + 2\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2$ $4\text{H}_2 + 2\text{O}_2 \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}$ |

La Tabella mostra che le reazioni che nel bruciatore e nell' IT-SOFC, sono esattamente l'inverso delle reazioni che si verificano nell'EC e nel reattore Sabatier di metanazione. Di conseguenza, il carbonio viene reversibilmente trasportato dalla pipeline CH₄ alla "pipeline" CO₂ e viceversa, senza mai essere rilasciato nell'atmosfera. L'operazione complessiva 3PGG è quindi formalmente uno schema ad emissioni zero di C.

L'attenzione sarà focalizzata su una configurazione a isola di dimensioni 1-10 MW. Questa configurazione sfrutta appieno l'elevata purezza del SNG prodotto sul lato P2G, particolarmente importante per l'IT-SOFC. I risultati verranno ridimensionati da 10-100 kW per progettare un dimostratore su scala pilota per l'ulteriore implementazione del progetto qualora la fattibilità economica su larga scala fosse dimostrata. Durante il progetto una certa attenzione sarà dedicata anche alla configurazione "grid connected", ovvero considerando che il SNG prodotto dal P2G viene iniettato nella rete esistente di NG fossile nella versione base dell'idea progettuale. In quest'ultimo caso si perde il vantaggio della purezza del SNG, che richiede una purificazione aggiuntiva (rimozione dei composti solforati e degli idrocarburi superiori) prima di essere immesso nell'IT-SOFC. In questo contesto verrà studiato il sequestro di CO₂ su larga scala e la purificazione del NG per uso in SOFC.

Altro elemento di interesse, è l'integrazione del 3PGG nel sistema elettrico, attraverso un EMS (Energy Management System) in grado di ottimizzarne il funzionamento rispetto agli obiettivi di sostenibilità. Questo progetto prenderà in considerazione l'integrazione in una grande "microgrid" (un'area urbana o un distretto cittadino), che rappresenta il trend di evoluzione più promettente del settore energetico.

Innovazione apportata dal progetto in questo ambito

- Dimostrazione su scala di laboratorio (TRL4) di un sistema integrato P2G-G2P
- Progetto e dimostrazione fattibilità tecno-economica ed LCA di un sistema integrato P2G-G2P
- Progetto e dimostrazione fattibilità tecno-economica ed LCA di un sistema 3PGG, di concezione inesistente al momento
- Integrazione con rete GN attuale e rete elettrica.

Contributo del progetto al raggiungimento delle finalità perseguite dalla misura

Il progetto risponde a 360° alla misura di investimento proposta. In particolare, la misura M2C2, Investimento 3.5 “*Ricerca e sviluppo sull'idrogeno*” prevede di sostenere le attività di ricerca e sviluppo incentrate sull'idrogeno nei seguenti filoni:

- produzione di idrogeno verde e pulito; *qui si produrrà H₂ da elettrolizzatori*
- tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed elettrocarburi; *qui si trasformerà in vettore H₂ in vettore CH₄ per sfruttare la rete esistente di distribuzione ed accelerare quindi lo sviluppo delle tecnologie correlate*
- celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità; *qui si utilizzerà in CH₄ prodotto in IT-SOFC di nuova concezione, da utilizzarsi reversibilmente anche come elettrolizzatori.*
- sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno. *Sviluppo del concetto di 3PGG e del sistema P2G-G2P integrato con le reti esistenti.*

La misura deve sostenere la produzione di **idrogeno elettrolitico** a partire da fonti di energia rinnovabile ai sensi della direttiva (UE) 2018/2001 o dall'energia elettrica di rete, oppure attività legate all'idrogeno che soddisfino il requisito di **riduzione delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita** del 73,4 % per l'idrogeno [che si traduce in 3 t CO₂eq/t H₂] e del 70 % per i combustibili sintetici a base di idrogeno rispetto a un combustibile fossile di riferimento di 94 g CO₂eq/MJ, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001

Questi obiettivi sono ampiamente raggiunti sulla base di calcoli preliminari, ma verranno quantificati precisamente nel OR8 mediante valutazione LCA.

5. OBIETTIVO FINALE DEL PROGETTO

Descrivere l'obiettivo finale a cui il progetto è diretto. Devono essere evidenziate le nuove conoscenze a cui si ambisce, le principali problematiche tecnico-scientifiche per conseguire l'obiettivo finale nonché le soluzioni previste. Descrivere la capacità del progetto di introdurre dei contenuti innovativi radicali nei settori oggetto della ricerca.

Obiettivo

Il progetto vuole dimostrare un processo circolare in cui l'idrogeno viene stoccato e distribuito in forma di metano, utilizzando l'infrastruttura di distribuzione già esistente in Italia ed Europa.

Le caratteristiche salienti dell'idea progettuale sono le seguenti:

- 1) L'idrogeno “green” viene prodotto tramite un sistema power-to-gas, P2G, mediante una tecnologia elettrolitica a partire da acqua e viene co-prodotto O₂. Quest'ultimo viene distribuito via pipeline (investimento da stimare nella valutazione economica) o con altro mezzo idoneo di trasporto, all'utilizzatore descritto a punti 4 e 5. Vista la disponibilità commerciale di celle elettrolitiche alcaline o a membrana polimerica, la modellazione del sistema integrato farà riferimento a tali soluzioni già sul mercato, per accelerare lo sviluppo della tecnologia. Si considererà invece nello stadio 4), a livello di

ricerca su scala di laboratorio, la reversibilità di celle con elettrolita ad ossidi solidi come prelude per l'importante attività di sviluppo di SOEC (Solid Oxide Electrolyser Cell)

- 2) L'idrogeno "green" viene impiegato per la produzione di metano "green" mediante metanazione catalitica di CO₂ (MET). Quest'ultimo è ottenuto come prodotto facilmente separabile dalle utenze descritte nei punti 4-5, o più in generale è ottenibile da processi di cattura di CO₂ che non sono studiati sperimentalmente in questo progetto, ma vengono inclusi nella modellazione del sistema integrato ed analisi economica (diversi scenari).
- 3) Il metano "green" viene distribuito nella rete nazionale esistente o può essere trasportato mediante metodi di trasporto normati e convenzionali al sito di utilizzo. Ciò consente importanti semplificazioni logistiche e di investimento infrastrutturale rispetto a metodi di stoccaggio e distribuzione diretta di idrogeno. Il metano verrà impiegato come vettore energetico per due applicazioni nella co-generazione di potenza e calore, descritte nei punti 4 e 5.
- 4) Una cella a combustibile di tipo IT-SOFC (Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell) utilizza il metano per co-generare potenza elettrica e termica nello stadio Gas-to-Power (G2P), da distribuire all'utenza locale in forma di co-generazione centralizzata (distribuzione in rete elettrica e termica) o distribuita. Prodotti di reazione sono acqua e CO₂, quest'ultimo viene separato in un condensatore ed inviato al metanatore tramite una pipeline dedicata (investimento da stimare nella valutazione economica) o altro mezzo idoneo di trasporto.
- 5) Un secondo sistema G2P, basato su oxyfuel combustion (OFC), utilizza il metano "green" per cogenerazione centralizzata (distribuzione in rete elettrica e termica). L'ossigeno necessario è fornito dall'elettrolizzatore (punto 1), prelevato dalla pipeline. Prodotti di reazione sono acqua e CO₂, quest'ultima viene separata in un condensatore ed inviata al metanatore tramite la pipeline dedicata indicata sopra.
- 6) Al sistema esistente di distribuzione gas naturale via pipeline si propone l'affiancamento di due ulteriori condotti di distribuzione, uno per il prelievo dal punto di produzione, trasporto ed erogazione all'utenza di O₂ e CO₂. Queste due pipeline aggiuntive hanno requisiti normativi e di sicurezza meno stringenti rispetto alla realizzazione di una pipeline di trasporto idrogeno. Le problematiche di gestione del trasporto di O₂ puro nei tubi verranno ovviate con l'alimentazione di idonee quantità di CO₂ (da ottimizzare in corso di progetto). Questa soluzione elegante e che virtualmente chiuderebbe completamente il ciclo del carbonio, garantendo emissioni nulle o limitate, andrà valutata per fattibilità techno-economica e confrontata con soluzioni logistiche più convenzionali per il trasporto.

Il progetto vuole quindi dimostrare la fattibilità dello stoccaggio e trasporto di idrogeno "green" mediante la realizzazione di un impianto integrato P2G/G2P, a cui affiancare lo studio di fattibilità di una pipeline dimostrativa a 3 vie (CH₄, O₂, CO₂). Il progetto punta ad una dimostrazione su scala < 1 kW dal punto di vista sperimentale. I dati raccolti verranno usati per la definizione di modelli robusti per la simulazione delle apparecchiature ed impianti (AEC/PEM, MET, SOFC-reversibile, OFC) e della relativa rete di distribuzione gas su taglie commerciali (10-100 kW per dimostratore pilota, 1-10 MW per taglia commerciale).

Al termine delle attività si predisporrà una stima preliminare della fattibilità economica, come base per il follow-up dimostrativo su scala pilota e commerciale. Inoltre si effettuerà una valutazione d'impatto sul ciclo di vita (LCA), con particolare attenzione alla mitigazione dell'emissione di gas climalteranti. A tal proposito si sottolinea che, al netto della conferma sperimentale e modellistica dell'efficienza complessiva del sistema, si prevede un riciclo completo del CO₂ prodotto senza emissioni nette dal processo. Analogamente, si stima una circolarità in linea di principio totale di H₂ e O₂ prodotti elettroliticamente.

Nuove conoscenze

Il progetto introduce nuove conoscenze tecnico-scientifiche nei seguenti ambiti. Tali conoscenze verranno sviluppate e trasferite ai giovani ricercatori specificamente arruolati nel progetto, che quindi costituiranno un significativo contingente di esperti per lo sviluppo della soluzione tecnologica proposta.

- Definizione principi di funzionamento del sistema integrato 3PGG
- Sviluppo di materiali per elettrodi reversibili SOFC/SOEC
- Sviluppo di catalizzatori di metanazione, del relativo reattore e comprensione dell'effetto dei parametri operativi sul controllo termico del reattore (studio di stabilità)
- Integrazione del sistema di produzione e distribuzione gas con il sistema di produzione di potenza
- Sviluppo di nuovi metodi di modellazione stazionaria, dinamica e di ottimizzazione (applicata a dispositivi innovativi e di emergente interesse)
- Sviluppo di algoritmi dedicati per la valutazione economica preliminare e di dettaglio per dispositivi emergenti

Problematiche tecnico scientifiche e soluzioni

Una disamina dei rischi connessi alle specifiche attività ed il relativo contingency plan sono riportati al paragrafo 7.2 nella descrizione dettagliata degli OR.

Innovazione prevista

Il progetto apre la strada alle seguenti innovazioni che, da una landscape analysis della letteratura brevettuale mondiale consentono piena brevettabilità di parte della componentistica e della soluzione integrata:

- Proof of principle sistema integrato 3PGG con diverse opzioni G2P
- Dimostrazione a TRL4 (scala di laboratorio) di un sistema integrato P2G/G2P
- Nuovi elettrodi reversibili per SOFC/SOEC
- Nuovi catalizzatori e reattore per metanazione.

6. RESPONSABILE DEL PROGETTO

Fornire i riferimenti ed allegare CV.

Prof. Gianguido Ramis, Dip. Ingegneria Chimica, Civile e Ambientale, UNIGE

Gianguido Ramis, nato a Genova nel 1959, è professore associato di Fondamenti Chimici per le Tecnologie presso il DICCA dell'Università di Genova e attualmente titolare di insegnamenti nei CdS di Ingegneria Chimica e di Processo, Ingegneria Elettrica, Ingegneria Meccanica, e Ingegneria Nautica.

Laureato in Chimica Industriale nel 1985 è stato abilitato, nello stesso anno, alla Professione di Chimico. Nel 1992 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Chimica Industriale e dal 2001 ha preso servizio come professore associato nel SSD CHIM07, abilitato ASN per la prima fascia.

Considerando la banca dati SCOPUS (maggio 2022) è autore di 164 lavori, con 10737 citazioni totali (9416 senza autocitazioni di tutti gli autori) e l'H-index è pari a 52. Con riferimento agli ultimi 5 anni, la maggioranza delle pubblicazioni è apparsa su riviste appartenenti alla top10 in termini di impatto nei relativi settori.

Ha partecipato ai lavori di varie commissioni per Valutazioni Comparative e a varie commissioni, in Italia e all'estero. È stato relatore e correlatore di numerose Tesi Triennali, Magistrali e di Dottorato.

Visiting professor presso l'Università UNAM di Città del Messico, ha partecipato ad accordi di collaborazione internazionale con vari partner stranieri e fa parte di varie commissioni organizzative. Guest Editor di special issues su riviste con impact factor e membro dell' International Advisory Board di "Catalysts" (IF = 3.444).

INTERESSI DI RICERCA

L'esperienza acquisita nei primi anni di attività scientifica nell'interpretazione degli spettri FT-IR in situ di polveri pure trattate in condizioni controllate, è stata poi trasferita alla caratterizzazione dei siti attivi superficiali e allo studio dei meccanismi di reazione. Inizialmente i processi maggiormente studiati sono stati la SCR degli NO_x con NH₃, l'ossidazione parziale degli idrocarburi, la combustione catalitica di idrocarburi e di VOC. Da oltre 20 anni, un importante oggetto di ricerca è stato la **produzione di H₂ da risorse rinnovabili e storage di H₂ su materiali adsorbenti o mediante produzione di vettori di idrogeno**. Dal 2010 ha consolidato una intensa collaborazione con l'Università Statale di Milano indirizzando l'attività di ricerca anche nel campo della fotocatalisi e della modellazione di processo.

RESPONSABILITÀ DI PROGETTI

Responsabile scientifico di una unità di ricerca per il PRIN 2002 "Catalizzatori innovativi per reforming del metanolo particolarmente adatte all'alimentazione di celle a combustibile PEMFCs", di Euro 53.800. Coordinatore nazionale Prof. U. Costantino (UniPG).

Responsabile scientifico di una unità di ricerca per il PRIN 2004 "Caratterizzazione dei centri attivi superficiali di materiali a basi di idrotalciti sintetiche, fosfati e ossidi misti per la conversione del metanolo in miscele ricche di idrogeno e a basso tenore di monossido di carbonio" di Euro 50.000. Coordinatore nazionale Prof. U. Costantino (UniPG).

Responsabile scientifico di una unità di ricerca per il PRIN 2006 "Caratterizzazione superficiale dei catalizzatori e di studio dell'attività catalitica nello steam reforming dell'etanolo" di Euro 47.875. Coordinatore nazionale Prof. U. Costantino (UniPG).

Responsabile scientifico di una unità di ricerca per il PNR-FIRB 2007-2010 "Impiego di radiazioni ionizzanti e di tecniche di fotochimica e nanochimica per la modificazione di Materiali nell'industria degli pneumatici", di euro 60.000. Coordinatore nazionale Prof. A. Turturro (UniGE).

Responsabile scientifico di una unità di ricerca nella cornice dell'accordo quadro Regione Lombardia-INSTM (2010-2011) "Materiali innovativi per la Produzione di H₂ da Fonti Rinnovabili", di Euro 13.440. Coordinatore nazionale I. Rossetti (UniMI).

Responsabile scientifico di una unità di ricerca in un progetto finanziato da Fondazione Cariplo (2015, durata 36 mesi), "DeN – Innovative technologies for the abatement of N-containing pollutants in water" di Euro 35.000 gestito da INSTM. Coordinatore nazionale I. Rossetti (UniMI).

Responsabile scientifico di una unità di ricerca per il PRIN 2015 "HEterogeneous Robust Catalysts to Upgrade Low valuE biomass Streams (HERCULES)" di Euro 51.000, con decorrenza dal febbraio 2017 e durata di 36 mesi. Coordinatore nazionale A. Vaccari (UniBO).

Responsabile scientifico dell'unità di ricerca dell'Università di Genova di INSTM per il progetto "SCORE - Solar energy for circular CO₂ photoconversion and chemicals regeneration" (2022-2025), finanziato da CARIPLO nell'ambito del bando "Economia Circolare – 2021" di Euro 300.000. Coordinatore nazionale I. Rossetti (UniMI).

Nell'ambito di tutti questi progetti, è stato responsabile di assegni o contratti di ricerca attribuiti a personale altamente qualificato.

7. OBIETTIVI REALIZZATIVI DEL PROGETTO

Articolare il progetto in obiettivi realizzativi per un numero massimo pari a 10, da raggiungere solo nel caso di particolari complessità e comunque da rispettare anche nel caso di progetto congiunto.

Indicare nella tabella seguente ciascun obiettivo realizzativo (OR) considerando che:

- *in caso di progetti congiunti, gli obiettivi devono essere riferiti al singolo soggetto proponente. Non possono esserci obiettivi realizzativi che prevedono lo svolgimento di attività da parte di più soggetti proponenti.*

| OR | Soggetto proponente | Titolo OR |
|------------|----------------------------|--|
| OR1 | UNIMI | Sviluppo e caratterizzazione materiali per SOFC reversibile |
| OR2 | UNIPD | Dimostrazione sperimentale G2P(P2G): cella a combustibile SOFC reversibile (scala di laboratorio) |
| OR3 | UNIMI | Dimostrazione sperimentale metanazione (MET) |
| OR4 | UNIGE | Dimostrazione sperimentale G2P: oxyfuel combustion (OFC) |
| OR5 | UNIGE | Sviluppo di modelli in stato stazionario e dinamico (EC-MET-SOFC) |
| OR6 | UNIGE | Integrazione tra la tri-fase gas e la tri-fase elettrica |
| OR7 | UNIPD | Modelli di ottimizzazione multi-obiettivo di sistemi multi-energia che integrano la rete tri-fase gas e i dispositivi per la metanazione e l'elettrolisi |
| OR8 | UNIMI | Conclusioni fattibilità tecnica, economica e lifecycle assessment (LCA) |

Per ogni Obiettivo Realizzativo indicato nella tabella compilare sinteticamente i 3 moduli seguenti:

7.1. DESCRIZIONE DELL'OBBIETTIVO REALIZZATIVO

| |
|--|
| <p><i>Riportare il titolo dell'Obiettivo Realizzativo, il soggetto preposto alla sua realizzazione, i luoghi di svolgimento ed una sintetica descrizione dell'Obiettivo Realizzativo, che deve comprendere tutte le attività necessarie al suo raggiungimento riferite all'attività di ricerca fondamentale.</i></p> |
| <p>OR1 - Sviluppo e caratterizzazione materiali per SOFC reversibile – UNIMI</p> <p><u>Descrizione</u></p> <p>Ci si propone di ottimizzare materiali elettrolitici ed elettrodi per SOFC caratterizzandoli strutturalmente, spettroscopicamente ed elettrochimicamente. I materiali e le celle SOFC saranno caratterizzati presso sorgenti di luce di sincrotrone anche mediante misure in situ ed in operando.</p> |
| <p>OR2 - Dimostrazione sperimentale G2P/(P2G): cella a combustibile SOFC reversibile (scala di laboratorio) – UNIPD</p> <p><u>Descrizione</u></p> <p>Ci si propone di realizzare un dispositivo SOFC in grado di operare con metano diretto, idrogeno e miscele dei due combustibili. La cella avrà scala di laboratorio (circa 300 mm²). Sarà valutata la reversibilità ipotizzando l'uso di elettrodi utilizzabili sia in ambiente ossidante che riducente (TRL4).</p> |
| <p>OR3 - Dimostrazione sperimentale metanazione (MET) – UNIMI</p> <p><u>Descrizione</u></p> <p>Ci si propone di sviluppare una formulazione di catalizzatore attivo (>85% conversione di H₂) e selettivo (ca. 100% CH₄), testato su scala di laboratorio. Il prototipo di reattore andrà integrato con un elettrolizzatore commerciale di scala opportuna ed una SOFC (svilupata in OR2) per dimostrazione dell'impianto integrato su scala di laboratorio (TRL4).</p> |
| <p>OR4 - Dimostrazione sperimentale G2P: oxyfuel combustion (OFC) – UNIGE</p> <p><u>Descrizione</u></p> <p>Valutazione della combustione oxy-fuel mediante caratterizzazione sperimentale, affiancata da simulazione CFD. Lo studio sperimentale sarà volto a verificare la stabilità della fiamma, i limiti operativi e turndown ratios. In parallelo, verranno sviluppati e convalidati i relativi modelli CFD. I risultati costituiranno una base di studio per l'analisi del sistema G2P basato su una combustione oxy-fuel.</p> |
| <p>OR5 - Sviluppo di modelli in stato stazionario e dinamico (EC-MET-SOFC) - UNIGE</p> <p><u>Descrizione</u></p> <p>Si svilupperanno modelli a diversi livelli di dettaglio. I modelli di simulazione descriveranno le singole unità del sistema P2G e le integreranno in un flowsheet ottimizzato. Verranno inclusi i principali descrittori e saranno effettuati studi parametrici per ottimizzare le prestazioni delle singole operazioni unitarie e il loro schema di accoppiamento.</p> |
| <p>OR6 - Integrazione tra la tri-fase gas e la tri-fase elettrica - UNIGE</p> <p><u>Descrizione</u></p> <p>Elemento di interesse per questo obiettivo è lo studio di fattibilità e l'integrazione della 3PGG con la rete elettrica di potenza, trifase per definizione. Al fine di rendere possibile un aumento della penetrazione di energia rinnovabile nel sistema elettrico la 3PGG dovrà essere integrata in modo efficace alla rete elettrica per mezzo di un sistema di gestione energetica (EMS, energy management system) in grado di ottimizzare il funzionamento dei due sistemi rispetto a obiettivi di sostenibilità identificati durante lo svolgimento del progetto.</p> <p>Lo scenario di riferimento sarà l'integrazione del 3PGG in un micro-rete estesa (MG), rappresentativa di un distretto urbano/cittadino. Un micro-rete è un'aggregazione di produttori e consumatori di energia (elettrica e termica) che opera in modo coordinato sotto la gestione di un sistema di controllo centralizzato o distribuito, che prevede anche l'integrazione di fonti di generazione rinnovabile o innovativa come sistemi di accumulo. È quindi</p> |

evidente come queste strutture si prestino molto bene a interagire con la 3PGG per integrarla nell'energy mix dell'area in cui è realizzata. L'approccio dovrà inoltre essere esteso all'integrazione nella rete di trasmissione/distribuzione elettrica nazionale dove si prevedrà l'integrazione con grandi impianti rinnovabili, come eolico e fotovoltaico.

OR7 - Modelli di ottimizzazione multi-obiettivo di sistemi multi-energia che integrano la rete tri-fase gas e i dispositivi per la metanazione e l'elettrolisi - UNIPD

Descrizione

Implementazione di una piattaforma di calcolo per definire la configurazione (numero, tipo e taglia delle unità) e le modalità di funzionamento di multi-energy systems che includono al loro interno unità di conversione dell'energia qualsivoglia alimentate da fonti rinnovabili e fossili e unità di stoccaggio di diverse forme di energia, connesse con le esistenti e le possibili reti di distribuzione di energia elettrica, energia termica, e di gas con l'eventuale possibilità di adattamento di quest'ultima alla conversione, anche parziale, alla soluzione tri-fase gas. La piattaforma implementa una procedura di ottimizzazione dinamica stocastica.

OR8 - Conclusioni fattibilità tecnica, economica e lifecycle assessment (LCA) - UNIMI

Descrizione

Raccogliendo i risultati di tutti gli OR si trarranno conclusioni: a) sulla fattibilità tecnica dei sistemi P2G/G2P proposti e sulla loro integrazione, incluso il campo di condizioni operative ottimizzate; b) si ricaverà (prevalentemente da OR7) una stima preliminare dei costi di realizzazione di un impianto su scala pilota (10-100 kW), da proporre a stakeholders come passo successivo al presente progetto; c) sulla stessa scorta si valuteranno le condizioni al contorno, operative e la fattibilità economica di un'installazione su scala commerciale (1-10 MW) del sistema P2G/G2P e della possibile installazione 3PGG; d) si effettuerà un lifecycle assessment (LCA) complessivo, from-cradle-to-gate delle soluzioni proposte.

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

Descrivere le attività previste nell'Obiettivo Realizzativo, evidenziando i problemi progettuali da affrontare e le soluzioni scientifiche, teoriche e tecnologiche proposte. Devono essere indicate le risorse tecniche umane impiegate in funzione dell'Obiettivo Realizzativo da svolgere e i risultati specifici delle attività previste per il raggiungimento dell'obiettivo stesso. Nella "tabella 3" del Piano di sviluppo del progetto dovrà essere riportato il dettaglio del personale impiegato nel progetto.

OR1 - Sviluppo e caratterizzazione materiali per SOFC reversibile – UNIMI

Attività previste

T1.1 (m1-24) Preparazione e caratterizzazione chimico fisica di elettroliti ed elettrodi per celle a combustibile.

I materiali studiati saranno:

- Elettrolita. Ceria drogata dagli ioni trivalenti di terre rare (RE) $Ce_{1-x}RE_xO_{2-x/2}$, sarà studiata per il funzionamento delle SOFC nell'intervallo 400-600°C. Per aumentarne la conduttività ionica saranno seguiti due approcci differenti: (a) doppio drogaggio, con due differenti ioni RE^{3+} ; e (b) nanostrutturazione. nanoparticelle di dimensione 2-3 nm prodotte tramite il metodo a micelle inverse subiranno un processo rapido di densificazione sotto pressione.

- Anodo. Svilupperemo anodi in grado di funzionare con il metano come combustibile impiegando materiali a base di ceria ($Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$) e perovskiti LSGF ($La_{0.6}Sr_{0.4}Ga_{0.5}Fe_{0.5}O_{3-\delta}$). L'anodo sarà costituito da supporti nanocompositi (ceria e perovskite) con nanoparticelle metalliche (es. Ni o Cu) aventi conduttività mista ionico-elettronica e attività catalitica.

- Catodo. BSCF ($Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$) sarà sintetizzato allo stato solido, è molto attivo per la reazione di riduzione dell'ossigeno, a causa della sua elevata concentrazione di vacanze di ossigeno (Vo) e velocità di diffusione. Per superare la sua instabilità strutturale al di sotto dei 900°C drogheremo BSCF nel sito B usando cationi con stato di valenza fisso e/o ampio raggio ionico. Essendo Co tra le materie prime critiche, esploreremo la sua sostituzione con Cu.

I singoli componenti, le semicelle e le interfacce saranno oggetto di caratterizzazioni strutturali, di composizione, microscopiche/morfologiche e spettroscopiche mediante le tecniche/strumentazioni a disposizione presso UNIMI sotto descritte. Le caratterizzazioni forniranno un riscontro per l'ottimizzazione della sintesi dei materiali.

I materiali verranno forniti all'OR2 per la realizzazione dei dispositivi SOFC reversibili.

T1.2 (m6-33) Caratterizzazione elettrochimica di materiali e componenti assemblati per SOFC reversibili.

Si procederà alla caratterizzazione degli elettrodi formati dai materiali più promettenti per applicazioni a SOFC reversibili e dei materiali ceramici per la preparazione dell'elettrolita solido. La loro caratterizzazione elettrochimica sarà strettamente connessa con la loro stabilità nelle applicazioni previste dal presente progetto, e verrà condotta con le tradizionali tecniche elettrochimiche e con tecniche avanzate, ad esempio Scanning ElectroChemical Microscopy (SECM) ed Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Le prestazioni e la durata sia degli elettrodi sia dell'elettrolita solido saranno testate in base al livello di stress elettrochimico cui verranno sottoposti i materiali, evidenziando le possibili soluzioni per migliorare prestazioni e stabilità elettrochimica. Uno degli obiettivi sarà anche impostare e applicare procedure di test specifiche che forniscano segnali precoci di degrado delle prestazioni dei materiali. Da ultimo, si procederà alla scalabilità della preparazione sia degli elettrodi sia dell'elettrolita solido. Le caratterizzazioni forniranno un riscontro per l'ottimizzazione della sintesi dei materiali e del loro assemblaggio.

T1.3 (m9-36) Esperimenti presso sorgenti di luce di sincrotrone su materiali e componenti assemblati per SOFC reversibili

I singoli componenti, le semicelle e le interfacce saranno oggetto di accurati studi strutturali e spettroscopici presso sorgenti di luce di sincrotrone mediante tecniche di indagine locale come PDF (funzione di distribuzione a coppie) e XAS (Spettroscopia di assorbimento di raggi-X) sia a) in condizioni ambiente, sia b) nelle relative condizioni operative.

Le analisi al punto a) sono necessarie per determinare accuratamente la struttura e la struttura dei difetti (legati alle proprietà di trasporto ionico ed elettronico) in funzione delle composizioni e delle condizioni di sintesi. Le analisi *in situ* ed *in operando* al punto b) sono fondamentali per verificare l'evoluzione delle componenti isolate ed assemblate fra loro in funzione delle variabili termodinamiche ed elettrochimiche applicate (tensione e corrente), dell'atmosfera a contatto con essi, e del tempo. Le caratterizzazioni forniranno un riscontro per l'ottimizzazione della sintesi dei materiali e del loro assemblaggio.

Risk&contingency plan

Materiali con caratteristiche strutturali e microstrutturali o elettrochimiche inadeguate o inadatti ad interfacciarsi tra loro nelle condizione operative. Verrà mutata la composizione dei materiali elettrodi ed elettrolitici.

Apparecchiature

SEM/TEM, XRPD, XPS, NMR-MAS, EPR, Spettrofotometri UV-Vis-NIR, Spettrometro DLS (Dynamic Light Scattering), DSC/TGA, Forni fino a 1000 °C con controllo di gas, BET, SECM, microdispenser, FRA, potenziostati, bipotenziostati.

Da acquisire: Forno tubolare per alte temperature (1500°C) (per preparazione materiali per SOFC)

Personale

Scavini Marco (Team leader), Castellano Carlo, Maggioni Daniela, Mariangela Longhi, Alessandro Minguzzi, Alberto Vertova.

Risultati attesi

- Ottimizzazione anodi, catodi, elettroliti solidi e delle loro interfacce per temperature di esercizio 400-600 °C
- Compatibilità tra i materiali assemblati e buone prestazioni elettrochimiche nelle condizioni di esercizio
- Comprensione della relazione proprietà struttura dei materiali selezionati

Deliverables

D1.1 – m24 – Report sulla formulazione e caratterizzazione chimico fisica di materiali elettrodi ed elettrolitici per SOFC reversibili.

D1.2 – m33 – Report sulla caratterizzazione elettrochimica di materiali e componenti assemblati per SOFC.

D1.3 – m36 – Esperimenti presso sorgenti di luce di sincrotrone su materiali e componenti assemblati per SOFC.

Milestones

M1.1 – m12 – Scelta materiali anodici, catodici ed elettrolitici.

M1.2 – m36 – Completa caratterizzazione dei materiali isolati ed assemblati anche in condizione operative

OR2 - Dimostrazione sperimentale G2P(P2G): cella a combustibile SOFC reversibile (scala di laboratorio) – UNIPD

Attività previste

T2.1 (m1-12) Sviluppo di anodi attivi nell'ossidazione diretta di metano, idrogeno, e miscele dei due. Particolare cura sarà rivolta allo studio di anodi tolleranti nei confronti dell'avvelenamento da carbone e capaci di operare a temperatura intermedia (600-650 °C).

T2.2 (m13-24) Sviluppo di elettrodi capaci di operare in modo reversibile e stabili in condizioni ossidanti e riducenti.

T2.3 (m9-24) Assemblaggio di un dispositivo SOFC (scala di laboratorio, ca. 300 mm²) per il test dei materiali sviluppati in questo OR e da UNIMI in OR1. Il dispositivo sarà trasferito a UNIMI per il test del sistema integrato e le relative dimostrazioni di fattibilità (OR3 e OR8).

Risk&contingency plan

L'anodo non raggiunge le prestazioni elettrocatalitiche desiderate: maggiore attività e conducibilità saranno perseguite mediante l'impiego di materiali nanocompositi ottenuti per infiltrazione e/o exoluzione.

L'elettrodo non è compatibile con l'elettrolita; la composizione dell'elettrodo e dell'inchiostro saranno modificate.

Apparecchiature

Spettrometro a raggi X e UV per l'analisi di superfici (Thermo); Diffrattometro a raggi X con camera calda (Bruker); Microscopio elettronico a scansione con analisi a raggi X in dispersione (Zeiss); Chemisorbitore e fisisorbitor (Micromeritics); Spettroscopio di impedenza (Autolab), Gas Cromatografo con Spettrometria di Massa (Agilent), Spettroscopio IR a trasformata di fourier (Bruker) dotato di cella per gas (sensibile alle ppm) e di camera per la riflettanza diffusa per seguire i chemisorbimenti in operando. Forni tubolari e a muffola operanti fino a 1700 °C in atmosfera controllata.

Personale

Antonella Glisenti (Team leader), Stefano Agnoli, Christian Durante, Laura Calvillo.

Risultati attesi

- Sviluppo di almeno un anodo attivo con metano diretto/idrogeno
- Sviluppo di almeno un anodo ed un catodo operanti in modalità reversibile.
- Realizzazione di almeno un dispositivo completo, in scala di laboratorio, operante in condizioni operative.

Deliverables

D2.1 - m12 - Formulazione di una composizione anodica funzionale (Report)

D2.2 - m12 – Formulazione di una composizione catodica funzionale (Report)

D2.3 - m24 – Formulazione di un anodo e di un catodo reversibili (Report)

D2.4 – m24 – Sviluppo di un dispositivo in scala di laboratorio (Dimostratore). Invio a OR3 per test impianto integrato da parte di UNIMI.

Milestones

M2.1 – m24 – Realizzazione di un dispositivo attivo in metano diretto e resistente all'avvelenamento da carbonio (scala di laboratorio).

OR3 - Dimostrazione sperimentale metanazione (MET)

Attività previste

T3.1 (m1-12) Preparazione di catalizzatori per la metanazione di CO₂. I catalizzatori, 1-10% Ni supportato su Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂, CeO₂ o CeO₂-ZrO₂ saranno sintetizzati mediante tecniche di precipitazione, co-precipitazione, sol-gel e mediante flame pyrolysis in forma nanoparticellare. Il metallo sarà disperso ad hoc mediante impregnazione o sol-immobilisation, per massimizzare la dispersione e l'adesione al supporto.

T3.2 (m4-36) Caratterizzazione di catalizzatori per la metanazione di CO₂. I catalizzatori preparati verranno caratterizzati mediante analisi elementare ICP, porosimetria ed area superficiale, analisi strutturale XRPD, analisi morfologica SEM e TEM, composizione e stato di ossidazione superficiale XPS. Le stesse analisi verranno condotte anche sui catalizzatori esausti più interessanti dopo il test catalitico al fine di identificare possibili meccanismi di disattivazione. I campioni più promettenti saranno caratterizzati presso sorgenti di luce di sincrotrone anche mediante misure di diffrazione e di assorbimento *in situ* ed *in operando*.

T3.3 (m7-18) Test di metanazione di CO₂. Le prove catalitiche saranno effettuate su un reattore continuo da banco (0.2-1.5 g catalizzatore) in un campo di temperature 100-300°C, a pressione ambiente e con diversi rapporti di alimentazione tra CO₂ e H₂. Le concentrazioni di reagenti e prodotti verranno quantificate per via gas-cromatografica. Verranno quantificate la conversione e la selettività in funzione delle condizioni operative per identificare la formulazione più promettente. Si presterà attenzione al monitoraggio del gradiente termico lungo il letto catalitico e si faranno test ad hoc alimentando gas umido (con diverse % di vapore acqueo) come strategia di contenimento del hot-spot nel letto catalitico, anche in vista dell'implementazione nei modelli da svilupparsi nell'OR5 da parte di UNIGE.

T3.4 (m19-24) Prove di durata. Il catalizzatore migliore verrà scelto in base alla maggior resa di CH₄ e sottoposto a test in continuo per 90 giorni al fine di verificare la durata del materiale nelle condizioni di reazione. La prova proseguirà con cicli di disattivazione accelerata mediante surriscaldamento ciclico a 700°C per simulare l'effetto degli hot spot sulla sinterizzazione del catalizzatore. Infine si effettueranno prove di avvelenamento controllato alimentando impulsi di possibili veleni presenti nell'alimentazione (ad esempio composti solforati o azotati). Non si ritiene probabile la presenza di veleni dallo stream di H₂, né dal CO₂ se internamente ricircolato nel processo, ma in caso di approvvigionamento di correnti di CO₂ di altra provenienza (ad es. processi di combustione), la purezza potrebbe non essere ottimale. Si verificherà anche la resistenza del catalizzatore alla presenza di CO (interagente con Ni con formazione di carbonili volatili).

T3.5 (m25-30) Dimostrazione su scala di laboratorio impianto integrato. L'impianto di metanazione verrà integrato con un elettrolizzatore commerciale AEC, produrrà metano utilizzando CO₂ da bombola ed alimenterà in continuo la SOFC da banco sviluppata in OR2 da UNIPD. Il test integrato in continuo avrà la durata almeno di 5 giorni e verrà ripetuto in 5 repliche.

Risk&contingency plan

Catalizzatore insufficientemente attivo/selettivo. Si attendono valori ca. 100% per la selettività e > 85% per la conversione. Oltre a mutare la formulazione mediante aggiunta di promotori specifici si valuterà la possibilità di alimentazione della miscela ottenuta nella rete di distribuzione visto il basso tenore di H₂ e CO₂ residui.

Apparecchiature

- Apparecchiature specifiche per la sintesi di catalizzatori eterogenei (forni, muffole, autoclavi, flame pyrolysis)
- Impianto micropilota di metanazione di CO₂ interfacciato online a GC Agilent 7890 (TCD + FID, doppia colonna).
- HPLC, IC, spettrofotometri UV-Vis, FT-IR, TGA-DSC-DT, XPS, ICP, CHN, SEM-EDS, fisisorbimento, chemisorbimento, DLS, potenziale zeta.

Da acquisire:

- Linea per test catalitici in continuo con controlli di sicurezza per test in continuo senza personale. MicroGC interfacciato
- TPD-TPR-MS (per monitoraggio in continuo dell'attività e disattivazione in seguito a pulsi d inquinanti)

Personale

Rossetti Ilenia (Team leader), Pirola Carlo, Scavini Marco, Castellano Carlo, Villa Alberto, Maggioni Daniela.

Risultati attesi

- Catalizzatore a base di Ni, con costi limitati, con selettività ca. 100% e conversione di H₂ > 85%
- Temperatura < 400°C
- Controllo della temperatura regolabile con alimentazione vapore acqueo
- Durata > 120 h di funzionamento continuo con conversione residua > 83%.

Deliverables

D3.1 – m12 – Report sulla formulazione di catalizzatore per la metanazione di CO₂ con H₂ “green”.

D3.2 – m36 – Report complessivo caratterizzazione catalizzatori di metanazione.

D3.3 – m18 – Report sull'attività dei catalizzatori sviluppati.

D3.4 – m24 – Report sulla disattivazione dei catalizzatori.

D3.5 – m30 – Prototipo impianto dimostrativo integrato EC-MET-SOFC (scala di laboratorio)

Milestones

M3.1 – m18 – Scelta catalizzatore di metanazione.

M3.2 – m30 – Dimostrazione impianto integrato

OR4 - Dimostrazione sperimentale G2P: oxyfuel combustion (OFC) - UNIGE

Attività previste

T4.1 (m1-24) Studio sperimentale e teorico della combustione oxy-fuel La fiamme oxy-fuel verranno studiate sperimentalmente per varie composizioni CH₄/O₂/CO₂, per quantificare gli effetti dell'arricchimento in O₂. Verranno analizzati anche svariati gradi di diluizione mediante CO₂, per valutarne le ricadute in termini di riduzione della temperatura adiabatica di fiamma e della velocità della fiamma, e in ultima analisi di stabilità del funzionamento. I cambiamenti di macrostruttura e i limiti di stabilità statica delle fiamme verranno studiati sperimentalmente in un combustore swirled parzialmente premiscelato di piccola scala. I test avranno luogo nell'impianto di prova installato nel Campus di Savona. L'impianto è dotato di sistemi di misurazione avanzati (ad esempio LIF). I risultati saranno utilizzati per convalidare un modello CFD, specificamente sviluppato per la simulazione dei processi di combustione oxy-fuel di metano con diluizione mediante CO₂. Il modello CFD convalidato sarà utilizzato per un'analisi parametrica, per supportare e dare informazioni per lo sviluppo del sistema G2P.

T4.2 (m13-30) Simulazione di sistemi G2P basati sulla combustione oxy-fuel La disponibilità di CO₂ pressurizzata (erogata dalla 3PGG) e la conoscenza del processo di combustione oxy-fuel, permetteranno di studiare l'implementazione termo-meccanica del sistema G2P per mezzo di un motore a turbina a gas. Questa soluzione, che permette di realizzare un ciclo di potenza sCO₂ "diretto", sarà confrontata con soluzioni più convenzionali sempre basate su un combustore oxy-fuel. In tali configurazioni, il combustore oxy-fuel svolge la funzione di generatore di gas di scarico per lo scambiatore di calore fumi caldi/aria, che è la sorgente ad alta temperatura di un ciclo Brayton (Figura 7).

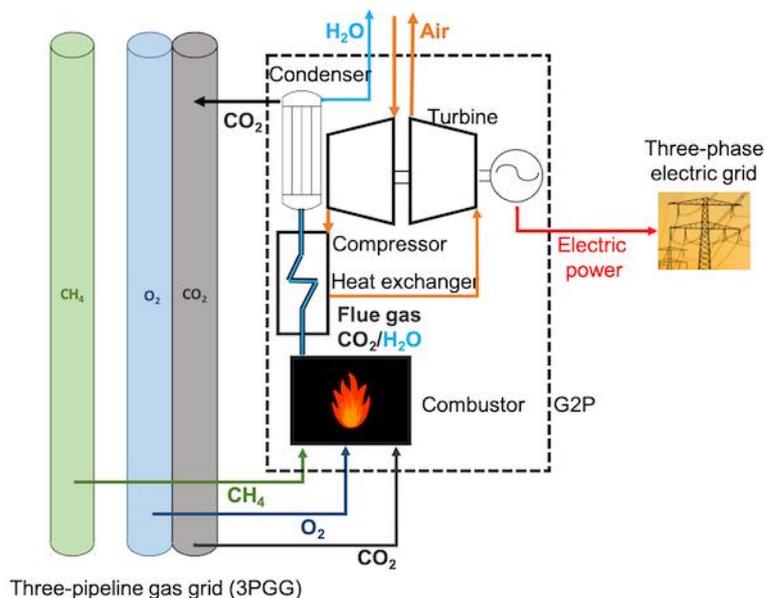


Figure 7

Personale

C. Cravero (team leader), A. Bonfiglio, M. Invernizzi, A. Nilberto, P. Costamagna.

Risultati attesi

- Analisi quantitativa di vantaggi e svantaggi delle diverse soluzioni di sistema.
- Efficienza della conversione G2P e efficienza round-trip dell'intero sistema energetico basato su rinnovabili e 3PGG.
- Identificazione delle caratteristiche di funzionamento del sistema.

Deliverables

D4.1 - m24 – Report sulla combustione oxy-fuel

D4.2 - m30 – Report sul sistema G2P

Milestones

M4.1 – m30 – Scelta della configurazione del sistema G2P

OR5 - Sviluppo di modelli in stato stazionario e dinamico (EC-MET-SOFC) - UNIGE

Attività previste

T5.1. (m1-36) Modelli delle proprietà dei materiali Per quanto riguarda le celle elettrochimiche, verranno sviluppati modelli cristallografici utili per valutare le proprietà strutturali dei materiali studiati sia in condizioni di temperatura ambiente sia alla temperatura di esercizio della cella. Tali modelli verranno ottimizzati tramite il metodo di Rietveld applicandoli ai *pattern* di diffrazione ottenuti dalle acquisizioni effettuate presso le sorgenti di sincrotrone sui materiali in studio. Il metodo di Rietveld permette di affinare, attraverso una serie di iterazioni successive svolte con il metodo dei minimi quadrati non lineari, parametri strutturali quali parametri reticolari, posizioni atomiche, fattori di occupazione, e parametri microstrutturali legati alla presenza di difetti, quali *size* e *strain*. Poiché la conduttività ionica ed elettronica dei materiali studiati è in stretta relazione con la natura e la distribuzione dei difetti reticolari, i risultati così ottenuti potranno essere messi in relazione con le proprietà di trasporto dei materiali stessi. Dato il carattere fortemente complementare tra diffrazione di raggi X e spettroscopia Raman, verranno acquisiti spettri Raman sui materiali in studio, allo scopo di completare le informazioni ottenute tramite la diffrazione di raggi X, con particolare riguardo per la presenza di vacanze reticolari e di *clusters* di difetti.

Il gruppo UNIGE ha esperienza pluriennale circa la metodica di Rietveld e lo sviluppo di modelli delle proprietà dei materiali.

T5.2 (m1-12) Modello dell'elettrolizzatore Celle elettrolitiche innovative di tipologia sia SOEC che AEC verranno simulate in condizioni stazionarie e transitorie. Si utilizzerà l'approccio precedentemente sviluppato presso UNIGE per la simulazione dei reattori elettrochimici, basato sulla risoluzione fully coupled dei bilanci locali di massa e di energia, accoppiati con le leggi della cinetica elettrochimica (Butler-Volmer). Le equazioni saranno risolte numericamente in Matlab e i risultati saranno validati rispetto ai dati della letteratura.

T5.3 (m10-21) Modello del reattore di metanazione

| Reactor type | Brief description | Advantages | Disadvantages |
|--|--|---|---|
|  Heat exchanger type reactor | Gas flow downward in the catalyst tubes and the heat of reaction is exchanged with a shell side fluid. | <ul style="list-style-type: none"> - Temperature is relatively uniform - Robust and well-established technology | <ul style="list-style-type: none"> - Scale-down is not simple as heat transfer governs the reactor performance. - Will require relatively thin tubes. |
|  Radial Flow Type Reactor | Gas enters from the top of the reactor and while it flows downward alongside the reactor shell, oxygen flows in a radial direction through the catalyst bed into the centre gas collecting tube. | <ul style="list-style-type: none"> - Temperature is relatively uniform - Pressure drop is low | <ul style="list-style-type: none"> - Limitations in scaling down as the reaction are happening radially. - Multiple components and complex to operate |
|  Multi-Stage Fixed Bed Reactor | A catalyst bed is divided into several stages to keep the reaction temperature constant and the intermediate flows are cooled by a series of heat exchangers which generally generate steam for the heat recovery. | <ul style="list-style-type: none"> - Can be modulated and scaled down. | <ul style="list-style-type: none"> - Non-uniform temperature profile - For a large heat of reaction, a large amount of quench gas is required. |
|  Multi-Quenched Fixed Bed Reactor | A catalyst bed is divided into several stages and quenched gas is injected to the top portion of divided catalyst beds to maintain uniform reaction temperature. | <ul style="list-style-type: none"> - The structure of the reactor itself is simple. - The temperature profile is expensive and if a fast temperature profile is needed, it is necessary to increase the number of stages. | <ul style="list-style-type: none"> - Reaction heat exceeding the maximum limit may cause thermal runaway. |
|  Tube Coiled Converter | Fresh feed gas enters at the bottom of the reactor and is preheated as it flows upwards through tubes in the catalyst bed. The heated feed gas leaves the top of the tubes and flows down through the catalyst bed where the reaction takes place. | <ul style="list-style-type: none"> - Similar to super converter but simpler in design and cheaper to construct. | <ul style="list-style-type: none"> - Scaling down is not simple as strong relationship between preheating rate, reaction rate and catalyst activity. |

Figure 4

Considerato che la reazione di metanazione della CO_2 è fortemente esotermica, il challenge principale è lo sviluppo di uno strumento di simulazione che dia supporto efficace nella gestione termica del reattore. Sono stati proposti diversi schemi di reattore (Figura 4) e svariate strategie di gestione del calore volti a controllare le condizioni di runaway. La geometria considerata nel presente progetto sarà PBR (packed bed reactor) multitubolare, che è la tipologia di reattore adottata industrialmente nella tecnologia TREMP (Haldor Topsoe), l'unica attualmente disponibile a livello commerciale. Il modello del reattore sarà un tipico modello multiscala di PBR non-ideale. Le equazioni saranno scritte in geometria cilindrica e in forma di bilanci locali di massa, energia e quantità di moto, risultanti in un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali (PDE). Le equazioni di bilancio locale saranno accoppiate con le appropriate leggi costitutive, in primis le cinetiche chimiche eterogenee, basate sull'approccio di riferimento di Xu e Froment. Parametri cinetici appropriati sono stati proposti recentemente nella letteratura scientifica. Le cinetiche proposte sono cinetiche di equilibrio, che incorporano l'equazione dell'equilibrio termodinamico locale, anch'essa disponibile nella letteratura di riferimento. Le espressioni della cinetica chimica verranno impiegate per una valutazione dettagliata delle prestazioni dei pellet di catalizzatore. Da un lato verrà sviluppato un modello multiscala dettagliato attraverso Comsol Multiphysics. Dall'altro, le equazioni saranno integrate in Matlab, con una simulazione semplificata del catalizzatore. Questo modello sarà raffinato e validato grazie al feedback dei risultati sperimentali raccolti in OR3 da UNIMI. Il gruppo di ricerca UNIGE ha esperienza pluriennale di sviluppo di modelli per l'ingegneria chimica mediante entrambe i software citati. I risultati ottenuti dai due approcci saranno confrontati, per valutare l'affidabilità del modello semplificato, che sarà poi integrato nel modello del sistema P2G stazionario e dinamico.

T5.4 (m16-24) Simulazione IT-SOFC

I modelli delle proprietà dei materiali saranno incorporati, anche in forma parametrica, all'interno della simulazione di celle e pile in scala reale, in condizioni di stato stazionario e transitorio. Lo scopo sarà il calcolo dell'efficienza e la valutazione delle curve caratteristiche corrente-tensione in stazionario e in dinamico. La valutazione della composizione e della temperatura all'uscita dell'anodo IT-SOFC sarà cruciale per capire se il sistema debba includere un bruciatore a combustione oxy-fuel e/o un espansore posizionato prima del condensatore, per recuperare una parte del calore sensibile dei gas di scarico IT-SOFC. I modelli saranno validati grazie ai risultati sperimentali raccolti in OR2 da UNIPD.

T5.5 (m25-36) Modello del sistema integrato P2G

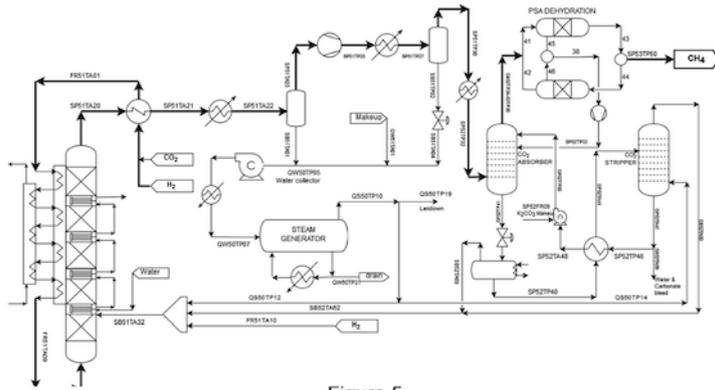


Figure 5

La Figura 5 riporta uno schema concettuale basato sul reattore di metanazione. Verranno accoppiati i modelli precedenti per simulare il sistema integrato P2G e saranno effettuate analisi di sensitività per identificare una configurazione di impianto ottimizzata. I dati sperimentali raccolti in OR3 sull'impianto completo saranno utilizzati per confronto e validazione. Il layout ed i parametri di funzionamento fluiranno in OR7 (UNIPD) per l'ottimizzazione complessiva e in OR8 (UNIMI) per le relative conclusioni sulla fattibilità del sistema.

Personale

P. Costamagna (team leader), A. Bonfiglio, C. Cravero, A. Nilberto, M. Invernizzi.

Risultati attesi

Progettazione completa della sezione P2G dell'impianto, incluso uno schema di flusso quantificato. Ogni blocco sarà dimensionato, con una stima delle materie prime e delle utilities necessarie.

Deliverables

- D5.1 - m36 – Report sulla simulazione delle proprietà dei materiali
- D5.2 - m12 – Report sulla simulazione dell'elettrolizzatore
- D5.3 - m21 – Report sulla simulazione del reattore di metanazione
- D5.4 - m24 – Report sulla simulazione della cella IT-SOFC
- D5.5 - m36 – Report sul modello del sistema integrato P2G

Milestones

M5.1 - m36 – Indicazioni per la scelta di materiali, configurazioni e condizioni operative ottimizzate per il sistema integrato P2G

OR6 - Integrazione tra la tri-fase gas e la tri-fase elettrica - UNIGE

Attività previste

T6.1 (m1-24) Analisi teorica e simulata allo stato stazionario Modellazione e caratterizzazione del processo in termini di vincoli e costi operativi (o impatto ambientale). Il primo compito sarà la caratterizzazione del comportamento della 3PGG rispetto all'interazione con il sistema elettrico. Questo implica la definizione delle caratteristiche operative del processo chimico per comprendere il suo ciclo di lavoro e identificare i vincoli adatti da considerare nell'EMS.

T6.2 (m13-30) Analisi dinamica teorica e simulata Essendo i transitori elettrici solitamente più veloci di quelli termodinamici e chimici, l'analisi elettrica sarà in stato stazionario (modellazione del flusso di carico). Tuttavia, è

importante sottolineare che i vincoli dinamici del processo termochimico dovranno essere tradotti in vincoli per il sistema di gestione ambientale. Ciò significa che il modello 3PGG da includere nell'EMS deve considerare i vincoli termochimici rilevanti (da caratterizzare), ad esempio, le pressioni, il tempo di avvio, il tempo di spegnimento, e così via. Ciò implica anche la definizione dell'insieme minimo di misure del sistema da fornire all'EMS.

T6.3 (m25-36) Progettazione dell'architettura dell'EMS Questo compito si concentrerà sull'implementazione del modello 3PGG, in un'architettura realistica di EMS. In vista del carico computazionale insito nello studio dell'EMS, il modello della 3PGG deve essere ricondotto ad una formulazione adatta ad essere gestita come un problema Mixed Integer Linear Programming (MILP).

Personale

M. Invernizzi (team leader), A. Bonfiglio, C. Cravero, A. Nilberto, P. Costamagna.

Risultati attesi

- Scelta accurata dei componenti elettrici, per adeguare il dimensionamento e la configurazione alla domanda e alle capacità di generazione della 3PGG
- Adozione di soluzioni specifiche, per massimizzare l'efficienza di conversione dalla rete elettrica al 3PGG, in entrambe le interazioni esaminate
- Corrispondenza dei diagrammi di generazione in surplus delle fonti rinnovabili al diagramma di carico dell'elettrolizzatore, così come la caratteristica di produzione del G2P per fornire servizi primari e/o ausiliari alla rete elettrica servita
- Sintesi delle strutture di controllo per affrontare i requisiti di stato stazionario e dinamico delle variabili del kernel 3PGG
- Analisi di decomposizione dinamica per proporre studi transitori disaccoppiati, secondo i diversi tempi di evoluzione dei fenomeni.
- In ultima analisi: integrazione del sistema 3PGG in un'architettura EMS.

Deliverables

D6.1 - m24 – Report sull'analisi allo stato stazionario

D6.2 - m30 – Report sull'analisi in dinamico

D6.3 - m36 – Report sull'architettura EMS

Milestones

M6.1 - m36 – Conclusioni sull'integrazione fra 3PGG e rete elettrica

OR7 - Modelli di ottimizzazione multi-obiettivo di sistemi multi-energia che integrano la rete tri-fase gas e i dispositivi per la metanazione e l'elettrolisi - UNIPD

Attività previste

T7.1 (m1-36) Implementazione di una piattaforma di calcolo per definire la configurazione (numero, tipo e taglia delle unità) e le modalità di funzionamento di multi-energy systems che includono al loro interno unità di conversione dell'energia qualsivoglia alimentate da fonti rinnovabili e fossili e unità di stoccaggio di diverse forme di energia, connesse con le esistenti e le possibili reti di distribuzione di energia elettrica, energia termica, e di gas con l'eventuale possibilità di adattamento di quest'ultima alla conversione, anche parziale, alla soluzione tri-fase gas. La piattaforma implementa una procedura di ottimizzazione dinamica stocastica.

Personale

Massimo Masi (Team leader), Andrea Lazzaretto

Risultati attesi

Previsione dell'evoluzione della configurazione del sistema multi-energia locale, regionale e nazionale in funzione della disponibilità di nuove tecnologie di conversione e di trasporto dell'energia, nonché dei vincoli legislativi e

tecnologici, in relazione a uno più obiettivi (efficienza, profitto, impatto ambientale...) nella transizione verso un sistema completamente rinnovabile.

Deliverables

D7.1 - m36 - Quantificazione dei vantaggi dal punto di vista energetico-economico e ambientale derivanti dall'introduzione della rete tri-fase gas e dei dispositivi elettrochimici in sistemi energetici di diversa estensione territoriale.

Milestones

M7.1 – m30 - Definizione delle configurazioni e delle modalità di funzionamento di sistemi di generazione e stoccaggio di energia in ambito locale, regionale e nazionale con la presenza della rete tri-fase gas. Fornisce l'input a OR8.

OR8 - Conclusioni fattibilità tecnica, economica e lifecycle assessment (LCA) - UNIMI

Attività previste

T8.1 (m24-30) Analisi input da OR1-7 e verifica fattibilità tecnica Verranno raccolti, adattati e revisionati gli input degli OR precedenti, in particolare i dati sperimentali sui test del sistema P2G/G2P validato in OR3 (T3.5), i modelli di flowsheet integrati dei sistemi P2G (OR5) e G2P (OR4 e OR5). Inoltre si raccoglieranno i risultati di ottimizzazione e integrazione delle reti perseguiti negli OR6 e OR7. Su questa base si individueranno le condizioni (di sistema ed operative) per assicurare la fattibilità del processo integrato P2G/G2P e della sua realizzazione in forma 3PGG.

T8.2 (m30-36) Verifica fattibilità economica Nelle condizioni e configurazioni ricavate dal T8.1 si effettuerà una stima dei costi di capitale (CAPEX) ed operativi (OPEX) traendo le opportune conclusioni sulla fattibilità economica. A tal fine ci si concentrerà su due campi di taglie d'impianto. Un primo obiettivo sarà valutare i costi per installazione e funzionamento di un impianto dimostrativo su scala pilota. Questo prototipo quantificato sarà presentato ai principali stakeholders nazionali ed internazionali al fine di acquisire le risorse dedicate allo scale up del prototipo dimostrativo su scala pilota (10-100 kW). Inoltre, la fattibilità economica sarà dimostrata considerando un impianto su scala commercialmente rilevante 1-10 MW, come obiettivo più fondamentale di verifica della sostenibilità dell'investimento. Si utilizzeranno, laddove possibile, algoritmi per il calcolo dei costi già disponibili, ovvero si svilupperanno proposte di stima per le apparecchiature di nuova concezione. Per l'elaborazione dell'analisi economica si utilizzerà il pacchetto AspenONE Engineering V12.

T8.3 (m24-36) Analisi LCA e ottimizzazione economico-ambientale Parallelamente, l'LCA sarà utilizzata come metodo di valutazione e minimizzazione dell'impatto ambientale di ciascuna fase dei processi innovativi qui proposti, che verrà analizzata in dettaglio. I dati raccolti nel T8.1 verranno inseriti nel software SIMPAPRO in modo da rappresentare con precisione tutte le fasi del ciclo P2G/G2P e 3PGG. Verranno quindi tratte conclusioni sulle diverse categorie di impatto ambientale e proposte soluzioni adeguate per l'ulteriore miglioramento dell'impatto ambientale laddove fosse necessario. Questa analisi consentirà anche di dimostrare quantitativamente il raggiungimento degli obiettivi fissati da UE e Ministero della Transizione Ecologica e fissati in "riduzione delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita del 73,4 % per l'idrogeno [che si traduce in 3 t CO_{2eq}/t H₂] e del 70 % per i combustibili sintetici a base di idrogeno rispetto a un combustibile fossile di riferimento di 94 g CO_{2eq}/MJ, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001".

Risk&contingency plan

Dati sparsi e difficilmente riconciliabili nell'analisi. Si proporranno ai partner di progetto quesiti specifici, dettagliati e con la struttura desiderata dell'output.

Una o più apparecchiature risultano non sostenibili economicamente. Si valuterà l'implementazione di una tecnologia alternativa sfruttando la modularità del sistema.

Apparecchiature

Disponibile server dedicato per la gestione delle risorse computazionali.

Da acquisire: PC dedicato per analisi economica ed LCA

Personale

Carlo Pirola (Team leader), Ilenia Rossetti

Risultati attesi

- Conclusioni sulla fattibilità tecnica, economica e l'impatto ambientale del sistema integrato P2G/G2P e sul 3PGG
- Stima del costo di produzione di H₂, CH₄ e kW_{el}

Deliverables

D8.1 - m36 – Report finale sulla fattibilità tecno-economica e LCA

Milestones

M8.1 – m30 – Conclusioni sulla configurazione fattibile del sistema P2G/G2P e 3PGG

M8.2 – m36 – Conclusioni sulla fattibilità economica

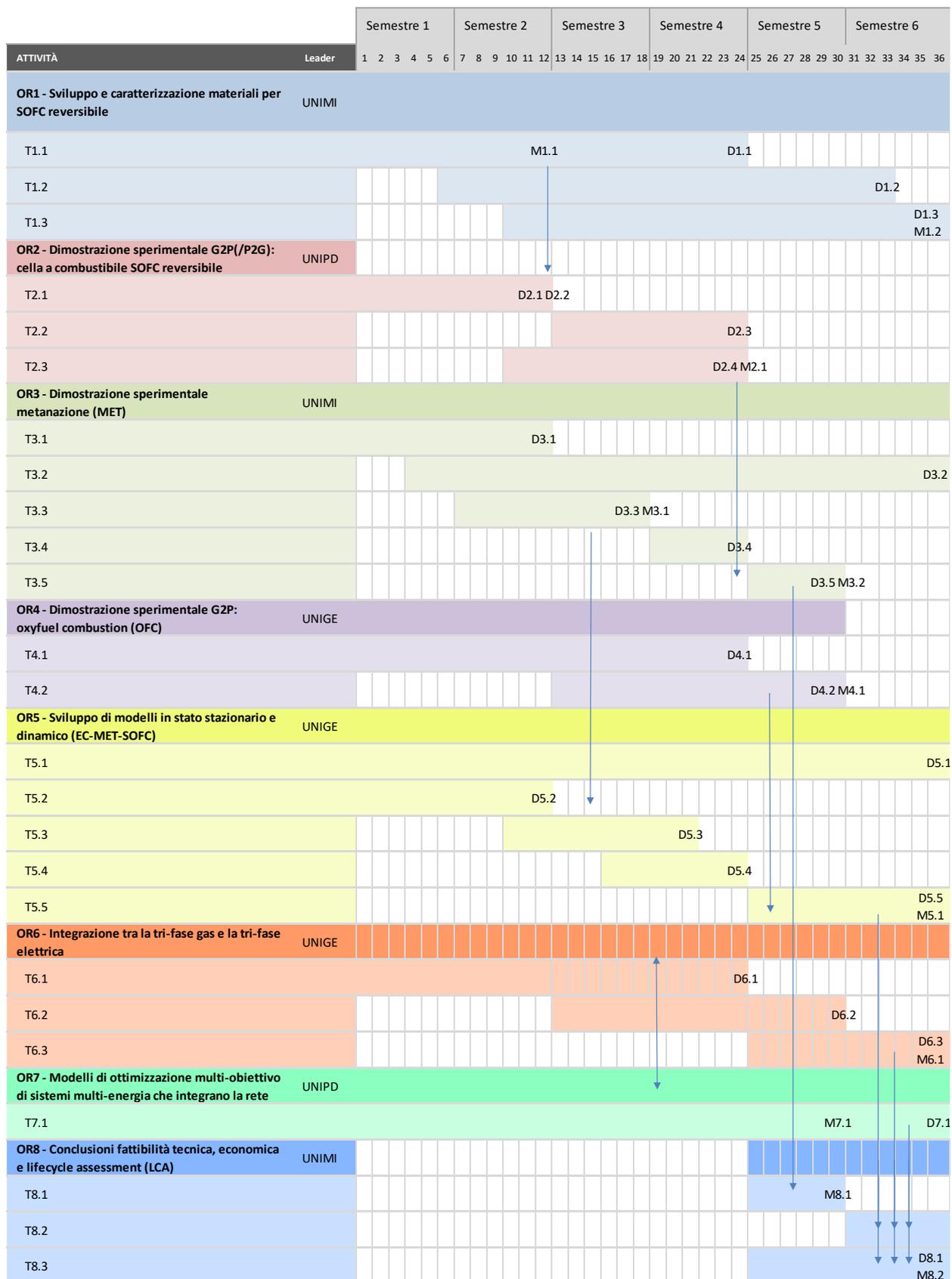
7.3. TEMPI DI REALIZZAZIONE

Indicare la durata - in mesi - dell'Obiettivo Realizzativo.

Stoccaggio e distribuzione di idrogeno attraverso una strategia “power-to-gas/gas-to-power” con cattura ed utilizzo completi del carbonio

UNIGE - UNIMI - UNIPD

Prof. Gianguido Ramis



8. RISULTATO INTERMEDIO ATTESO DEL PROGETTO

Descrivere il risultato intermedio - deliverable - del progetto atteso in relazione agli obiettivi realizzativi. Il risultato intermedio è individuato a metà del periodo di realizzazione previsto, calcolato a partire dalla data di avvio comunicata ai sensi dell'Avviso; deve essere verificabile e devono essere evidenziati a tal fine i parametri di valutazione ed i valori attesi.

OR1 - Sviluppo e caratterizzazione materiali per SOFC reversibile – UNIMI

Descrizione: formulazione e caratterizzazione di materiali elettrodi ed elettrolitici per SOFC.

Target: Almeno 15 campioni preparati per la successiva caratterizzazione. Caratterizzazione proprietà di base dei materiali preparati

Modalità di verifica: Report mid-term attività svolte (m18) e D1.1 (m24).

OR2 - Dimostrazione sperimentale G2P(P2G); cella a combustibile SOFC reversibile (scala di laboratorio) UNIPD

Descrizione: Formulazione di una composizione anodica funzionale; Formulazione di una composizione catodica funzionale

Target: Realizzazione di un dispositivo funzionante in condizioni significative per il progetto

Modalità di verifica: Report sui risultati elettrochimici conseguiti (D1.1, D1.2, m12)

OR3 - Dimostrazione sperimentale metanazione (MET) - UNIMI

Descrizione: Formulazione di catalizzatori di metanazione.

Target: Almeno 10 campioni preparati per test catalitici. Caratterizzazione proprietà di base dei materiali preparati. Avviare attività test catalitici.

Modalità di verifica: Report mid-term attività svolte (m18), D3.1 (m12), D3.3 (m18).

OR4 - Dimostrazione sperimentale G2P: oxyfuel combustion (OFC) - UNIGE

Descrizione: Raccolti dati OFC, avvia modellazione OFC.

Target: Set di dati sperimentali OFC.

Modalità di verifica: Report mid-term attività svolte (m18)

OR5 - Sviluppo di modelli in stato stazionario e dinamico (EC-MET-SOFC) - UNIGE

Descrizione: Sviluppato modello EC; avanzamento modello MET; avviata modellazione SOFC

Target: 1 modello completo per EC

Modalità di verifica: Report mid-term attività svolte (m18), D5.2 (m12)

OR6 - Integrazione tra la tri-fase gas e la tri-fase elettrica - UNIGE

Descrizione: Avanzamento modello rete trifase gas; avvio integrazione rete trifase elettrica.

Target: 70% realizzazione del modello

Modalità di verifica: Report mid-term attività svolte (m18)

OR7 - Modelli di ottimizzazione multi-obiettivo di sistemi multi-energia che integrano la rete tri-fase gas e i dispositivi per la metanazione e l'elettrolisi - UNIPD

Descrizione: Predisposizione schema, algoritmi e selezione variabili ed obiettivo per modellazione. Avanzamento modelli per metanazione e elettrolisi.

Target: realizzazione del modello elettrolizzatore completa, avanzamento 75% MET, 25% rete trifase gas e elettrica.

Modalità di verifica: Report mid-term attività svolte (m18)

OR8 – Conclusioni fattibilità tecnica, economica e lifecycle assessment (LCA) - UNIMI

Descrizione Da avviare al m25

Target: n.d.

Modalità di verifica: n.d.

9. RISULTATO FINALE ATTESO DEL PROGETTO

Descrivere il risultato finale - deliverable - del progetto atteso in relazione all'obiettivo finale, sulla base del quale verificare la corretta realizzazione delle attività previste dal progetto, evidenziando i parametri di valutazione ed i valori attesi.

OR1 - Sviluppo e caratterizzazione materiali per SOFC reversibile - UNIMI

Descrizione: Individuazione, selezione e caratterizzazione dei materiali anodici, catodici ed elettrolitici più promettenti per SOFC sia riguardo alle prestazioni individuali sia alla compatibilità reciproca; report sulla Caratterizzazione elettrochimica di materiali e componenti assemblati per SOFC. Report sugli Esperimenti presso sorgenti di luce di sincrotrone su materiali e componenti assemblati per SOFC (m36).

Target: caratterizzazione elettrochimica dei componenti delle SOFC separati ed assemblati messi a punto nel progetto; approfondita caratterizzazione della struttura media e locale (XRPD, PDF, EXAFS) e della struttura elettronica (XANES) dei materiali e componenti assemblati per SOFC, anche in condizioni *in situ* ed *in operando*; assemblaggio di elettrodi ed elettroliti a formare semicelle e celle pr SOFC e loro e caratterizzazione completa.

Modalità di verifica: D1.1 (m24); D1.2 (m33);, D1.3 (m36); Report finale (m36); Disponibilità prototipo EC-MET-SOFC integrato (m36).

OR2 - Dimostrazione sperimentale G2P(P2G); cella a combustibile SOFC reversibile (scala di laboratorio) - UNIPD

Descrizione: La dimostrazione sperimentale prevede la realizzazione di un dispositivo in scala di laboratorio capace di operare con metano, idrogeno e miscele metano e idrogeno. Questo dispositivo sarà testato in condizioni di variazione della temperatura e della composizione della miscela di combustibili (metano, idrogeno, monossido di carbonio). L'anodo, in particolare, sarà tollerante nei confronti dell'avvelenamento da parte di carbonio. Il dispositivo sarà testato in condizioni variabili, per periodi prolungati e sarà valutato il comportamento in fase di spegnimento e riaccensione (comportamento in ciclo).

Target: Realizzazione di un dispositivo in scala di laboratorio operante in metano/idrogeno, con obiettivo di efficienza >55%. Temperature obiettivo 600-650°C per dispositivi sviluppati in OR2, 400-600°C per materiali innovativi sviluppati in OR1.

Modalità di verifica: D2.3 (m24); D2.4 (m24); Dati di Resistenza Specifica per Unità di Area (Area Specific Resistance – ASR), Energia di attivazione e curve tensione/corrente. Disponibilità prototipo su scala di laboratorio (m24).

OR3 - Dimostrazione sperimentale metanazione (MET) - UNIMI

Descrizione: Dimostrazione di un catalizzatore per la metanazione in continuo di CO₂, a base di Ni. Dimostrazione funzionamento in continuo impianto integrato su scala di laboratorio (TRL4) EC commerciale + MET + SOFC sviluppata in OR1 e OR2.

Target: Catalizzatore MET con durata > 120 h e conversione >85%, selettività 100% CH₄. Dimostrazione impianto integrato con funzionamento a specifica per alcune ore, ripetuto per validazione statisticamente rilevante.

Modalità di verifica: D3.4 (m24); D3.5 (m30); D3.2 (m36); Report finale (m36). Disponibilità prototipo EC-MET-SOFC integrato (m36).

OR4 - Dimostrazione sperimentale G2P: oxyfuel combustion (OFC) - UNIGE

Descrizione: Modello OFC per integrazione in modello P2G/G2P.

Target: 1 modello CFD, modello implementabile in OR5.

Modalità di verifica: D4.1 (m24); D4.2 (m30); Report finale (m36).

OR5 - Sviluppo di modelli in stato stazionario e dinamico (EC-MET-SOFC) - UNIGE

Descrizione: Modello per i materiali per SOFC reversibile a supporto della relazione tra proprietà e struttura. Completato modello reattore MET. Completato modello IT-SOFC. Modello sistema integrato P2G.

Target: Almeno un modello per tipologia in condizioni stazionarie e per transitorio.

Modalità di verifica: D5.3 (m21); D5.4 (m24); D5.1 (m36); D5.5 (m36); Report finale (m36).

OR6 - Integrazione tra la tri-fase gas e la tri-fase elettrica - UNIGE

Descrizione: Modello 3PGG. Integrazione del sistema 3PGG in un'architettura EMS.

Target: Almeno un modello stabile e confronto diverse opzioni di integrazione.

Modalità di verifica: D6.1 (m24); D6.2 (m30); D6.3 (m36); Report finale (m36).

OR7 - Modelli di ottimizzazione multi-obiettivo di sistemi multi-energia che integrano la rete tri-fase gas e i dispositivi per la metanazione e l'elettrolisi - UNIPD

Descrizione: Quantificazione dei vantaggi dal punto di vista energetico-economico e ambientale derivanti dall'introduzione della rete tri-fase gas e dei dispositivi elettrochimici in sistemi energetici di diversa estensione territoriale.

Target: Almeno 1 modello di ottimizzazione. Set di condizioni al contorno ed operative ottimizzate per MET, SOFC reversibile, sistema integrato P2G/G2P e 3PGG.

Modalità di verifica: D7.1 (m36); Report finale (m36).

OR8 – Conclusioni fattibilità tecnica, economica e lifecycle assessment (LCA) - UNIMI

Descrizione: Conclusioni sulla fattibilità tecnica, economica e l'impatto ambientale del sistema integrato P2G/G2P e sul 3PGG. Stima del costo di produzione di H₂, CH₄ e kW_{el}. Stima indicatori impatto ambientale.

Target: In base alle previsioni di letteratura si fissano i seguenti costi massimi come target di progetto. Per dispositivi SOEC sono previsti costi di 1000 €/kW al 2030 (equivalente a 3540 € h/m³ H₂ for 100% di efficienza elettrica). L'investimento per AEC è dell'ordine di grandezza di 1000 €/kW (equivalente a 5060 € h/m³ H₂ per 70% di efficienza elettrica). Maggior incertezza è riportata per il metanatore, con campi che vanno da 130 a 3000 €/kW CH₄ [Götz M, Lefebvre J, Mörs F, McDaniel Koch A, Graf F, Bajohr S, et al. Renew Energy 2016;85:1371–90.]. Una proiezione E&E Consultant indica un costo per SNG da 0.165 a 0.392 €/kWh oggi e 0.072-0.102 €/kWh al 2050. Il costo del GN era mediamente ca. 0.10 €/kWh per il consumo domestico e 0.067 €/kWh per le imprese (Italia nel settembre 2021). Questi verranno fissati come obiettivi conservativi e non viene qui considerato l'aumento del 41.7% del costo del CN osservato nel 2022, dovuto a cause contingenti.

Modalità di verifica: D8.1 (m36); Report finale (m36).

10. ULTERIORI INFORMAZIONI SULLE VOCI DI SPESA PREVISTE NEL PROGETTO

Fornire le informazioni utili per la valutazione delle voci di costo "Attrezzature e strumentazioni", "Consulenze e prestazioni", "Materiali". Nel caso di progetti congiunti fornire le suddette informazioni per singolo proponente.

UNIGE

Attrezzature e strumentazioni: Workstation per potenziamento struttura di calcolo (25500 Euro quota di ammortamento esposta su 30000 euro di spesa prevista)

Consulenze e prestazioni: non previsto.

Materiali: 95000 Euro di materiali consumabili per laboratorio, parti e consumabili per le apparecchiature per i test sperimentali OFC, gas e reagenti. Accesso ad analisi strumentali.

Missioni, disseminazione, pubblicazione, exploitation: 119000 euro per spese di per la raccolta ed il trasferimento dei risultati del progetto, di missione e partecipazione a congressi e scuole sui 3 anni per tutto il personale coinvolto (8 unità di personale strutturato + 7 ricercatori a contratto); spese di pubblicazione open access e per la divulgazione dei risultati del progetto.

UNIMI

Attrezzature e strumentazioni: Sistema multireattore con microGC (120000 euro); TPD-TPR-MS (80000 Euro); Forno tubolare (15000 Euro) (di cui 91375 Euro quota di ammortamento esposta complessivamente)

Consulenze e prestazioni: non previsto. I costi di brevettazione saranno coperti nella quota di spese generali.

Materiali: 119000 Euro di materiali consumabili per laboratorio, parti e consumabili per le apparecchiature per i test sperimentali MET, gas e reagenti. Accesso ad analisi strumentali presso le piattaforme analitiche UNIMI.

Missioni, disseminazione, pubblicazione, exploitation: 114000 euro per spese di per la raccolta ed il trasferimento dei risultati del progetto, di missione, raccolta dati presso facilities internazionali e partecipazione a congressi e scuole sui 3 anni per tutto il personale coinvolto (9 unità di personale strutturato + 4 ricercatori a contratto); spese di pubblicazione open access e per la divulgazione dei risultati del progetto (flyer e realizzazione/manutenzione sito web).

UNIPD

Attrezzature e strumentazioni: Generatore controllato di vapore per i test elettrolitici, Acquisto di un forno tubolare dedicato, PC (30000 Euro quota di ammortamento esposta)

Consulenze e prestazioni: non previsto.

Materiali: 110000 Euro di prodotti chimici per la sintesi di elettrodi ed elettroliti; materiale per la realizzazione di celle ad ossido solido (fili d'oro per connessioni, pasta d'oro per le connessioni, colla ceramica per la separazione del comparto anodico e catodico), ricambi e pezzi per la realizzazione di una gas-line dedicata, ricambi e reattori per gli strumenti Micromeritics (chemisorbitore e adsorbitore), consumabili per laboratorio, parti e consumabili per le apparecchiature per i test sperimentali, gas. Contributo alla manutenzione di grandi apparecchiature (XPS, SEM/EDX, XRD)

Missioni, disseminazione, pubblicazione, exploitation: 110000 euro per spese di per la raccolta ed il trasferimento dei risultati del progetto, di missione e partecipazione a congressi e scuole sui 3 anni per tutto il personale coinvolto (6 unità di personale strutturato + 4 ricercatori a contratto); spese di pubblicazione open access e per la divulgazione dei risultati del progetto.

III^a PARTE: ELEMENTI VALUTATIVI

1. FATTIBILITÀ TECNICO-ORGANIZZATIVA

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

1.1. CAPACITÀ E COMPETENZE

Descrivere la capacità di realizzazione del progetto con risorse interne, evidenziando le competenze e le esperienze delle risorse interne del proponente rispetto al settore/ambito in cui il progetto ricade. Indicare la presenza di personale qualificato e di strutture interne dedicate all'attività di ricerca. Fornire, inoltre, indicazioni sugli eventuali progetti di ricerca e sviluppo realizzati negli ultimi 3 anni, indicando l'ammontare complessivo delle spese di ricerca e sviluppo sostenute come risultanti dai bilanci relativi allo stesso periodo, fornendo l'evidenza dei dati sulle attività di ricerca fondamentale e ricerca industriale nel medesimo periodo. Fornire indicazioni in merito alle capacità del personale interno di coordinare le attività da svolgere con soggetti terzi.

UNIGE

Competenze nell'ambito tecnologico

Nell'unità di ricerca UNIGE si armonizzano competenze sperimentali e modellistiche che coopereranno al perseguimento degli obiettivi di modellazione dei sistemi P2G/G2P volti allo storage reversibile dell'idrogeno con relativa distribuzione e dell'integrazione nel sistema di distribuzione di energia elettrica.

Personale strutturato coinvolto

Gianguido Ramis Coordinatore del progetto, *vide supra*.

Andrea Bonfiglio è RTD-B presso l'Università di Genova. La sua ricerca si concentra sulla modellazione, il controllo e l'integrazione delle FER nel sistema elettrico, lo sviluppo di strategie di gestione dell'energia applicate alle micro-reti intelligenti e il controllo avanzato dei sistemi elettrici. È stato coordinatore scientifico di progetti di ricerca finanziati da ITER, Ansaldo e ABB-HITACHI Power Grids. È stato coinvolto in progetti di ricerca con il MIT, l'Università di Aalborg e altri. È editor della rivista internazionale IEEE Transactions on Sustainable Energy.

Paola Costamagna è professore associato all'Università di Genova. Ha una vasta esperienza nella simulazione di celle a combustibile ed elettrolizzatori, a tutte le scale. Ha partecipato a 3 progetti UE sulle SOFC, ed è stata PI in un contratto di 7 anni con Rolls-Royce Fuel Cell Systems (UK). Attualmente è coinvolta nei progetti EU COELUS e SUGAR.

Carlo Cravero è professore associato all'Università di Genova. Ha esperienza nella simulazione numerica per turbomacchine e nella fluidodinamica industriale. Ha sviluppato codici e piattaforme software CFD per la progettazione e l'analisi di turbomacchine. Ha sviluppato diverse partnership industriali e collaborazioni di ricerca per la progettazione e lo sviluppo di prodotti. Sta lavorando nel campo dei forni per la produzione del vetro con particolare attenzione all'analisi della combustione e alla riduzione delle emissioni. Ha gestito diversi contratti di ricerca sia dall'industria che dal governo.

Marco Invernizzi è professore ordinario all'Università di Genova. I suoi campi di interesse sono la modellazione e il controllo dei sistemi elettrici, la gestione dell'energia, la stabilità e il ripristino dei sistemi elettrici. Ha una lunga esperienza nello sviluppo e nel coordinamento di progetti scientifici, finanziati da enti pubblici (autorità nazionali e regionali, UE) e istituzioni private. Tra questi, il progetto GRID+ EU, con T&D Europe, e progetti finanziati da CESI, ABB, Ansaldo, Terna.

Alessandro Nilberto è ricercatore presso l'Università di Genova. Ha un background incentrato sulle tecniche sperimentali (per esempio, LIF) per la fluidodinamica, con particolare attenzione ai processi di combustione. È responsabile del laboratorio di combustione UniGE presso il Campus di Savona. È stato coinvolto in diversi progetti di ricerca finanziati dall'industria o dal governo, ed è membro del gruppo di ricerca sui forni da vetro. Con Cravero è coinvolto nei progetti EU LIFE PRIMEGLASS e SUGAR (anche con Costamagna).

Marcella Pani è professore associato presso l'Università di Genova. Ha una lunga esperienza negli studi strutturali mediante diffrazione di raggi X sia su polveri che su cristalli singoli. La sua ricerca è dedicata all'indagine di diversi materiali, come intermetallici e ossidi complessi, con particolare riferimento alle relazioni struttura-proprietà. Le attività attuali si concentrano sugli ossidi a base di ceria come materiali elettrolitici per IT-SOFC, nell'ambito del progetto COELUS.

Publicazioni selezionate dell'unità di ricerca

1. "Electrochemical study of symmetrical intermediate temperature - solid oxide fuel cells based on $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3 / \text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ for operation in direct methane / air", C. Sanna, E. Squizzato, P. Costamagna, P. Holtappels, A. Glisenti, *Electrochimica Acta*, 40920 (2022) Article number 139939
2. "Three-pipeline gas grid: A new concept for power-to-gas associated with complete carbon capture and utilization", P. Costamagna, *Energy Conversion and Management*, 2291 (2021) Article number 113739
3. "A study on CO₂ methanation and steam methane reforming over commercial Ni/calcium aluminate catalysts" G. Garbarino, F. Pugliese, T. Cavattoni, G. Busca, P. Costamagna, *Energies* 13 (2020) Article number 2792
4. "Data-driven techniques for fault diagnosis in power generation plants based on solid oxide fuel cells" P. Costamagna, A. De Giorgi, G. Moser, S. Serpico, A. Trucco, *Energy Conversion and Management* 180 (2019) 281
5. "Hydrogen production by photoreforming of glucose and carbohydrate mixtures from pulping industry wastewaters", F. Conte, G. Casalini, L. Prati, G. Ramis, I. Rossetti, *Int. J. Hydrogen Energy*, in press.
6. "Ethylene from renewable ethanol: process optimisation and economic feasibility assessment", M. Frosi, A. Tripodi, F. Conte, G. Ramis, N. Mahinpey, I. Rossetti, *J. Ind. Eng. Chem.*, 104 (2021) 272.
7. "Feasibility assessment and process design for cogeneration of heat and power by steam reforming of diluted bioethanol", A. Tripodi, E. Bahadori, G. Ramis, I. Rossetti, *Int. J. Hydrogen Energy*, 44 (2019) 2-22.
8. "Process simulation of hydrogen production by steam reforming of diluted bioethanol solutions: Effect of operating parameters on electrical and thermal cogeneration by using fuel cells.", A. Tripodi, M. Compagnoni, G. Ramis, I. Rossetti, *Int. J. Hydrogen Energy*, 42 (2017) 23776
9. "The use of CFD for the design and development of innovative configurations in regenerative glass production furnaces" C. Cravero, D. De Domenico, *Energies* 12(2019) Article number 2455
10. "A Simplified Microgrid Model for the Validation of Islanded Control Logics" A. Bonfiglio, M. Brignone, M. Invernizzi, A. Labella, D. Mestriner, R. Procopio, *Energies* 10 (2017) Article number 1141

Personale da acquisire

Si propone l'acquisizione di 7 ricercatori post doc junior, impegnati a tempo pieno sul progetto per 32 mesi ciascuno.

Capacità di coordinare attività con soggetti terzi

Il gruppo di ricerca, come evidenziato nel CV brevi, vanta ampia esperienza nella partecipazione e coordinamento di progetti sia su scala nazionale che internazionale e svolge correntemente attività di ricerca e consulenza per privati.

UNIMI

Competenze nell'ambito tecnologico

L'unità di ricerca UNIMI ha esperienza pluridecennale nell'ambito della produzione, storage ed utilizzo di H₂. In particolare, come dettagliato nel seguito, si uniscono competenze sperimentali nello sviluppo di catalizzatori, elettrocatalizzatori ed elettroliti solidi e nella loro caratterizzazione di base ed approfondita. Sono presenti competenze avanzate nell'ambito dello sviluppo di catalizzatori eterogenei per la conversione di H₂ in CH₄ e per la realizzazione di materiali ad alta efficienza per SOFC. Parallelamente sono presenti competenze nello sviluppo di processo, valutazione economica ed analisi LCA.

Personale strutturato coinvolto

Ilenia Rossetti è professore ordinario di impianti chimici, e si occupa dello sviluppo di reattori, impianti e processi nell'ambito della catalisi eterogenea applicata ad energia ed ambiente. Laureata con lode in chimica industriale nel 1998, consegue nel 2001 il dottorato di ricerca nella stessa disciplina presso l'Università degli Studi di Milano ed una seconda laurea magistrale in Ingegneria Chimica nel 2016 (110/110). È stata visiting professor presso l'Università di Cambridge, l'Università Pierre et Marie Curie di Parigi e la Cardiff University ed è responsabile di accordi di collaborazione internazionale con vari partner stranieri (ad es. University of Calgary, Canada, Imperial

College of London, UK e CNRS Mulhouse, FR) È attualmente Direttore del Laboratorio Analisi del Dipartimento di Chimica dell'Ateneo e fa parte di varie commissioni organizzative del dipartimento. È Coordinatore Nazionale del Gruppo Interdivisionale di Chimica per le Energie Rinnovabili della Società Chimica Italiana (SCI-EnerCHEM), dopo due mandati triennali nel direttivo dello stesso gruppo e tre nel direttivo della Divisione di Chimica Industriale della SCI. È membro dell'International Advisory Board di "ChemCatChem" (IF = 4.853) dal 2021 e di "Catalysts" (IF = 3.444) dal 2020, section Editor "Photocatalysis" e dal 2021 section editor "Catalytic Reaction Engineering". È stata membro del comitato scientifico e/o organizzatore di vari congressi internazionali, tra cui Europacat2017, ed è nel panel di valutazione di svariati progetti internazionali (Marie S. Curie grants dal 2013, Horizon Europe dal 2021 e con continuità per svariate agenzie di ricerca di Norvegia, Olanda, Germania, Francia, Regione Catalana, Emirati Arabi, Hong Kong, Repubblica del Kazakistan).

Nell'ultimo decennio è stata responsabile scientifico di progetti di ricerca e/o mobilità internazionale per ca. 1 MEuro, finanziati da vari enti o fondazioni bancarie. A questi progetti si associano svariati contratti di ricerca con aziende private per ca. 0.5 MEuro.

Attualmente dirige il proprio gruppo di ricerca costituito da un RTDA, un ricercatore post-doc, un dottorando, una media di 10 laureandi (magistrali), 6 tirocinanti (triennali) all'anno. Ha personalmente in dotazione 5 laboratori: 2 di impianti chimici (scala pilota e micro-pilota), 1 di preparazione di materiali, 1 di caratterizzazione e 1 di calcolo (è responsabile di ateneo della licenza del pacchetto Aspen Engineering Suite). Svolge la propria attività di ricerca totalmente indipendente dal 2008, provvedendo alla supervisione di laureandi (ca. 75), dottorandi (relatore di 5 tesi, correlatore di 3) ed assegnisti di ricerca/borsisti (6).

È stata Guest Editor di 7 special issues su riviste con impact factor, ha pubblicato 27 contributi in volumi a stampa e invited reviews, 5 Invited Editorials ed Editorial notes, ha pubblicato 1 libro di testo sui fenomeni di trasporto (Ed. Cortina, 2009), 1 di Chimica industriale (Zanichelli, 2021) ed 1 sui nanomateriali per trattamento acque (Elsevier, 2020), 150 articoli su riviste internazionali con buon impact factor, pressochè esclusivamente incluse nel primo quartile dei ranking delle rispettive categorie e 196 comunicazioni congressuali, 11 comunicazioni su invito e 1 keynote lecture. Le citazioni totali raccolte sono >4400, con un h-index pari a 39 (Scopus 04/05/2022).

Carlo Pirola è professore associato nel settore impianti chimici (09/D3, ING-IND/25) e si occupa di diverse tematiche quali i processi di separazione, i reattori chimici, la purificazione dell'aria e dell'acqua, la catalisi eterogenea e in generale l'analisi e l'ottimizzazione di impianti chimici, la loro simulazione e l'analisi-minimizzazione dell'impatto ambientale.

Formazione: 2016 "LCA (Life Cycle Assessment) expert". 2008 PhD in Chimica Industriale, Università degli Studi di Milano, "Novel supported iron Fischer Tropsch catalysts: preparation, characterization and applications". 2000 Laurea Magistrale in Chimica Industriale, Università degli Studi di Milano.

Indici bibliometrici (fonte Scopus, May 2022) ORCID: 0000-0002-7013-5424; Scopus ID 15122274700

Numero di pubblicazioni: 162; Numero di citazioni: 3134; h-index: 31; Brevetti nazionali: 3

Recentemente CP ha lavorato nello studio e analisi dell'interazione del gas naturale con i materiali costituenti l'impianto di distribuzione (rame e acciaio inox), nell'odorizzazione del gas naturale e nella purificazione di miscele gas naturale/idrogeno per ottenere idrogeno ad elevata purezza dalla tecnologia del compressore elettrochimico dell'idrogeno. Inoltre, CP ha lavorato nell'idrogenazione catalitica di CO e CO₂ per dare idrocarburi mediante sintesi di Fischer Tropsch e del metanolo. C. Pirola ha ottenuto finanziamenti pubblici e privati come PI per un totale di circa € 310.000, a cui vanno aggiunti circa 50.000 euro di attività per conto terzi.

Alberto Villa è professore associato di chimica inorganica e si occupa dello sviluppo di catalizzatori eterogenei per la produzione di idrogeno e biocarburanti dalla biomassa lignocellulosica. Consegue il dottorato nel 2007 in Chimica industriale con una tesi dal titolo "Gold based catalysts: development characterization and uses", Ha lavorato due anni come postdoc presso il Fritz Haber Institute of Max Planck Gesellschaft di Berlino, dove sviluppa catalizzatori eterogenei per la produzione di biodiesel da trigliceridi. È stato visiting professor al Rutherford Appleton Laboratory (Harwell, UK). Negli ultimi anni l'attività di ricerca è principalmente focalizzata sulla sintesi di materiali catalitici, la caratterizzazione e l'applicazione in reazioni in fase liquida con particolare interesse alla valorizzazione delle risorse rinnovabili tra cui la biomassa, in particolare la trasformazione della lignocellulosa e dei suoi derivati in prodotti di chimica fine e biocarburanti (e.g. riduzione dell'acido levulinico a gammavalerolattone, ossidazione dell'idrossimetilfurfurale (HMF) ad acido 2,5 furandicarbossilico (FDCA), idrogenazione del furfurale ad alcol furfurilico). Studia inoltre la produzione di idrogeno da molecole quali acido formico ed idrazina. È autore di 180 articoli su riviste internazionali, 1 brevetto, 8 contributi su volumi con codice ISBN. Ha pubblicato inoltre due libri su catalizzatori a base di Au (Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. 2016) e su catalizzatori carboniosi metal-free (RSC 2018). Collabora con aziende (TotalEnergies e Eastman Chemical) e diversi gruppi di ricerca nazionali ed internazionali, tra cui Paul Scherrer Institut, Dr. Davide Ferri; University College of London, Prof. Catlow; Rutherford Appleton Laboratory, Dr. Peter Wells; Karlsruhe Institut für Technologie, Dr. Wang, Università di Bologna, Prof Dimitratos. Negli ultimi anni è stato responsabile scientifico

di progetti di ricerca e/o mobilità internazionale finanziati da vari enti. Indici Bibliometrici: Scopus ID 7201597914, H-Index = 46, citazioni 3878 (05/05/22)

Marco Scavini è professore associato di chimica fisica presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Milano. Si è laureato in Chimica (110/110) nel 1992 presso l'Università di Milano e quindi ha conseguito nel 1996 il Dottorato in Chimica svolgendo il corso di Dottorato presso un Consorzio costituito della Università di Genova, Pavia, Torino.

Esperienze professionali: 1990-1991: 7° Battaglione Carri della Brigata Garibaldi dell'Esercito Italiano; 1996-997 imprenditore presso S.P.M. s.a.s; 1997-1998: addetto all'Assicurazione di Qualità presso l'azienda Farmaceutica "Farmabios srl"; 1998-2018 ricercatore del Dipartimento di Chimica dell'Università di Milano; 2018-oggi presta servizio presso la medesima struttura nel ruolo di Professore Associato.

Marco Scavini è stato relatore di 4 Tesi di Dottorato e 20 Tesi magistrali. Il suo ambito di ricerca riguarda la sintesi e caratterizzazione di ossidi funzionali per l'energetica (tra i quali conduttori ionici, superconduttori, dielettrici, multiferroici) al fine di rivelare la relazione tra la struttura, la termodinamica dei difetti e le loro proprietà fisiche. A tal fine Marco Scavini svolge gran parte delle sue ricerche presso sorgenti di Luce di Sincrotrone e di neutroni. Inoltre è stato membro dei Review Committees di ESRF. Infine è il responsabile del laboratorio EPR del Dipartimento di Chimica di UNIMI. Marco Scavini ha diverse collaborazioni internazionali con ricercatori del sincrotrone europeo (ESRF) dell'Institut Laue Langevin (Grenoble) delle Università di Darmstadt, Augsburg, del *Max Planck Institute di Dresda*.

Indici Bibliometrici: (ORCID ID: 000-0002-9242-6601, Scopus ID: 7003627874, Google scholar ID: FNqzcfYAAAAJ)

Scopus: (81 papers): H-index = 20; Citations = 1250; Average citations per item: 15.4.

Carlo Castellano è PhD in Fisica e professore associato di Chimica generale ed inorganica. A seguito di una formazione presso numerosi Istituti nazionali e internazionali, ha maturato una solida esperienza nello studio strutturale di sistemi complessi mediante assorbimento di raggi X da luce di sincrotrone (EXAFS), diffrazione di raggi X e neutroni da polveri a da cristallo singolo, scattering a piccolo angolo di neutroni, riflettività e scattering di neutroni e raggi X. E' autore di 118 pubblicazioni peer-reviewed pubblicate su riviste internazionali.

La sua attività scientifica è incentrata su 3 principali tematiche:

- Studio della struttura e delle proprietà magneto-conduttive di sistemi a forte correlazione elettronica come ossidi complessi di terre rare e metalli di transizione (manganiti, spinelli, piroclori ecc...) utili per la realizzazione di catodi IT-SOFC;
- Studio della dinamica e della struttura di polimeri inorganici nano-strutturati basati su leganti azotati e metalli di transizione (utili per assorbimento di gas e solventi);
- Studio della struttura e della dinamica di membrane lipidiche e dei loro complessi con DNA e farmaci.

Alberto Vertova è professore associato presso il Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano, dal 2010, dove svolge la sua attività didattica e di ricerca sui temi della conversione dell'energia, della fotoelettrochimica, della cinetica elettrochimica e dei processi elettrochimici per i trattamenti ambientali. Ha ottenuto nel 2007 un finanziamento dalla Regione Lombardia, all'interno del progetto INGENIO, per la verifica della ricaduta industriale dell'uso di nuovi biosensori amperometrici a base di SAM adsorbiti su oro. Inoltre è stato PI di due finanziamenti nazionali: Prin 2008: 2008PF9TWZ e Cariplo Foundation (2010/0506) ed è subentrato alla prof. Sandra Rondinini come responsabile di unità per il PRIN 2017 - protocollo: 2017YH9MRK.

È co-autore di un brevetto sulla preparazione, rapida ed economica, di microelettrodi flessibili per applicazioni alla Scanning Electrochemical Microscopy; domanda numero: 102019000024193; data di presentazione: 17/12/2019. È membro del Collegio Docenti della Scuola di Dottorato in Chimica dell'Università degli Studi di Milano. Ha ottenuto l'Abilitazione Scientifica Nazionale a Professore di Prima Fascia nel 2018. È autore di oltre 80 pubblicazioni su riviste internazionali peer-reviewed a medio-alto impact factor. ID Scopus [6603795616](#). Orcid: 0000-0003-3858-9730, citations 1725, h-index 24.

Alessandro Minguzzi, PhD in Chimica Industriale nel 2007, è professore associato di chimica fisica dal 2020 e si occupa di elettrocatalisi e foto-elettrocatalisi per reazioni di interesse nell'accumulo e nella conversione dell'energia, nella degradazione dei reflui, nella chimica elettroanalitica, nel riciclo di elementi critici e, più in generale, nell'elettrificazione dei processi chimici. Nel corso degli anni ha sviluppato tecniche e metodi innovativi basati sull'uso dei microelettrodi per la valutazione rapida degli elettrocatalizzatori e per lo studio dei meccanismi di reazione. Una parte fondamentale della sua ricerca si è rivolta allo sviluppo e all'uso di tecniche in-situ/operando basate sulle spettroscopie di assorbimento di raggi X per lo studio di sistemi di interesse nell'elettrochimica, nella fotoelettrochimica e nella fotochimica. Ha trascorso periodi come *visiting scientist* presso il CNRS (Thiais, FR), l'Università di Alicante (Spagna) e la University of Texas at Austin ed è stato invitato a svolgere attività

seminariale e congressuale presso prestigiose università (Stanford, Gothenburg, Southampton) e convegni nazionali e internazionali (ad es. Congresso della Società Chimica Italiana, Giornate dell'Elettrochimica Italiana, Associazione Italiana di Cristallografia, International Society of Electrochemistry, Workshops on scanning electrochemical microscopy).

Questo ha portato alla pubblicazione di 74 articoli su riviste internazionali, 4 capitoli di libro e un brevetto. (*h index* 22, con >1700 citazioni, Scopus, maggio 2022) ed è stato possibile grazie a finanziamenti pubblici e privati, come PI, per più di 450 k€, senza contare i numerosi finanziamenti concessi da panel internazionali per l'accesso alle *large scale facilities* (> 2500 ore di tempo macchina negli ultimi 10 anni).

L'esperienza maturata ha portato all'organizzazione di convegni e scuole (Giornate dell'elettrochimica italiana 2016 e II Mediterranean Symposium: Electrochemistry for Environment and Energy, 2022 Conventional and High-Energy Spectroscopies for Inorganic, Organic and Biomolecular Surfaces and Interfaces), oltre al figurare nel comitato scientifico o organizzatore di più di 10 convegni e scuole nazionali ed internazionali. L'apprezzamento del lavoro svolto ha portato a numerosi riconoscimenti: premi AMEL e FIAMM, Divisione di Elettrochimica della SCI, Premio Levi 2014 (SCI), 2010 ISE Travel Award, Borsa di studio Fondazione Oronzio e Niccolò DeNora 2007. L'attività didattica ha compreso la supervisione di laureandi (30 come relatore o correlatore), di PhD (7 come tutor o cotutor), oltre alla responsabilità scientifica di 3 post-doc.

Mariangela Longhi è ricercatore confermato per il Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano dal 2004, dove svolge la sua attività didattica e di ricerca sulla sintesi e caratterizzazione di materiali elettrocatalitici per reazioni inorganiche, quali OER e ORR, e organiche. I materiali d'interesse sono ossidi di metalli di transizione, materiali carboniosi quali carboni attivi e nanostrutturati, nanotubi. Ultimamente ha messo a punto una sintesi di nanocubi di carbonio drogati azoto. Il suo interesse è rivolto anche alla loro caratterizzazione chimico-fisica. Ha fatto parte di team di ricerca in numerosi progetti Cariplo e ministeriali. È stata PI in un Progetto della Regione Lombardia in collaborazione con ZSW di Ulm sulla messa a punto di materiali Pt-free per ORR in pile a combustibile. È stata partner straniero in un progetto della Science Ireland Foundation, PI Prof.ssa Paula Colavita, con cui collabora da molti anni. È co-autrice di un brevetto internazionale sui materiali Pt-free per ORR (U.S. Pat. Appl. Publ. (2014), US 20140162869 A1 20140612, PCT Int. Appl. (2013), WO 2013001040 A1 20130103), la cui licenza è stata concessa ad un'importante multinazionale del settore. Ha pubblicato 45 lavori su riviste internazionali, ha presentato più di 50 lavori a congressi nazionali e internazionali, di cui alcuni su invito. Ha l'abilitazione per professore di seconda fascia in CHIM/02. H-index 15. N. citazioni (Scopus) 685. Orcid ID; 0000-0002-0014-3576. Scopus ID 7004466177. Ha ricevuto il premio della Fondazione De Nora per la sua tesi di Dottorato.

Daniela Maggioni è professore associato in chimica inorganica e si occupa della sintesi, funzionalizzazione e caratterizzazione di vari tipi di nanoparticelle inorganiche o ibride organiche-inorganiche, studiate tramite microscopie, spettroscopie quali UV-vis e FTIR e tecniche termogravimetriche. Inoltre è esperta di risonanze magnetiche, spettroscopia utilizzata sia in soluzione ad alta risoluzione per lo studio degli agenti cappanti sulla superficie delle nanoparticelle e la loro eventuale dinamica che allo stato solido (ss-NMR).

Si laurea in Chimica nel 1999 presso il dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano, dopo aver trascorso un periodo di 6 mesi presso i laboratori di ricerca e sviluppo della compagnia farmaceutica Hoffman-LaRoche a Basilea (Svizzera). Dopo aver vinto una borsa biennale post-laurea di Federchimica su un progetto commissionato e finanziato da Montell Italia (ora Basell Polyolefis Italia), consegue nel 2005 il dottorato di ricerca in Scienze Chimiche e nel 2006 vince un assegno post-doc presso il centro di eccellenza CIMAINA (Unimi), lavorando nel campo dei materiali nanostrutturati a base di TiO₂. Dal 2006 diventa ricercatrice universitaria e dal 2019 professore associato. È coautrice di 60 articoli su riviste internazionali peer-reviewed a medio-alto impact factor (*h index* = 21, Numero totale di citazioni Scopus = 1359). Indici bibliometrici: Scopus Author ID 6701792207; Orcid 0000-0001-5201-4824; Researcher ID: A-5932-2012.

Publicazioni selezionate dell'unità di ricerca

1. "Carbon Dioxide Methanation: design of a fully integrated plant", A. Tripodi, F. Conte, I. Rossetti, *Energy&Fuels*, 34(6) (2020) 7242-7256.
2. "5 kW_{el} + 5 kW_{th} PEM-FC generator from bioethanol: fuel processor and development of new reforming catalysts", Ilenia Rossetti, Cesare Biffi, Gian Franco Tantardini, Mario Raimondi, Edoardo Vitto, Davide Alberti, *Int. J. Hydrogen Energy*, 37(12) (2012) 8499.
3. "Quantification of "delivered" H₂ by a volumetric method to test H₂ storage materials", I. Rossetti, G. Ramis, *Int. J. Hydrogen Energy*, 38 (2013) 13309.

4. "Hydrogen storage over metal-doped activated carbons", I. Rossetti, G. Ramis, Alessandro Gallo, Alessandro Di Michele, *Int. J. Hydrogen Energy*, 40 (2015) 7609.
5. "Process simulation and optimization for H₂ production from bioethanol and its use in fuel cells. 2 – Process analysis and optimization", I. Rossetti, M. Compagnoni, M. Torli, *Chem Eng. J.*, 281 (2015) 1036-1044.
6. "Techno-economic analysis of a bioethanol to hydrogen centralized plant", M. Compagnoni, E. Mostafavi, A. Tripodi, N. Mahinpey, I. Rossetti, *Energy&Fuels*, 31 (11) (2017) 12988–12996
7. D. Previtali, M. Longhi, F. Galli, A. Di Michele, F. Manenti, M. Signoretto, F. Menegazzo, C. Pirola, "Low pressure conversion of CO₂ to methanol over Cu/Zn/Al catalysts. The effect of Mg, Ca and Sr as basic promoters", *Fuel* 274 (2020) 117804.
8. T. N. Eran, F. Galli, F. Mazzoni, M. Longhi, A. Grainca, G. Patience, C. Pirola, "Metallosilicates as an iron support to catalyze Fischer-Tropsch synthesis", *Cat. Today*, in press (2022)
9. "Probing complex disorder in Ce_{1-x}Gd_xO_{2-x/2} using the Pair Distribution Function Analysis". M. Scavini*, M. Coduri, M. Allieta, M. Brunelli, C. Ferrero. *Chemistry of Materials* 24 (2012) 1338-1345. DOI: 10.1021/cm203819u.
10. "One step flame made fluorinated Pt/TiO₂ photocatalysts for hydrogen production". G. L. Chiarello, M. V. Dozzi, M. Scavini, J. -D. Grunwaldt, E. Selli*. *Applied Catalysis B*, 160-161 (2014) 144-151. 10.1016/j.apcatb.2014.05.006.

Personale da acquisire

Di propone la cooptazione di 4 giovani ricercatori che lavoreranno al 100% sul progetto tramite un assegno di ricerca della durata di 32 mesi. Le qualifiche e responsabilità saranno:

- 1) Ricercatore con > 3 anni esperienza post-doc, formazione chimica industriale, ingegneria chimica, chimica, scienza/ingegneria dei materiali. Coinvolto in OR3 e OR8 e coadiuvante per il PI nella supervisione delle attività;
- 2) Ricercatore con < 3 anni esperienza post-doc, formazione chimica, chimica industriale, ingegneria chimica, scienza/ingegneria dei materiali. Coinvolto in OR3 e OR8;
- 3) Ricercatore con < 3 anni esperienza post-doc, formazione chimica, chimica industriale, ingegneria chimica, scienza/ingegneria dei materiali. Coinvolto in OR1 e OR8;
- 4) Ricercatore con < 3 anni esperienza post-doc, formazione chimica, chimica industriale, ingegneria chimica, scienza/ingegneria dei materiali. Coinvolto in OR1 e OR8;

Capacità di coordinare attività con soggetti terzi

Il PI dell'unità UNIMI ha ampia esperienza nella gestione di progetti come coordinatore sia di unità che di progetti complessi di cui è stata capofila. Inoltre, l'attitudine alla ricerca applicata e goal-oriented è dimostrata dall'ampia esperienza nella gestione di contratti di ricerca con privati. Una selezione è qui di seguito riportata:

Progetti finanziati da enti pubblici o privati negli ultimi 3 anni

I. Rossetti

PI internazionale del progetto finanziato da Fondazione Cariplo (2021) "2021-0855 SCORE - SOLAR ENERGY FOR CIRCULAR CO₂ PHOTOCONVERSION AND CHEMICALS REGENERATION", 300 kEuro

PI del contratto di ricerca Claind Srl (2022) per la combustione catalitica di CH₄.

PI del contratto di ricerca Polaris Engineering Srl (2019-22) per la realizzazione di un impianto di produzione di CO.

PI del contratto di ricerca Greensport Srl (2021) per la realizzazione di un sistema di distribuzione di acqua ozonata.

PI del contratto di ricerca AB Impianti (2020) per l'upgrade di biogas a biometano per la messa in rete di distribuzione.

PI del contratto di consulenza EWENCO (2019) per la valutazione della fattibilità tecnica della tecnologia E-Ilum TECHNOLOGY APPLIED TO ADSORPTION-BASED COOLING CYCLES

C. Pirola

2022: PI del contratto di ricerca "Thermal stability characterization of cyclopentane in long endurance test, prosecution", Nuovo Pignone

2021: PI del "VIRTCHEM project: The VIRTual Immersive Education for CHEMistry and Chemical Engineering", call "4eu + Educational Project Proposal" of the 4eu + European University Alliance in collaborazione con Charles University in Prague e Sorbonne University in Paris.

2021: PI del contratto di ricerca "Thermal stability characterization of cyclopentane in long endurance test", Nuovo Pignone.

2020: PI del contratto di ricerca "Study of the stability of the odorant molecules of natural gas in contact with different plant materials", REGAS.

2019: PI del contratto di ricerca "Development of a gas chromatographic analysis system for the analysis of a natural gas mixture", REGAS.

2019: PI del contratto di ricerca "Development of a synthesis procedure for the production of Phosphoric acid, 2-ethylhexyl ester CAS 12645-31-7", ITERCHIMICA.

M. Scavini

È stato PI di 25 esperimenti approvati presso il "European Synchrotron" ESRF, 7 presso il "Institut Laue Langevin (ILL)", 3 presso il "Ruthefor Appleton Laboratory" (RAL), 1 presso il "Paul Sherrer Institut" PSI e 2 presso ELETTRA. Tutti gli esperimenti sono stati approvati da comitati internazionali di esperti secondo bandi competitivi e ciascuno corrisponde a grant dell'ordine di 10 kEuro.

C. Castellano

È stato PI di 30 progetti approvati da panels scientifici presso facilities internazionali (sincrotroni e sorgenti di neutroni) e finanziati dall' Unione Europea.

UNIPD

Competenze nell'ambito tecnologico

L'unità di ricerca UNIPD mette a disposizione del progetto due competenze in ambito elettrochimico ed ingegneristico. Il gruppo del DiSC vanta ampie competenze nello sviluppo di materiali e dispositivi per la conversione elettrochimica dell'energia. In questo progetto verranno messe a frutto per lo sviluppo di materiali elettrodi per SOFC reversibili e per l'assemblaggio di un dispositivo SOFC reversibile, operante a temperatura intermedia per la dimostrazione del sistema integrato P2G/G2P. I gruppi appartenenti ai dipartimenti DII e DTG mettono invece a disposizione una pluriennale competenza nello sviluppo di modelli multi-obiettivo per l'ottimizzazione e la valutazione economica di sistemi complessi, con particolare riferimento ai sistemi di conversione e/o distribuzione dell'energia. Nel dettaglio si evidenziano le seguenti competenze.

Personale strutturato coinvolto

Antonella Glisenti è professore ordinario settore Chim03.

28 marzo 1988 - Laurea in Chimica – Università di Padova – Dipartimento di Scienze Chimiche - DiSC

aprile 1988 - Abilitazione all'esercizio della professione di chimico.

5 settembre 1988 - Borsa di studio biennale Federchimica Università di Venezia.

21 settembre 1993 - Titolo di Dottore in Scienze Chimiche Università di Padova

7 giugno '93/21 gennaio '94 - post-dottorato "Advanced Magnetic Recording Laboratory" IBM (San Jose - CA).

10 febbraio '94/7 dicembre '94 - Post-dottorato, presso l'Università di Padova

7 dicembre '94 - Ricercatore settore scientifico-disciplinare CHIM03.

8 aprile '08 - Laurea in Architettura presso l'Istituto Universitario di Architettura di Venezia

21 dicembre '10 – Professore associato settore Chim03 (DiSC – UNIPD)

7 gennaio 2020 Professore ordinario settore Chim03 (DiSC – UNIPD).

Ha partecipato ai lavori di varie commissioni per Valutazione Comparativa per posti di Ricercatore e a varie commissioni per la difesa del titolo di Dottore in Università italiane ed estere. L'attività di docenza attuale è per il corso di Chimica Generale ed Inorganica (Laurea in Scienze del Farmaco) e di Materiali Inorganici Funzionali (Laurea Magistrale in Scienza dei Materiali). Relatrice e correlatrice di oltre 70 tesi (Tesi Triennali, Magistrali e di Dottorato – Doctor Europeus), controrelatrice di 10 Tesi Magistrali. Ho accolto 5 studenti stranieri (Tesi Magistrale e di Dottorato) e diversi Visiting Scientists.

Obiettivo della ricerca è la progettazione e lo sviluppo di materiali e dispositivi per uno sviluppo sostenibile. Nella sua struttura attuale il gruppo di ricerca della Prof. Glisenti è strutturato intorno a due filoni di ricerca: catalisi (catalizzatori per la produzione di "idrogeno verde", conversione di anidride carbonica "da gas serra" a combustibile, abbattimento di inquinanti gassosi da impianti fissi e nel settore degli autoveicoli) ed elettrocatalisi (Materiali anodici per celle ad ossido solido funzionanti a temperatura intermedia con combustibili anche diversi dall'idrogeno, Elettrodi per celle ad ossido solido reversibili e simmetriche (Energy storage), Materiali per co-elettrolisi ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$)). L'attività scientifica della prof.ssa Glisenti è documentata da oltre 260 contributi (160 pubblicazioni, 2 capitoli su testo, 100 comunicazioni a congressi, due brevetti). Indici bibliometrici: Scopus. Numero articoli 150, H-index 35, citazioni 3488. Web of Science: Articoli 129, H-index 34, citazioni 2682, Google scholar: articoli 186, H-index 38, citazioni 4246, i-index 82; Research gate H-index 35.

Collaborazioni CNRS, DTU Technical University of Denmark Department of Energy Conversion and Storage – University of St. Andrew, dell'Université de Lyone - Ecole de Mine de Saint-Etienne; Technische Universiteit Eindhoven Department of Chemical Engineering and Chemistry Inorganic Membranes and Membrane Reactors Energy and Environment Research Division. Paul Scherrer Institut Zurigo (CH). Department of Materials – Imperial College London. Commisariat a l'énergie atomique et aux énergies alternatives., SOLIDpower SpA. Fiaxell, ENEA – CASALE SA (Lugano CH) Institute of Environmental Sciences Leiden University. Université de Lille 1 - National Center for Scientific Research "DEMOKRITOS" National Technical University of Athens, Universiteit Antwerpen University of Chemistry and Technology of Prague University of Birmingham, Department of Mechanical Engineering L'UREDERRA, Fundacion para el desarrollo tecnologico y social - Los Arcos Spagna –

Stefano Agnoli si è laureato con lode in Scienza dei materiali presso l'Università di Padova dove nel 2006 dove ha anche conseguito un dottorato Europeo in Scienza dei Materiali dedicandosi principalmente allo studio di film ultrasottili di ossidi supportati su cristalli singoli di metalli. Dopo un periodo come assegnista di ricerca presso il dipartimento di scienze chimiche dell'Università di Padova, nel 2009 è entrato come ricercatore Post-Doc nel gruppo di catalisi del Dr. J. Rodriguez presso il Dipartimento di Chimica del Brookhaven National Lab (NY, USA) interessandosi di sistemi catalitici a base di ceria e metalli di transizione per la produzione catalitica di idrogeno (water gas shift) e la conversione di alcoli (steam reforming). Nel 2010 ha ottenuto la posizione di ricercatore Universitario presso il dipartimento di scienze chimiche dell'Università di Padova dove è divenuto professore associato nel 2015 e quindi professore ordinario (SSD chim/03) nel 2021. Qui ha continuato lo studio di sistemi catalitici modello attraverso un approccio di scienza delle superfici cui ha successivamente affiancato la realizzazione di materiali applicati tra cui ossidi complessi (drogati, core@shell, con forma e morfologia controllate), materiali bidimensionali (grafeni modificati e calcogenuri di metalli di transizione) e materiali ibridi (MOFs, compositi carbonio/ossidi metallici). In questo periodo si è concentrato su diversi aspetti della catalisi eterogenea occupandosi di reazioni gas-solido (ossidazioni del CO, conversione di alcoli, deidrogenazioni selettive), elettrocatalisi (reazione di riduzione dell'ossigeno, elettrolisi dell'acqua) e eterogeneizzazione di catalizzatori molecolari per la sintesi di composti di chimica fine (ossidazioni selettive attivazione del legame C-H). Il prof. Agnoli è stato coordinatore locale del Progetto Fibr Giovani 2012 (RBFR128BEC), work package leader del Progetto europeo DECORE (NMP-2012-SMALL-6 309741), coordinatore locale del progetto PRIN 2015 Multi-e (20179337R7), e membro del team scientifico di diversi progetti europei e nazionali italiani. Nel 2015 il prof. Agnoli ha ricevuto la medaglia Nasini conferita al più meritevole chimico inorganico con meno di 40 conferita dalla SCI divisione inorganica e nel 2017 ha ottenuto una Fulbright fellowship per svolgere attività di ricerca presso l'università di California, Berkeley. Il prof. Agnoli ha pubblicato più di 170 articoli su riviste internazionali, conseguendo un h-index di 40 e più di 6500 citazioni (dati scopus).

Christian Durante è professore associato di chimica fisica al dipartimento di Scienze Chimiche dell'università di Padova, dove lavora come coordinatore del gruppo di Elettrocatalisi ed Electrochimica applicata. In particolare è attualmente coinvolto in ricerche sulla produzione e storage di energia. È interessato a studi fondamentali sugli effetti catalitici associati alle dimensione e morfologia di nanoparticelle metalliche e leghe, depositate su elettrodi a base di carbonio drogati con N e/o S. È particolarmente interessato all'applicazione di tecniche elettrochimiche e spettroelettrochimiche (e.g. electrochemical tunnelling scanning microscopy, operando Raman) per studiare e definire l'evoluzione del sito catalitico durante il processo.

Ha supervisionato 6 PhD, 28 studenti di tesi magistrale, più di 30 tesisti triennali, 15 ricercatori e 6 postdoc. È autore di più di 8 pubblicazioni scientifiche (h-index 29, Scopus) ed ha presentato oltre 50 talks a conferenze nazionali ed internazionali. L'impatto medio per pubblicazione ISI supera 9, è quasi 11 riferendosi solo agli ultimi 5 anni e più del 80% delle pubblicazioni è nel primo quartile del ranking delle pubblicazioni. È attualmente segretario della Divisione di Elettrochimica della Società Chimica Italiana e membro dell'editorial board di ChemElectroChem.

Laura Calvillo è professore associato dal 2019 nel Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova. Ha conseguito il Dottorato Europeo in Ingegneria Chimica (Cum Laude) nel 2008, Università di Zaragoza, Zaragoza, Spagna e si è laureata come Ingegnere Chimico nel 2004, Centro Politécnico Superior, Università di Zaragoza, Zaragoza, Spagna. Ha pubblicato 3 brevetti, 84 articoli, 2 capitoli di libro, che raccolgono 2232 citazioni, per un h-index di 29 (Scopus, maggio 2022).

Andrea Lazzaretto è professore ordinario di Sistemi Energetici al Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII) dell'Università di Padova dal 2019. Prima professore associato e ricercatore presso la stessa università. PhD in Energetica, 1992 e Laurea in Ingegneria Meccanica, 1986. Research Scholar nel 1991 presso la Tennessee Technological University, USA. ASME fellow dal 2010. Vincitore dell'ASME Edward F. Obert Award per "outstanding paper on Thermodynamics" nel 1998, 2007 e 2018. Vincitore del Best paper Award alla conferenza ECOS 2017 a San Diego, USA. È attualmente vice-chair dell'Executive Committee dell'Advanced Energy Systems Division dell'ASME. Membro dell'Editorial Board di Energies dal 2019, associate editor dell'ASME Journal of Energy Resources Technologies dal 2006 al 2016. L'attività di ricerca riguarda la simulazione, ottimizzazione, analisi termoeconomica di impatto ambientale e di malfunzionamenti di sistemi energetici e dei loro componenti ed è stata finalizzata alla ricerca di nuovi metodi e della loro applicazione ingegneristica. Negli ultimi anni il focus principale dell'attività è rivolto ai sistemi multi-energie, composti da diverse unità di generazione, conversione e stoccaggio alimentate da fonti rinnovabili e non rinnovabili. È autore o coautore di oltre 250 articoli scientifici, 100 dei quali pubblicati sulle principali riviste scientifiche internazionali del settore dell'energia. Lo Stanford Index lo classifica nel 2% dei migliori ricercatori al mondo (posizione 186178); posizione nella classifica di tutte le discipline: 58731 (2019) 65114 (2020); per la carriera 113931 (2019) 108359 (2020). Parametri bibliometrici Scopus: H-Index 33; Papers 186; Citations: 4326 by 3242 documents, 133 co-authors.

Massimo Masi è professore associato di Progetto del Motore a Combustione Interna e di Macchine e Sistemi per l'Energia e l'Ambiente al Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali (DTG) dell'Università di Padova dal 2022. Prima, ricercatore presso la stessa università dal 2011. PhD in Energetica (Progetto di Turbomacchine), 2000 e Laurea in Ingegneria Meccanica, 1996. Vincitore di borsa biennale all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), 1999. Borsista post-doc e assegnista di ricerca all'Università di Padova dal 2000 al 2010. La sua attività di ricerca ha portato a collaborazione come leader o partecipante a diversi progetti nazionali e contratti di ricerca dal 1998 su tematiche relative a problemi teorici, di simulazione numerica e di prova sperimentale di turbomacchine, combustori industriali e combustibili alternativi in motori a combustione interna. Membro ASME dal 2012 e membro del consorzio nazionale interuniversitario INSTM dal 2014. Vanguard chair del Fans&Blowers Technical Committee of the ASME International Gas Turbine Institute - IGTI dal 2021 (membro dal 2014) e membro del Comitato scientifico per la conferenza internazionale Fan2018. Autore di più di 60 articoli, prevalentemente pubblicati in giornali internazionali. Tutor di 1 Post-doc, 4 PhDs, e 65 tesi di laurea triennali e magistrali.

Pubblicazioni selezionate dell'unità di ricerca

- 1) Squizzato, E., Carollo, G.; Glisenti, A. $\text{Ca}_2\text{Fe}_{1.95}\text{Mg}_{0.05}\text{O}_5$: Innovative low cost cathode material for intermediate temperature solid oxide fuel cell, *Int. J. Hydrogen Energy* 46 (48), 2021, 24555-24566
- 2) Bedon, A.; Rieu, M.; Viricelle, J.P.; Glisenti, A.; Rational Development of IT-SOFC Electrodes Based on the Nanofunctionalization of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Fe}_{0.7}\text{O}_3$ with Oxides. PART 1: Cathodes by Means of Iron Oxide *ACS Appl. Energy Materials* 1, 2018, 6840-6850
- 3) Glisenti, A.; Bedon, A.; Carollo, G.; Savaniu, C.; Irvine J.T.S. Reversible, all-perovskite SOFCs based on La, Sr gallates *Int. J. Hydrogen Energy* 45, 2020, 29155
- 4) 2022 "Atom-by-atom identification of catalytic active sites in operando conditions by quantitative noise detection" M. Lunardon, T. Kosmala, C Durante, S Agnoli,* G Granozzi *Joule* 6, 617-635
- 5) 2022 "The Effect of the 3D Nanoarchitecture and Ni-Promotion on the Hydrogen Evolution Reaction in MoS₂/Reduced GO Aerogel Hybrid Microspheres Produced by a simple one-pot electrospray procedure" J Ran, L Girardi, G Dražić, Z Wang, S Agnoli,* H Xia, G Granozzi *Small*, 18, 2105694
- 6) 2021 Operando visualization of the hydrogen evolution reaction with atomic-scale precision at different metal-graphene interfaces T Kosmala, A Baby, M Lunardon, D Perilli, H Liu, C Durante, C Di Valentin, S. Agnoli,* G. Granozzi *Nature Catalysis* 4, 850-859

- 7) L. Calvillo (CA), F. Carraro, O. Vozniuk, ..., G. Granozzi, 2018, Insights into the durability of Co-Fe spinel oxygen evolution electrocatalysts via operando studies of catalyst structure, *J. Mater. Chem. A*, 6: 7034-7041.
- 8) Danieli P., Lazzaretto A., Al-Zaili, J. Sayma, A., Masi M., Carraro G., "The potential of the natural gas grid to accommodate hydrogen as an energy vector in transition towards a fully renewable energy system". *Applied Energy*, Vol. 313, (2022), 118843.
- 9) Rech S., Lazzaretto A., 2018, Smart rules and thermal, electric and hydro storages for the optimum operation of a renewable energy system, *Energy*, Volume 147, 15 March 2018, Pages 742-756.
- 10) Lazzaretto A., Toffolo A., 2004 "Energy Economy and Environment as Objectives in Multi-Criterion Optimization of Thermal Systems Design" *ENERGY*, Elsevier ed., vol.29, June, pp.1139-1157.

Personale da acquisire

Si propone la cooptazione del seguente personale a tempo determinato, coinvolto a tempo pieno sul progetto:

- 1) 1 RTDA
- 2) 3 assegnisti di ricerca < 3 anni di esperienza post-doc

Capacità di coordinare attività con soggetti terzi

Progetti finanziati negli ultimi 3 anni

A. Glisenti

2016-2019 H2020 NMP.23-2015 - Novel materials by design for substituting critical materials - Collaborative project - "Development of novel high performance hybrid TWV/GPF automotive after treatment systems y rational design: substitution of PGMs and rare earth materials" - 686086

2019-2020 FSE – European Community/Veneto Region New Single Chamber Fuel Cell for sustainable and low cost off-grid energy generation

2019-2020 FSE – European Community/Veneto Region New Life to Carbon Block for hydrogen storage

S. Agnoli

PRIN 2017, 20179337R7, 2019-2023 - Multi-e "Multielectron transfer for the conversion of small molecules: an enabling technology for the chemical use of renewable energy" (PI, unità locale)

MAECI, Italy-China Bilateral project, 2018-2021 Ginseng "graphene related Innovative 2D materials for sustainable energetics and catalysis" (membro unità)

EU H2020-JTI-FCH-2017-779366, 2018-2021 Crescendo "Critical Raw material ElectrocatalystS replacement ENabling Designed pOst-2020" (membro unità)

PRIN 2015 K7FZLH 2016-2020 Smartness "Solar driven chemistry: new materials for photo- and electrocatalysis" (membro unità)

C. Durante

Ha partecipato a tre progetti di ricerca europei (Cathcat, Decore e Crescendo per un budget totale di ca. 1 MEuro), dove era responsabile della sintesi di sistemi modello ed in particolare della caratterizzazione elettrochimica di materiali sviluppati per la reazione di riduzione di ossigeno in fuel cells. È stato coordinatore di due progetti UNIPD, nel 2013 e 2021, per la preparazione di carboni mesoporosi innovativi con proprietà combinate uniche chimiche, elettrochimiche e di trasporto di massa e per lo studio mediante electrochemical scanning tunnelling microscopy di metallo-porfirine come modello di single site catalyst per elettrocatalisi (budget 100 kEuro). È coordinatore del Progetto UNIMPRESA 2021 (DAMA, 120 kEuro) per lo sviluppo di batterie AGM con materiali carboniosi nanocompositi. È stato inoltre responsabile scientifico di due progetti finanziati da Fondazione De Nora (Flamenco e Magellano, 50 kEuro ciascuno). C. Durante ha anche coordinato tra il 2019 e il 2022 più di 10 contratti di ricerca industriali con aziende del Nord-Est (FIAMM, BRC-Metals, Legor Group, Mediochiampo, Soprim, Berkem, Pietro Forelli, s.r.l.) o internazionali (De Nora e Toyota Motor Europe) per un budget complessivo superiore a 400 kEuro.

L. Calvillo

PI unità locale del Progetto n.2017NYPHN8-PRIN 2017, "Metal activated 2D carbon-based platforms (MADAM)"

Ha partecipato ai progetti “Critical raw material electrocatalyst replacement enabling designed post 2020 PEMFC (CRESCENDO)”, H2020, FCH-01-2-2017, 01/2018-12/2021 e “GINSENG - Graphene related innovative 2D materials for sustainable energetics and catalysis”, MAECI

A. Lazzaretto

2020-2022 - Progetto UniImpresa GLASSCO2 “Studio e progetto di un impianto di potenza innovativo operante a CO2 per il recupero di energia da flussi di calore industriali di scarto a medio-bassa temperatura”, responsabile, 100000 euro.

2019-2021 – “Smart optimization of multi-energy systems, storages and interactions with energy networks”, Progetto di Ateneo, Università di Padova, responsabile, 30000 euro.

2018-2020 – “Studio di sistemi di Energy Harvesting da reti del gas naturale”, finanziato da Pietro Fiorentini S.p.A., responsabile, 30000 euro.

Brevetti:

"Ball valve with flow-rate gauge incorporated directly in the ball" - U.S. Patent Number: 6,923,074, 2 Agosto 2005, co-inventore.

“Impianto geotermico a risurriscaldamento rigenerativo e relativo procedimento” – Brevetto Italiano, numero deposito: 102021000000131, 5 Gennaio 2021, co-inventore (depositata domanda di brevetto internazionale “Regenerative reheating geothermal power plant and method”, PTC/IB2022/050015, 3 Gennaio 2022).

M. Masi

2021-2023 – Investimento Strategico di Dipartimento “Alternative energy systems to support the transition to 100% renewable scenarios”, Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali, Università di Padova, responsabile, 47500 euro.

2020-2022 - Progetto UniImpresa GLASSCO2 “Studio e progetto di un impianto di potenza innovativo operante a CO2 per il recupero di energia da flussi di calore industriali di scarto a medio-bassa temperatura”, co-responsabile, 100000 euro.

2018-2020 – “Studio di sistemi di Energy Harvesting da reti del gas naturale”, finanziato da Pietro Fiorentini S.p.A., co-responsabile, 30000 euro.

1.2. QUALITÀ DELLE COLLABORAZIONI

Con riferimento alle collaborazioni di progetto, sia nell'ambito dei co-proponenti che con prestatori di servizi, descrivere le competenze e le esperienze specifiche dei soggetti coinvolti rispetto alle tecnologie al cui sviluppo è finalizzato il progetto, l'attinenza delle attività previste nell'ambito della ricerca e la misura in cui le attività risultano necessarie per l'effettiva realizzazione del progetto. Indicare, inoltre, la percentuale dell'ammontare complessivo delle spese del progetto a carico dei diversi soggetti, con separata evidenza dei co-proponenti e dei prestatori di servizi.

Questo progetto ha radici in una pluriennale collaborazione esistente tra i vari membri delle tre unità di ricerca, collaborazioni volte ad arricchire le competenze del partenariato grazie ad una estesa multidisciplinarietà. Si mescolano infatti expertise in ambito chimico e fisico, utili per lo sviluppo dei materiali attivi per lo storage di H₂ mediante produzione di metano e per la produzione/conversione di H₂ grazie a materiali elettrochimici reversibili (UNIMI, UNIPD). Ampia attenzione è dedicata inoltre alla modellazione dei materiali ed alla loro caratterizzazione (UNIGE, UNIMI, UNIPD), allo scopo di ottimizzarne la formulazione e giungere alla definizione di un dispositivo di dimostrazione su scala di laboratorio (UNIPD), che sarà testato integrandolo in un sistema completo P2G/G2P che includerà la produzione di H₂ elettrolitico, la metanazione di CO₂ come mezzo per lo storage e distribuzione di H₂ green e l'uso del CH₄ nella cella IT-SOFC. Per quest'ultima attività dimostrativa saranno messe in campo le competenze chimico-industriali ed impiantistiche presenti in UNIMI.

Parallelamente, si completeranno le ampie competenze nell'ambito dell'ingegneria chimica, meccanica ed Elettrica (UNIGE, UNIPD) per la modellazione di dettaglio sia dei singoli componenti del sistema P2G/G2P, sia dell'innovativa soluzione di distribuzione e stoccaggio di vettori energetici 3PGG. Particolare attenzione verrà rivolta anche all'ottimizzazione multi-obiettivo (UNIPD) ed all'integrazione tra la rete gas e la rete elettrica (UNIGE). Infine, tutti questi risultati confluiranno in una valutazione complessiva dei sistemi proposti,

individuandone limiti da superare, condizioni ottimali di funzionamento, dando una stima preliminare dei costi e valutando complessivamente l'impatto ambientale (UNIMI).

Per quanto ogni unità sia responsabile dei propri Obiettivi Realizzativi (UNIGE OR4, OR5, OR6; UNIMI OR1, OR3 e OR8, UNIPD OR2 e OR7), ci saranno continui scambi, facilitati dalle consolidate collaborazioni, come schematizzato dalle frecce inserite nel diagramma di Gantt e descritto nel testo.

Del costo complessivo del progetto (3.5 MEuro), le varie unità espongono i seguenti costi:

UNIGE 1.25 MEuro (35.7%)

UNIMI 1.25 MEuro (35.7%)

UNIPD 1.00 MEuro (28.6%)

1.3. RISORSE TECNICHE E ORGANIZZATIVE

Descrivere l'adeguatezza delle risorse strumentali e organizzative a disposizione del progetto. Con riferimento all'adeguatezza delle risorse strumentali indicare l'idoneità e la rispondenza delle apparecchiature scientifiche e delle strutture dedicate alle attività di ricerca e sviluppo già in possesso del proponente; per le risorse strumentali di nuovo acquisto descrivere la pertinenza dei beni al progetto fornendo indicazioni utili a giustificare la congruità del relativo costo. Per quanto riguarda le risorse organizzative descrivere le procedure organizzative utilizzate dal proponente per la gestione di progetti di ricerca e sviluppo e le procedure adottate per la gestione delle attività. Indicare l'esperienza e le competenze professionali del responsabile tecnico del progetto. Indicare eventuali altri progetti di ricerca e sviluppo da realizzare nello stesso arco temporale del progetto proposto. Evidenziare la pertinenza dei costi e la congruità delle attività progettuali di ciascuna fase rispetto ai tempi fissati per la realizzazione del progetto e alle attività di ricerca e sviluppo in essere, anche in considerazione di eventuali sovrapposizioni temporali con altri progetti e per quanto necessario ad assicurare la coerenza con la tempistica prevista, il rispetto dei vincoli di durata del progetto a norma di quanto previsto dall'Avviso, e la coerenza interna delle fasi in cui si articola il progetto.

UNIGE

Apparecchiature e strutture già disponibili: sono disponibili attrezzature e relativo apparato analitico per effettuare test sperimentali di oxyfuel combustion. Sono disponibili infrastrutture per calcolo e modellazione, che verranno potenziate come segue.

Attrezzature da acquisire: si propone l'acquisto di una workstation per aumentare la potenza e velocità di calcolo. Il costo previsto è 30 kEuro, di cui si esporrà una quota di ammortamento pari a 25500 euro.

Procedure organizzative di gestione delle attività: Coordinamento delle attività, con monitoraggio delle scadenze per deliverables milestones e flusso di informazione tra i partner e tra gli OR parte del PI; coordinamento dei singoli OR da parte dei team leaders, indicati al paragrafo 7.2. Si utilizzeranno metodi e strumenti appropriati di project management per assegnare attività e monitorarne il progresso e la reportistica (ad es. Click up).

Progetti contemporaneamente in corso: SCORE Fondazione Cariplo

Coerenza dei costi e delle tempistiche: I costi di progetto sono basati sulla quantificazione del materiale, missioni, disseminazione e spese di personale da acquisire e già strutturato. In particolare le risorse umane dedicate (268 mesi/uomo, di cui 244 di personale a tempo pieno sul progetto) sono ampiamente adeguate al raggiungimento degli obiettivi. I tempi e le scadenze per il conseguimento dei risultati e per il trasferimento dei risultati ad altri OR sono indicati nel Gantt. La consequenzialità delle attività è rispettata e ci sono margini di manovra in caso di imprevisti e ritardi.

Si osservi che il progetto ha una scadenza indicativa dopo 36 mesi dall'avvio (30/08/2025), ampiamente anteriore rispetto al termine fissato dall'ente per il termine complessivo e la rendicontazione di tutte le attività.

UNIMI

Apparecchiature e strutture già disponibili: sono disponibili attrezzature (già descritte nella parte 1) per la preparazione di catalizzatori, materiali per elettrodi ed elettroliti. Sono disponibili le principali tecniche analitiche per la caratterizzazione di catalizzatori eterogenei e materiali solidi, nonché l'accesso ad infrastrutture specializzate (piattaforme di ateneo e centri di ricerca internazionali). Sono disponibili infrastrutture per calcolo e modellazione, con i pacchetti software necessari per OR8.

Attrezzature da acquisire: si propone l'acquisto di un sistema multireattore munito di microGC (120 keuro) e di un sistema TPD-TPR-MS (80 keuro) per la reazione di metanazione (sistema operante in continuo senza sorveglianza). Si vuole infatti duplicare l'attuale sistema di test per aumentare la capacità di test catalitico ed ammodernarlo con le opportune sicurezze per lavorare anche durante la notte ed i fine settimana. Si propone l'acquisto di un forno tubolare operante fino a 1500°C (15 keuro) per la preparazione di materiali per elettroliti ed elettrodi SO.

Procedure organizzative di gestione delle attività: Coordinamento delle attività, con monitoraggio delle scadenze per deliverables milestones e flusso di informazione tra i partner e tra gli OR parte del PI; coordinamento dei singoli OR da parte dei team leaders, indicati al paragrafo 7.2. Si utilizzeranno metodi e strumenti appropriati di project management per assegnare attività e monitorarne il progresso e la reportistica (ad es. Click up).

Progetti contemporaneamente in corso: SCORE Fondazione Cariplo

Coerenza dei costi e delle tempistiche: I costi di progetto sono basati sulla quantificazione del materiale, missioni, disseminazione e spese di personale da acquisire e già strutturato. In particolare le risorse umane dedicate (188 mesi/uomo, di cui 128 di personale a tempo pieno sul progetto) sono ampiamente adeguate al raggiungimento degli obiettivi. I tempi e le scadenze per il conseguimento dei risultati e per il trasferimento dei risultati ad altri OR sono indicati nel Gantt. La consequenzialità delle attività è rispettata e ci sono margini di manovra in caso di imprevisti e ritardi.

Si osservi che il progetto ha una scadenza indicativa dopo 36 mesi dall'avvio (30/08/2025), ampiamente anteriore rispetto al termine fissato dall'ente per il termine complessivo e la rendicontazione di tutte le attività.

UNIPD

Apparecchiature e strutture già disponibili: XPS-UPS (Thermo), XRD (Bruker), ISEM/EDX (Zeiss), Chemisorbitore/Adsorbitore (Micromeritics 2020 e 2920), FTIR (Bruker), GC-MS (Agilent), Stazione di test elettrochimico EIS (Autolab), 3 forni a muffola, 2 forni tubolari (uno con controllo dell'atmosfera del trattamento). Normale apparecchiatura di laboratorio chimico. Quadrupolo (ESS).

Attrezzature da acquisire: Generatore controllato di vapore

Procedure organizzative di gestione delle attività: Coordinamento delle attività, con monitoraggio delle scadenze per deliverables milestones e flusso di informazione tra i partner e tra gli OR parte del PI; coordinamento dei singoli OR da parte dei team leaders, indicati al paragrafo 7.2. Si utilizzeranno metodi e strumenti appropriati di project management per assegnare attività e monitorarne il progresso e la reportistica (ad es. Click up).

Progetti contemporaneamente in corso: Nessuno

Coerenza dei costi e delle tempistiche: I costi sono stati calcolati sulla base dei dati a disposizione sul costo del personale, dell'apparecchiatura richiesta, dei prodotti chimici e dei ricambi come risulta da ricerca di mercato attuale. Eventuali variazioni legate all'aumento di prezzi dovuto alla specifica situazione non sono facilmente prevedibili e preventivabili. In particolare le risorse umane dedicate (160 mesi/uomo, di cui 126 di personale a tempo pieno sul progetto) sono ampiamente adeguate al raggiungimento degli obiettivi. I tempi e le scadenze per il conseguimento dei risultati e per il trasferimento dei risultati ad altri OR sono indicati nel Gantt. La consequenzialità delle attività è rispettata e ci sono margini di manovra in caso di imprevisti e ritardi.

Si osservi che il progetto ha una scadenza indicativa dopo 36 mesi dall'avvio (30/08/2025), ampiamente anteriore rispetto al termine fissato dall'ente per il termine complessivo e la rendicontazione di tutte le attività.

2. QUALITÀ DEL PROGETTO

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

2.1. VALIDITÀ TECNICA

Descrivere gli elementi di validità del progetto in relazione ai contenuti tecnico/scientifici e di avanzamento delle conoscenze nello specifico ambito di attività, rispetto allo stato dell'arte nazionale e internazionale, con dettaglio del grado di innovazione e sostenibilità nell'ambito della tematica individuata tra quelle di cui all'articolo 5,

comma 1, dell'Avviso, e di quelle applicabili al progetto in ragione della misura contenute per l'Investimento 3.5 "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno" a valere sul Pnrr.

Il progetto avanza un concetto innovativo di accoppiamento P2G/G2P per superare le limitazioni intrinseche dello stoccaggio e distribuzione di H₂, già evidenziate nella Parte 1. La possibilità di immagazzinare e distribuire l'idrogeno green in forma di CH₄ consente di sfruttare in parte la rete esistente (eventualmente implementata in forma 3PGG, ma anche di sfruttare le norme già esistenti per trasporto, sensoristica, distribuzione ed uso del metano, con evidenti vantaggi per la filiera a valle.

Il progetto si inserisce in modo dimostrativo in un filone di ricerca di cui i proponenti sono esperti, limitando quindi i rischi. Del resto il progetto consente un investimento della giusta massa critica per arrivare alla dimostrazione della tecnologia P2G/G2P proposta ed al proof of concept del 3PGG.

Il risultato finale del OR8 è preliminare al prossimo stadio. I risultati verranno presentati agli stakeholder italiani, prevalentemente società operanti nel campo della produzione e distribuzione di energia, per il successivo stadio di dimostrazione su scala pilota. Si prevede una realizzazione pre-commerciale 3-5 anni dopo la chiusura di questo progetto.

L'integrazione in un sistema 3PGG è completamente nuovo ed apre numerose opportunità di sviluppo ed innovazione tecnologica. Il 3PGG è un concetto e un'idea originale italiana, che potrebbe essere strategica nei confronti di altri paesi UE ed extra-UE. I risultati del progetto saranno quindi oggetto di brevettazione, vista la mancanza di letteratura brevettuale a riguardo.

I materiali Sviluppati per SOFC reversibili si inseriscono in un ambito di ricerca molto innovativo, in cui tuttavia i proponenti hanno raccolto significativi risultati e sono riconosciuti nel campo a livello internazionale.

La misura deve sostenere la produzione di idrogeno elettrolitico a partire da fonti di energia rinnovabile ai sensi della direttiva (UE) 2018/2001 o dall'energia elettrica di rete, oppure attività legate all'idrogeno che soddisfino il requisito di riduzione delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita del 73,4 % per l'idrogeno [che si traduce in 3 t CO₂eq/t H₂] e del 70 % per i combustibili sintetici a base di idrogeno rispetto a un combustibile fossile di riferimento di 94 g CO₂eq/MJ, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001. La quantificazione precisa delle emissioni di CO₂ pe kg di H₂ prodotto o per kWh verrà effettuata nel corso del progetto e costituisce uno dei target. Tuttavia, globalmente, da valutazioni preliminari il progetto risulta competitivo per questa misura, rispondendo in modo efficace a tutte le linee di ricerca proposte in questo avviso e rispettando ampliamento i limiti di emissione prescritti dalla norma di riferimento e posti come vincolo dal bando.

Queste considerazioni valgono per tutti i partner di progetto.

2.2. RISULTATI ATTESI

Descrivere i risultati attesi del progetto. Descrivere gli elementi utili a valutare la rilevanza, l'utilità e l'originalità dei risultati attesi rispetto allo stato dell'arte. L'elemento di originalità deve essere evidenziato rispetto all'ambito internazionale (nazionale per le piccole e medie imprese) e non deve essere in alcun modo riconducibile a innovazioni meramente incrementali (nel caso di progetto congiunto, da effettuare per singolo proponente).

Descrivere la capacità del progetto di generare miglioramenti tecnologici e di sostenibilità tramite la successiva attività di ricerca e sviluppo nel settore/ambito di riferimento nel quale la conoscenza innovativa può essere utilizzata.

Il progetto mira a:

- 1) Sviluppare materiali per elettrodi reversibili SO operanti a temperature intermedie (600-650°C) o basse (400-600°C) (UNIMI, UNIPD). Questo risultato è scientificamente rilevante per l'attività proposta di interpretazione della relazione tra attività e proprietà chimico-fisiche e strutturali. È tecnologicamente rilevante per lo sviluppo di una tecnologia SOFC reversibile che può fornire la spinta contemporaneamente allo sviluppo di celle SOEC, che SOFC. L'interesse per due mercati di riferimento, seppur legati, amplia le possibilità di permeazione nel mercato.
- 2) Sviluppare un sistema di stoccaggio e distribuzione di H₂ in forma di metano (UNIMI, UNIGE). Il progetto, oltre a sviluppare materiali più efficienti e privi di metalli critici per la reazione, si concentra sulla reattoristica e la gestione impiantistica del sistema (sia durante la dimostrazione sperimentale in UNIMI, sia nella fase di modellazione in UNIGE). I vantaggi applicativi sono estremamente elevati, consentendo l'utilizzo di una rete ubiquitaria di distribuzione del GN e delle utenze a valle senza sostanziali modifiche rispetto ad oggi. Ciò consentirebbe immediatamente un abbattimento dell'impatto

ambientale nei sistemi G2P, sia grazie all'uso di sistemi efficienti ed intrinsecamente a minor impatto per la produzione di potenza (SOFC e OFC), sia grazie all'uso di SNG derivante da idrogeno green e da CO₂ sequestrato, quindi virtualmente a impatto zero o negativo.

- 3) Dimostrare sperimentalmente, ottimizzare e modellare (in stazionario e dinamico) un impianto integrato P2G/G2P e 3PGG (UNIGE, UNIMI, UNIPD). Questo consentirebbe, grazie all'adeguata intensità del finanziamento, di proporre la soluzione per l'industrializzazione entro i prossimi 10 anni, con evidente ritorno in termini di impatto ambientale nella conversione di energia, di slancio dell'economia dell'idrogeno e delle FER intermittenti, offrendo cioè un sistema di accumulo e distribuzione fattibile e facilmente implementabile.

2.3. EFFICIENZA, SOSTENIBILITÀ E DURABILITÀ

Rappresentare la misura in cui le finalità innovative indagate dalla ricerca sono raggiungibili e diffuse rispetto al minimo consumo possibile di risorse. Capacità dei risultati generati dal progetto di sostenersi nel tempo nell'ambito delle attività a valle di ricerca e sviluppo.

Il progetto si inserisce in un campo su cui i proponenti lavorano da tempo e ciò garantisce la presenza dell'adeguata competenza ed apparecchiature. Ciò consente un rapido avvio delle attività ed il mantenimento della tabella di marcia grazie al potenziamento delle infrastrutture di ricerca possibilmente critiche. Il contributo richiesto è commisurato alle spese direttamente imputate alla ricerca (consumabili, apparecchiature per dimostrazione tecnologia, personale) con il minimo investimento possibile per gli obiettivi da perseguire.

Si sottolinea che l'investimento su questo progetto consente di coprire simultaneamente più linee dell'avviso ministeriale e rappresenta quindi un utilizzo estremamente efficiente delle risorse. In particolare:

- produzione di idrogeno verde e pulito; *qui si produrrà H₂ da elettrolizzatori*
- tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed elettrocarburi; *qui si trasformerà in vettore H₂ in vettore CH₄ per sfruttare la rete esistente di distribuzione ed accelerare quindi lo sviluppo delle tecnologie correlate*
- celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità; *qui si utilizzerà il CH₄ prodotto in IT-SOFC di nuova concezione, da utilizzarsi reversibilmente anche come elettrolizzatori.*
- sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno. *Sviluppo del concetto di 3PGG e del sistema P2G-G2P integrato con le reti esistenti.*

Il risultato finale del progetto sarà una conclusione sulla fattibilità tecnica, economica e di impatto ambientale della singola componentistica, del sistema integrato P2G/G2P e dell'innovativa rete 3PGG. Coprendo con le attività pregresse e con questo progetto tutti i costi di sviluppo fino a TRL4, il risultato risulterà attrattivo per le industrie del settore. Sono presenti vari contatti da parte di tutte le unità coinvolte per il successivo sviluppo dei vari aspetti della tecnologia.

3. IMPATTO DEL PROGETTO

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

3.1. POTENZIALITÀ DI SVILUPPO

Illustrare gli elementi relativi alla capacità della nuova conoscenza prodotta di introdurre innovazioni e dare seguito ad attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale, dando sintetica evidenza del contesto potenziale di applicazione. Indicare il potenziale quantitativo delle attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale attivabili per dare corso alla ricerca e sperimentazione sulle nuove conoscenze introdotte dal progetto. Evidenziare la capacità del progetto di generare conoscenza applicabile per la ricerca e sperimentazione di soluzioni tecnologiche in grado di soddisfare i bisogni esistenti e/o di generare nuovi bisogni, diffondendo innovazioni sostenibili nell'ambito del sistema economico. Descrivere il potenziale industriale alla successiva applicazione dei risultati del progetto, le potenzialità di sviluppo ad esso connesse e il settore di destinazione dei risultati, esplicitando il potenziale di successiva applicazione delle nuove conoscenze.

Il progetto è di pertinenza di diverse industrie italiane che verranno contattate per proporre i risultati finali del progetto. A titolo esemplificativo si citano qui le industrie interessate con cui già sono presenti validi contatti e collaborazioni di ricerca: industrie per lo sviluppo di materiali e la produzione di catalizzatori (Polynt (BG), Clariant (NO), Prolabintefarm (PG)); industrie per la conversione e la distribuzione di energia (A2A (BS), Enel (MI)); sviluppatori di tecnologie elettrochimiche e fuel cells (Nuvera (MI), De Nora (MI)).

Visto che l'esito del progetto è la dimostrazione a TRL4 del sistema integrato, si stima che siano necessari altri 4 anni per la dimostrazione su scala pilota ed ulteriori 3 anni per l'industrializzazione del sistema integrato P2G/G2P.

La landscape analysis sullo status di brevettazione di tecnologie simili ha evidenziato l'inesistenza di copertura brevettuale già allocata sulla tecnologia integrata proposta. Questo aspetto suggerisce la piena potenzialità di copertura brevettuale da parte dei 3 soggetti proponenti (l'accordo di partenariato allegato dettaglia già questi aspetti). La vocazione tecnologica dei tre Atenei, che si è manifestata già in passato nella realizzazione di vari spin off, potrebbe suggerire tale opzione anche per lo sviluppo imprenditoriale. L'elevato numero di giovani ricercatori formati su questo campo nel corso del progetto supporta anche dal punto di vista logistico questa opzione. I tre atenei hanno un servizio di trasferimento tecnologico che supporterà i proponenti nelle scelte più appropriate in base ai risultati raggiunti.

3.2. POTENZIALITÀ TECNOLOGICA

Evidenziare la capacità della nuova conoscenza generata di contribuire allo sviluppo della filiera/catena del valore dell'idrogeno, e di generare ricadute positive in termini di attività di ricerca e sviluppo ed applicazioni tecnologiche anche in altri ambiti/settori nei quali la conoscenza innovativa può essere applicata.

Descrivere la capacità del progetto di rafforzare le attività di innovazione dei proponenti, di generare un miglioramento prospettico dell'impatto ambientale e di essere efficace nello sfruttamento e nella disseminazione dei risultati del progetto.

Le applicazioni che potrebbero beneficiare dei risultati del progetto vanno molto al di là di quelle illustrate in questa proposta. Altre applicazioni possono essere previste nel settore residenziale. Ad esempio le caldaie condominiali a condensazione, già esistenti, potrebbero essere adattate alla OFC, consentendo così una facile separazione del CO₂, per la sua cattura e riutilizzo nello step P2G o per reiniezione nel 3PGG. Altri esempi interessanti potrebbero essere proposti per il settore navale e per l'industria chimica.

Le potenziali applicazioni sono estremamente ampie, associate a un'enorme riduzione dell'impatto ambientale.

Il progetto si inserisce in un settore in cui lavorano direttamente 76400 persone in Italia, ad esempio nel settore delle energie rinnovabili (11200 nel fotovoltaico e 8100 nell'eolico), con un aumento del 30% dal 2012 al 2019 [www.irena.org]. Un'innovazione chiave proposta in questo progetto dovrebbe creare posizioni lavorative sia dirette che indirette, che saranno quantificate come risultato del OR8 per le diverse dimensioni selezionate.

Nuove conoscenze sono generate dal progetto in 3 importanti Università italiane, dove, oltre a formare alla ricerca e a queste specifiche tematiche 14 giovani scienziati, altri 6 dottorandi e almeno 30 laureandi lavoreranno su questi concetti. Ciò renderà disponibili esperti adeguatamente formati in un campo in forte crescita, con un impatto ulteriormente migliorato a livello locale e globale economia.

Come detto al punto precedente il progetto offre ai 3 proponenti ampie possibilità di brevettazione e di successivo trasferimento tecnologico, con modalità specifiche che andranno discusse in base ai risultati con i rispettivi uffici di supporto. In via preliminare si prevede a) 1 brevetto sui materiali per SOFC reversibile, b) 1 brevetto sul reattore e relativo catalizzatore di metanazione; c) 1 brevetto sul sistema integrato ottimizzato P2G/G2P, d) 1 brevetto sul sistema ottimizzato 3PGG. Visto che la brevettazione avverrà con ogni probabilità dopo la chiusura del progetto e richiede tempi non compatibili con lo svolgimento di questo programma di ricerca, i relativi costi non sono direttamente esposti tra i costi di progetto, ma saranno coperti dai rispettivi atenei come parte delle spese generali corrisposte.

Anche la realizzazione di possibili spin-off di interesse dei 3 proponenti andrà discussa in funzione dei risultati e delle possibilità realistiche di sviluppo.

3.3. IMPATTO AMBIENTALE

Descrivere il potenziale contributo dei risultati del programma in merito all'aumento delle capacità scientifiche in termini di eccellenza, efficienza, esclusività, espandibilità, traslationalità e attrattività per l'innovazione finalizzata al perseguimento degli obiettivi ambientali di mitigazione dei cambiamenti climatici e prevenzione e riduzione dell'inquinamento, ed in particolare riguardo agli obiettivi perseguiti dall'Avviso in relazione all'Investimento 3.5 "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno".

La misura deve sostenere la produzione di idrogeno elettrolitico a partire da fonti di energia rinnovabile ai sensi della direttiva (UE) 2018/2001 o dall'energia elettrica di rete, oppure attività legate all'idrogeno che soddisfino il requisito di riduzione delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita del 73,4 % per l'idrogeno [che si traduce in 3 t CO₂eq/t H₂] e del 70 % per i combustibili sintetici a base di idrogeno rispetto a un combustibile fossile di riferimento di 94 g CO₂eq/MJ, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001. La quantificazione precisa delle emissioni di CO₂ per kg di H₂ prodotto o per kWh verrà effettuata nel corso del progetto e costituisce uno dei target. Tuttavia, globalmente, da valutazioni preliminari il progetto risulta competitivo per questa misura, rispondendo in modo efficace a tutte le linee di ricerca proposte in questo avviso e rispettando ampiamente i limiti di emissione prescritti dalla norma di riferimento e posti come vincolo dal bando.

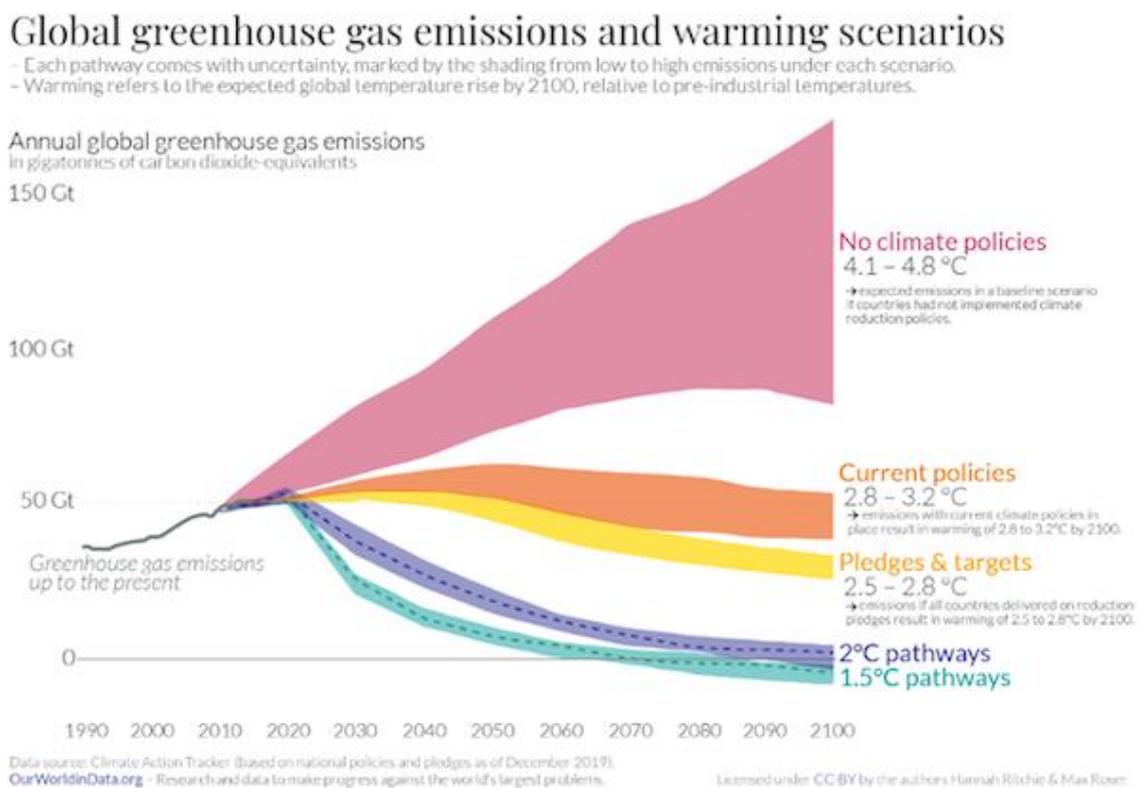


Figure 9

Secondo il Mauna Loa Observatory (Hawaii), l'attuale livello di CO₂ nell'atmosfera è di 414 ppm, ben al di sopra dei 315 ppm misurati dallo stesso osservatorio alla fine degli anni '50, e ben al di sopra del livello nominale di 350 ppm. Inoltre, a causa della crescente domanda di energia, le emissioni di CO₂ sono in continua crescita. Questa tendenza deve essere invertita il più rapidamente possibile, per evitare un ulteriore insostenibile riscaldamento globale, come dimostrato dalla Figura 9 [ww.ourworldindata.org].

Il progetto introduce nuove funzionalità per trasformare il CO₂ non sostenibile dal punto di vista ambientale ed economico (per le tasse sulle emissioni che salgono a 40 Euro/t, con circa 320 Mt di emissioni di CO₂ in Italia nel 2016) in combustibili pregiati, che possono garantire una remunerazione alle imprese e alle comunità (anziché i costi di smaltimento) grazie alla produzione di prodotti a valore aggiunto. Ciò avrebbe un enorme impatto ambientale ed economico, non solo per le aziende che in futuro svilupperanno questa tecnologia, ma anche per i rispettivi paesi (evitando la carbon tax), che saranno entrambe quantificate nei diversi scenari nel OR8.

In questo progetto miriamo a consolidare il proof of concept di un sistema P2G/G2P (TRL4) e di un'innovativa rete di distribuzione ed accumulo 3PGG (TRL3), con la validazione sperimentale su scala di laboratorio di: 1) i componenti più critici, ovvero i materiali per IT-SOFC reversibile (TRL4); e 2) il nuovo sistema di storage e distribuzione 3PGG (TRL3). Diversamente dal concetto di distribuzione di H₂, che prevede di ridisegnare completamente la rete di distribuzione del gas, e di modificare tutte le attuali tecnologie basate su GN, il modello qui proposto incorpora diverse tecnologie esistenti. In effetti, l'elettrolizzatore alcalino e le condutture di CO₂ sono tutte tecnologie disponibili. Ad esempio, il più grande impianto di elettrolisi alcalina del mondo (162 MW), è stato installato alla fine degli anni '80 ad Assuan, in Egitto. Inoltre, ci sono più di 6500 km di gasdotti di CO₂ in tutto il mondo (sia on-shore che off-shore), la maggior parte dei quali sono associati alla tecnica avanzata di recupero del petrolio, negli Stati Uniti. Ciò ha il potenziale per facilitare la transizione di 3PGG a TRL più elevati. Solo le SOFC sono un passo indietro, in termini di commercializzazione. Il progetto mira, da un lato, ad identificare e risolvere i colli di bottiglia tecnologici ed economici. La riduzione dei costi, che è un must, potrebbe essere guidata dalla produzione su larga scala. D'altra parte, il progetto mira a dimostrare prove sufficienti e l'OR7 e OR8 mirano a raccogliere un'adeguata rete industriale, per garantire una transizione graduale del concetto 3PGG a TRL più elevati (ca. altri 3-5 anni per la dimostrazione su scala pilota).

Anche l'impatto sociale è enorme. L'implementazione di sistemi P2G/G2P e di una futura rete 3PGG ha il potenziale per dare slancio alla diffusione delle rinnovabili, grazie all'accumulo di energia e suo uso più razionale. In uno scenario futuro dominato dalle rinnovabili, il 3PGG potrebbe consentire al SNG di sostituire gradualmente il NG, da utilizzare nei processi OFC associati alla CCU continua, con enormi

implicazioni:

- riduzione dell'inquinamento, legato principalmente all'estrazione di GN;
- drastica riduzione delle emissioni di CO₂, attualmente legate ai processi convenzionali di combustione del GN con aria;
- i paesi importatori di NG fossile, come l'Italia, saranno sollevati dall'onere finanziario e dalla dipendenza;
- potere geopolitico più equamente distribuito.

IV^a PARTE: ULTERIORI ELEMENTI

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

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

Evidenziare in maniera sintetica gli elementi soggettivi ed oggettivi utili alla verifica del rispetto del principio il Principio "non arrecare un danno significativo" (DNSH) agli obiettivi ambientali, secondo le indicazioni contenute per l'Investimento 3.5 "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno" nella circolare RGS-MEF n. 32 del 30 dicembre 2021 e nelle relative schede tecniche applicabili di cui alle linee guida allegate alla circolare predetta.

Dare evidenza degli elementi di rispetto relativi ai settori/attività economiche ammissibili a norma delle predette schede applicabili, per quanto pertinente in relazione al soggetto e al progetto. A riguardo di tali condizioni generali, è tenuto in dovuto conto che a norma delle predette schede non sono tra l'altro ammissibili nell'ambito della misura i) le attività escluse di cui all'allegato all'Allegato V, punto B), del Regolamento (UE) 2021/523 del Fondo InvestEU; ii) le attività agevolate non devono compromettere il rispetto del criterio di DNSH né per quanto riguarda le attività finanziate né per il loro risultato, come nel caso dei finanziamenti dedicati alla ricerca e sviluppo di cui all'Avviso; iii) non sono conformi al principio DNSH le attività di c.d. "brown R&I", che riguarda ad esempio fonti fossili, gas naturali esclusi dall'Allegato III degli orientamenti tecnici per l'applicazione del principio DNSH a norma del regolamento sul dispositivo per la ripresa e la resilienza, nonché inceneritori, trattamento biologico meccanico e discariche; iv) non sono conformi al principio DNSH gli investimenti in relazione a combustibili fossili (incluse le applicazioni a valle), ad eccezione dei sistemi di raffreddamento, riscaldamento e generazione di energia basati su gas naturali che rispettano le condizioni elencate all'Allegato III degli orientamenti tecnici per l'applicazione del principio DNSH a norma del regolamento sul dispositivo per la ripresa e la resilienza. Sono inoltre non conformi al rispetto del principio DNSH gli investimenti che riguardano attività ricomprese nell'ETS con emissioni di CO₂eq attese, che non siano sostanzialmente inferiori a quelle previste per l'assegnazione a titolo gratuito (Direttiva EU ETS); vi) il

risultato dei processi di ricerca deve essere tecnologicamente neutrale (technological neutrality) nella sua applicazione, ossia può essere applicato a tutte le tecnologie disponibili incluse quelle a basso impatto ambientale; vii) non sono conformi al rispetto del principio DNSH gli investimenti in attività il cui smaltimento sul lungo termine potrebbe provocare un danno a lungo termine sull'ambiente, quali ad esempio i rifiuti nucleari.

A riguardo delle condizioni particolari per il rispetto del DNSH, si fa riferimento alle indicazioni applicabili contenute per l'Investimento 3.5 "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno" nella circolare RGS-MEF n. 32 del 30 dicembre 2021 nella relativa scheda tecnica applicabile richiamata nelle linee guida allegate alla circolare predetta.

Dare evidenza degli elementi di conformità giuridica alla normativa ambientale, per quanto pertinenti.

Per quanto riguarda le attività di tutti e tre i partner di progetto, le attività si ispirano pienamente al principio DNSH. In particolare, gli obiettivi specifici del progetto mirano ad incentivare e sbloccare lo sviluppo di tecnologie rinnovabili per la conversione e distribuzione di energia. Si propone una soluzione sostanzialmente neutra o a emissioni negative per quanto riguarda i gas climalteranti (non sono previste emissioni nette di CO₂ ed NO_x). La quantificazione precisa di questi ed altre categorie di impatto sono parte dell'attività proposta (LCA).

Sono previste formulazioni di materiali che sostituiscano i composti critici. Tutti i laboratori coinvolti adempiono con scrupolo la valutazione dei rischi, i protocolli di Ateneo per la sicurezza in ambito chimico e tutti gli operatori sono sottoposti a sorveglianza sanitaria.

5. CRONOPROGRAMMA

5.1. CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITÀ

(Indicare nella seguente tabella il cronoprogramma procedurale-realizzativo delle attività, per trimestre ovvero diversa frazione di anno secondo quanto preferito dai proponenti)

| OR | Soggetto proponente | Titolo OR | Semestre 1 | Semestre 2 | Semestre 3 | Semestre 4 | Semestre 5 | Semestre 6 |
|------------|----------------------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| OR1 | UNIMI | Sviluppo e caratterizzazione materiali per SOFC reversibile | 5% | 10% | 30% | 55% | 80% | 100% |
| OR2 | UNIPD | Dimostrazione sperimentale G2P/(P2G); cella a combustibile SOFC reversibile (scala di laboratorio) | 15% | 40% | 70% | 100% | 100% | 100% |
| OR3 | UNIMI | Dimostrazione sperimentale metanazione (MET) | 5% | 10% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| OR4 | UNIGE | Dimostrazione sperimentale G2P: oxyfuel combustion (OFC) | 5% | 30% | 50% | 80% | 100% | 100% |
| OR5 | UNIGE | Sviluppo di modelli in stato stazionario e dinamico (EC-MET-SOFC) | 5% | 10% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| OR6 | UNIGE | Integrazione tra la tri-fase gas e la tri-fase elettrica | 5% | 15% | 35% | 55% | 80% | 100% |
| OR7 | UNIPD | Modelli di ottimizzazione multi-obiettivo di sistemi multi-energia che integrano la rete tri-fase gas e i dispositivi per la metanazione e l'elettrolisi | 5% | 10% | 25% | 50% | 80% | 100% |

| | | | | | | | | |
|------------|-------|---|----|----|----|----|-----|------|
| OR8 | UNIMI | Conclusioni fattibilità tecnica, economica e lifecycle assessment (LCA) | 0% | 0% | 0% | 0% | 50% | 100% |
|------------|-------|---|----|----|----|----|-----|------|

5.2. CRONOPROGRAMMA REALIZZATIVO

(Indicare nella seguente tabella il cronoprogramma di raggiungimento degli obiettivi del progetto, per trimestre ovvero diversa frazione di anno secondo quanto preferito dai proponenti)

| OR | Soggetto proponente | Titolo OR | Semestre 1 | Semestre 2 | Semestre 3 | Semestre 4 | Semestre 5 | Semestre 6 |
|------------|----------------------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| OR1 | UNIMI | Sviluppo e caratterizzazione materiali per SOFC reversibile | 0% | 20% | 20% | 35% | 50% | 100% |
| OR2 | UNIPD | Dimostrazione sperimentale G2P/(P2G); cella a combustibile SOFC reversibile (scala di laboratorio) | 0% | 35% | 35% | 100% | 100% | 100% |
| OR3 | UNIMI | Dimostrazione sperimentale metanazione (MET) | 0% | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
| OR4 | UNIGE | Dimostrazione sperimentale G2P: oxyfuel combustion (OFC) | 0% | 0% | 0% | 50% | 50% | 100% |
| OR5 | UNIGE | Sviluppo di modelli in stato stazionario e dinamico (EC-MET-SOFC) | 0% | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
| OR6 | UNIGE | Integrazione tra la tri-fase gas e la tri-fase elettrica | 0% | 0% | 0% | 33% | 67% | 100% |
| OR7 | UNIPD | Modelli di ottimizzazione multi-obiettivo di sistemi multi-energia che integrano la rete tri-fase gas e i dispositivi per la metanazione e l'elettrolisi | 0% | 0% | 30% | 30% | 30% | 100% |

| | | | | | | | | |
|------------|-------|---|----|----|----|----|-----|------|
| OR8 | UNIMI | Conclusioni fattibilità tecnica, economica e lifecycle assessment (LCA) | 0% | 0% | 0% | 0% | 33% | 100% |
|------------|-------|---|----|----|----|----|-----|------|

5.3. CRONOPROGRAMMA DI SPESA

(Indicare nella seguente tabella il cronoprogramma di realizzazione degli obiettivi del progetto)

| Soggetto proponente | Anno I | Anno II | Anno III |
|----------------------------|--------|---------|----------|
| UNIGE | 50% | 35% | 15% |
| UNIMI | 50% | 35% | 15% |
| UNIPD | 50% | 35% | 15% |

6. RISORSE FINANZIARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO

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

Nella presente sezione dovrà essere descritto un piano di sostenibilità economica dell'iniziativa, che dovrà includere informazioni adeguatamente motivate per ciascuno dei seguenti elementi:

- capacità finanziaria del proponente di coprire gli impegni per la realizzazione dello stesso, considerando la **spesa prevista ammissibile** (prima dell'imputazione percentuale al progetto), **al netto del costo riferibile al personale facente già parte della dotazione organica del soggetto proponente e della relativa parte di spese generali**. A tal fine i predetti costi devono essere puntualmente determinati fornendo gli elementi utili alla loro quantificazione
- piano di copertura del progetto coerente con il piano di realizzazione del progetto e le ipotesi essere esplicitate al cronoprogramma 5.1 di presentazione dei SAL, secondo la tabella seguente, in cui oltre agli impegni previsti, dovranno essere indicate le fonti di finanziamento con cui si prevede di coprire i suddetti impegni, siano esse fonti interne [cash flow, apporto mezzi propri (es. versamento soci in conto capitale), finanziamento soci, ecc.] o fonti esterne [erogazioni agevolazioni, affidamenti bancari disponibili (es. scoperto c/c), debiti verso fornitori, ecc.].

UNIGE (NB, SI INDICA SOLO IL TOTALE VISTO CHE NON TUTTE LE SPESE SONO GRAVATE DA IVA)

| PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--|--|
| FABBISOGNO | Anno 1 | Anno 2 | Anno 3 | Totale | | |
| Spese previste ammissibili (1) | | | | | | |
| IVA | | | | | | |
| Totale | 441754 | 308948 | 132406 | 882708 | | |
| FONTI DI COPERTURA | | | | | | |
| Eccedenza fonti anno precedente | | | | | | |
| Apporto di mezzi propri/finanziamento soci | | | | | | |
| Erogazioni contributo alla spesa | | | | | | |
| Debiti verso fornitori (2) | | | | | | |
| Cash-flow | | | | | | |
| Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2) | | | | | | |
| Altro | 441754 | 308948 | 132406 | 882708 | | |
| Totale | 441754 | 308948 | 132406 | 882708 | | |

(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.

UNIMI (NB, SI INDICA SOLO IL TOTALE VISTO CHE NON TUTTE LE SPESE SONO GRAVATE DA IVA)

| PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--|--|
| FABBISOGNO | Anno 1 | Anno 2 | Anno 3 | Totale | | |
| Spese previste ammissibili (1) | | | | | | |
| IVA | | | | | | |
| Totale | 393151 | 275206 | 117945 | 786302 | | |
| FONTI DI COPERTURA | | | | | | |
| Eccedenza fonti anno precedente | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|--|--|
| Apporto di mezzi propri/finanziamento soci | | | | | | |
| Erogazioni contributo alla spesa | | | | | | |
| Debiti verso fornitori (2) | | | | | | |
| Cash-flow | | | | | | |
| Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2) | | | | | | |
| Altro | 393151 | 275206 | 117945 | | | |
| Totale | 393151 | 275206 | 117945 | 786302 | | |

(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.

UNIPD (NB, SI INDICA SOLO IL TOTALE VISTO CHE NON TUTTE LE SPESE SONO GRAVATE DA IVA,)

| PIANO FINANZIARIO PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|--|--|
| FABBISOGNO | Anno 1 | Anno 2 | Anno 3 | Totale | | |
| Spese previste ammissibili (1) | | | | | | |
| IVA | | | | | | |
| Totale | 354375 | 248063 | 106313 | 708750 | | |
| FONTI DI COPERTURA | | | | | | |
| Eccedenza fonti anno precedente | | | | | | |
| Apporto di mezzi propri/finanziamento soci | | | | | | |
| Erogazioni contributo alla spesa | | | | | | |
| Debiti verso fornitori (2) | | | | | | |
| Cash-flow | | | | | | |
| Affidamenti bancari e altre fonti di finanziamento a debito (2) | | | | | | |
| Altro | 354375 | 248063 | 106313 | | | |
| Totale | 354375 | 248063 | 106313 | 708750 | | |

(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

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

UNIGE

| 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> | 760987 | 100 | 760987 | 760987 | |
| <i>A.1.2 Spese generali</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.2</i> | 250122 | 100 | 250122 | 250122 | |
| <i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.3</i> | 25500 | 100 | 25500 | 25500 | |
| <i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.4</i> | 0 | | 0 | 0 | |
| <i>A.1.5 Materiali e forniture</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.5</i> | 214000 | 100 | 239500 | 239500 | |
| Totale generale A.1) Attività di ricerca | 1250608 | 100 | 1250608 | 1250608 | |

UNIMI

| 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> | 664739 | 100 | 664739 | 664739 | |
| <i>A.1.2 Spese generali</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.2</i> | 250112 | 100 | 250112 | 250112 | |
| <i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.3</i> | 102708 | 100 | 102708 | 102708 | |
| <i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.4</i> | 0 | 100 | 0 | 0 | |
| <i>A.1.5 Materiali e forniture</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.5</i> | 233000 | 100 | 233000 | 233000 | |

| | | | | | |
|---|----------------|------------|----------------|----------------|--|
| Totale generale A.1) Attività di ricerca | 1250560 | 100 | 1250560 | 1250560 | |
|---|----------------|------------|----------------|----------------|--|

UNIPD

| 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> | 550310 | 100 | 550310 | 550310 | |
| <i>A.1.2 Spese generali</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.2</i> | 200015 | 100 | 200015 | 200015 | |
| <i>A.1.3 Strumenti e attrezzature (il dettaglio di tali costi è riportato nella Tabella 4)</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.3</i> | 29750 | 100 | 29750 | 29750 | |
| <i>A.1.4. Acquisizione servizi di consulenza e beni immateriali</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.4</i> | 0 | 100 | 0 | 0 | |
| <i>A.1.5 Materiali e forniture</i> | | | | | |
| <i>Totale A.1.5</i> | 220000 | 100 | 220000 | 220000 | |
| Totale generale A.1) Attività di ricerca | 1000075 | 100 | 1000075 | 1000075 | |

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

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

UNIGE (NB: il personale coinvolto ha diversi livelli di anzianità, si indica un costo orario medio)

Tipologia soggetto proponente:

Ente pubblico

di cui

Università

| Tipologia personale | Dettaglio | N° addetti | Di cui donne | N. ore totali | Costo orario | Costo totale |
|----------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Personale tipo 1 | Professori ordinari | 1 | 0 | 625 | 74.48 | 46547 |
| Personale tipo 2 | Professori associati | 5 | 3 | 3625 | 54.79 | 198627 |

| | | | | | | |
|------------------|---|------------------|----|-------|-------|--------|
| Personale tipo 3 | Ricercatori universitari | 2 | 0 | 1250 | 39.32 | 49146 |
| Personale tipo 4 | | | | | | |
| Personale tipo 5 | Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.) | 7 (da acquisire) | nd | 28000 | | 466667 |
| Totale | | Totale | | 33500 | | 760987 |

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

UNIMI (NB: il personale coinvolto ha diversi livelli di anzianità, si indica un costo orario medio)

Tipologia soggetto proponente:

**Ente
pubblico**

di cui

Università

| Tipologia personale | Dettaglio | N° addetti | Di cui donne | N. ore totali | Costo orario | Costo totale |
|---------------------|---|------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Personale tipo 1 | Professori ordinari | 1 | 1 | 750 | 64.71 | 48529 |
| Personale tipo 2 | Professori associati | 7 | 1 | 6375 | 48.40 | 308575 |
| Personale tipo 3 | Ricercatori universitari | 1 | 1 | 375 | 38.14 | 14302 |
| Personale tipo 4 | | | | | | |
| Personale tipo 5 | Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.) | 4 (da acquisire) | nd | 16000 | | 293333 |
| Totale | | Totale | | 23500 | | 664739 |

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

UNIPD (NB: il personale coinvolto ha diversi livelli di anzianità, si indica un costo orario medio)

Tipologia soggetto proponente:

Ente
pubblico

di cui

Università

| Tipologia personale | Dettaglio | N° addetti | Di cui donne | N. ore totali | Costo orario (euro) | Costo totale |
|---------------------|---|------------------|--------------|---------------|---------------------|--------------|
| Personale tipo 1 | Professori ordinari | 3 | 1 | 2375 | 63.35 | 150455 |
| Personale tipo 2 | Professori associati | 3 | 1 | 1875 | 44.06 | 82604 |
| Personale tipo 3 | Ricercatori universitari | 1 (da acquisire) | nd | 30 | 31.27 | 117250 |
| Personale tipo 4 | | | | | | |
| Personale tipo 5 | Altre categorie (Collaboratori, assegnisti, etc.) | 3 (da acquisire) | nd | 12000 | | 200000 |
| Totale | | | | 16280 | | 550309 |

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

TABELLE DI DETTAGLIO

Tab.3 – Personale impegnato per obiettivo realizzativo

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

UNIGE

| 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 |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---|--|
| OR1 | | | | | | | | |
| OR2 | | | | | | | | |
| OR3 | | | | | | | | |
| OR4 | | 625 | 625 | | 8000 | 9250 | 9250 | |
| OR5 | | 3000 | | | 12000 | 15000 | 15000 | |
| OR6 | 625 | | 625 | | 8000 | 9250 | 9250 | |
| OR7 | | | | | | | | |
| OR8 | | | | | | | | |
| TOTALE: | 625 | 3625 | 1250 | | 28000 | | 33500 | |
| COSTO ORARIO | 74.48 | 54.79 | 39.32 | | | | | |

UNIMI

| 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 |
|----|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---|--|
|----|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---|--|

| | | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|--|
| OR1 | 150 | 3000 | 375 | | 8000 | 11525 | 11525 | |
| OR2 | | | | | | | | |
| OR3 | 375 | 2475 | | | 5000 | 7850 | 7850 | |
| OR4 | | | | | | | | |
| OR5 | | | | | | | | |
| OR6 | | | | | | | | |
| OR7 | | | | | | | | |
| OR8 | 225 | 525 | | | 3000 | 3750 | 3750 | |
| TOTALE: | 750 | 6000 | 375 | | 16000 | 23125 | 23125 | |
| COSTO ORARIO | 64.71 | 48.40 | 38.14 | | | | | |

UNIPD

| 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 |
|-----|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---|--|
| OR1 | | | | | | | | |
| OR2 | 1750 | 1250 | 1518 | | 4000 | 8518 | 8518 | |
| OR3 | | | | | | | | |
| OR4 | | | | | | | | |
| OR5 | | | | | | | | |
| OR6 | | | | | | | | |
| OR7 | 625 | 625 | | | 8000 | 9250 | 9250 | |

| | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--|--------------|--------------|--------------|--|
| OR8 | | | | | | | | |
| TOTALE: | 2375 | 1875 | 1518 | | 12000 | 17768 | 17768 | |
| COSTO ORARIO | 63.35 | 44.06 | 31.27 | | | | | |

Tab.4 – Attrezzature e strumentazioni

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

UNIGE

| Attrezzature e strumentazioni | Spesa prevista (€) al netto di IVA | Indicazione degli OR per i quali il bene è utilizzato | Periodo di ammortamento fiscale del bene (mesi) | Periodo di utilizzo nel progetto (mesi) | Percentuale di imputazione al progetto⁹ | Costo ammissibile (€) | Costo ammissibile di cui in regioni Centro-nord | Costo ammissibile di cui in regioni Mezzogiorno |
|--------------------------------------|---|--|--|--|---|------------------------------|--|--|
| Workstation | 23400 | OR4-OR5-OR6 | 36 | 34 | 90 | 19890 | 19890 | |
| TOTALE di cui: | | | | | | 19890 | 19890 | |

UNIMI

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

| Attrezzature e strumentazioni | Spesa prevista (€) al netto di IVA | Indicazione degli OR per i quali il bene è utilizzato | Periodo di ammortamento fiscale del bene (mesi) | Periodo di utilizzo nel progetto (mesi) | Percentuale di imputazione al progetto ⁹ | Costo ammissibile (€) | Costo ammissibile di cui in regioni Centro-nord | Costo ammissibile di cui in regioni Mezzogiorno |
|-------------------------------|------------------------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|
| Multireattore | 93600 | OR3 | 60 | 30 | 85 | 39780 | 39780 | |
| TPD-TPR-MS | 62400 | OR3 | 60 | 30 | 85 | 26520 | 26520 | |
| Forno tubolare | 11700 | OR1 | 60 | 30 | 85 | 4972.50 | 4972.50 | |
| PC | 11700 | OR1-OR3-OR8 | 36 | 32 | 85 | 8840 | 8840 | |
| TOTALE di cui: | | | | | | 80112.50 | 80112.50 | |

UNIPD

| Attrezzature e strumentazioni | Spesa prevista (€) al netto di IVA | Indicazione degli OR per i quali il bene è utilizzato | Periodo di ammortamento fiscale del bene (mesi) | Periodo di utilizzo nel progetto (mesi) | Percentuale di imputazione al progetto ⁹ | Costo ammissibile (€) | Costo ammissibile di cui in regioni Centro-nord | Costo ammissibile di cui in regioni Mezzogiorno |
|-------------------------------|------------------------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|
| Forno | 15600 | OR2 | 60 | 30 | 85 | 6630 | 6630 | |
| Generatore di vapore | 23400 | OR2 | 60 | 30 | 85 | 9945 | 9945 | |
| Workstation | 7800 | OR7 | 36 | 34 | 85 | 6630 | 6630 | |
| TOTALE di cui: | | | | | | 23205 | 23205 | |

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

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

