



Consiglio Nazionale delle Ricerche

# **Piano Annuale della Ricerca CNR PAR 2013-2014**

---

III Accordo di Programma MSE/CNR

**CONSUNTIVO DELLE ATTIVITÀ CNR**

**RELAZIONE TECNICA PROGETTO BIOENERGIA**

Dipartimento di Ingegneria,  
ICT e Tecnologie per  
l'Energia e i Trasporti

1 Aprile 2014  
28 febbraio 2016

Il presente documento è stato creato dall'Unità di coordinamento del Dipartimento di Ingegneria, ICT e Tecnologie per l'Energia e i Trasporti con il contributo dei Coordinatori Scientifici di Progetto e dei Responsabili Amministrativi delle unità operative degli Istituti CNR e delle Università.

Si ringraziano tutti coloro che hanno attivamente e pazientemente collaborato . Un particolare ringraziamento va ai colleghi che operano negli uffici amministrativi degli Istituti CNR e delle Università.

Ideazione, realizzazione grafica e impaginazione a cura della sig.ra Silvia Presello.  
La costruzione del documento in PDF è a cura della sig.ra Silvia Presello  
Redazione finale delle tabelle amministrative riassuntive a cura della dott.ssa Valentina Cozza

---

# Progetto: Bioenergia Efficiente

---

## Premessa

Horizon 2020 richiede alla comunità scientifica e politica europea di sviluppare tecnologie e politiche per la produzione in Europa di energia sicura, pulita ed efficiente; gli obiettivi da raggiungere entro il 2020 possono essere sinteticamente riassunti nei seguenti tre punti:

- riduzione delle emissioni di gas serra del 20%
- incremento delle energie rinnovabili al 20% della produzione totale di energia
- diminuzione del consumo di energia del 20% (grazie ad una migliore efficienza energetica)

Ciò richiede che ciascun Paese, sulla base delle proprie peculiarità e le specifiche condizioni economiche e strutturali, attivi gli strumenti politici e tecnologici per il raggiungimento di tali obiettivi. Esempi in tale direzione sono la realizzazione di centrali eoliche off-shore di grande potenza (Germania, Danimarca, Olanda); lo sviluppo di tecnologie avanzate per lo sfruttamento dell'energia del mare basate su correnti marine e moto ondosa (Regno Unito, Francia); lo sviluppo di sistemi innovativi per lo sfruttamento dell'energia solare per la produzione di energia elettrica, attraverso celle fotovoltaiche di 2° e 3° generazione (Germania, Italia) più efficienti e che richiedono materie prime meno pregiate e di disponibilità meno critica, o attraverso l'uso di tecnologie per lo sfruttamento dell'energia solare in processi di conversione innovativi come il termodinamico solare, processi fotochimici, ecc. (Spagna, Italia); l'utilizzo di energia da biomasse e materia organica da rifiuti municipali ed industriali o da coltivazioni ad hoc come quelle algali (Finlandia, Svezia, Germania, Olanda, Spagna, Italia).

## Quadro generale di riferimento programmatico del progetto

Le problematiche energetiche e le corrispondenti soluzioni tecnologiche possono sostanzialmente ricondursi a scenari caratterizzati dalla taglia degli impianti di produzione/conversione dell'energia; la dimensione dell'impianto è, a sua volta, collegato alla tipologia di utilizzo dell'energia stessa. Impianti di grossa potenza sono tipicamente destinati alla generazione di energia per il sistema elettrico e, pertanto, al consumo a distanza (centrali alimentate con combustibili fossili, nucleari, ma anche le centrali eoliche off-shore). Impianti di generazione di media e piccola taglia sono comunemente impiegati per la generazione/cogenerazione e trigenerazione (energia elettrica/potenza, calore e frigoriferie) distribuita; la loro efficacia in termini di efficienza globale è, pertanto, più sensibile a richieste specifiche e quindi allo sviluppo di soluzioni particolari.

L'analisi d'insieme delle tecnologie di conversione energetica mostra, con evidenza, come la produzione di energia rinnovabile su larga scala debba affidarsi alle tecnologie emergenti per il fotovoltaico, l'eolico, l'energia marina ed il geotermico. L'utilizzo efficiente di energia rinnovabile da biomasse e rifiuti organici municipali ed industriali è, invece, più specifico di impianti per usi locali dalla micro alla media potenza. E', infatti, non sostenibile, sia dal punto di vista economico sia da quello energetico, il trasporto e la concentrazione di un vettore energetico a basso contenuto

---

specifico di energia, come la biomassa, in siti a grande distanza dalla zona di produzione o raccolta. Nel caso della materia organica da rifiuti, è essenziale considerare anche gli aspetti sociali e sanitari che possono derivare dal trasporto di tali materiali a grandi distanze. La generazione distribuita di energia elettrica su base rinnovabile o fossile è, tra l'altro, uno degli assi portanti della politica energetica dell'UE, grazie alla maggiore efficienza complessiva derivante dalle minori perdite di trasmissione. In questo panorama, la differente scala degli impianti pone problematiche diverse sia per quanto riguarda il processo primario di generazione/conversione sia per l'efficiente utilizzo o l'immissione in rete dell'energia. Tali problematiche richiedono l'adozione di soluzioni e tecnologie differenziate.

L'efficientamento complessivo di un sistema energetico basato su biomasse richiede l'ottimizzazione combinata del processo di pre-trattamento, dell'eventuale trasformazione in un vettore energetico intermedio gassoso o liquido, e del sistema termo-meccanico di conversione. La variabilità periodica delle biomasse disponibili, come anche la tipologia di rifiuti organici, richiede lo sviluppo di tecnologie innovative del processo di trasformazione primario della biomassa (gassificazione, pirolisi, ecc.) in un combustibile di proprietà superiori e dei processi successivi di purificazione/upgrading. L'utilizzo efficiente e duraturo del biocombustibile così prodotto o della biomassa pre-trattata richiede, inoltre, l'innovazione dei sistemi termici e meccanici di conversione. Ciò implica lo sviluppo di tecnologie e processi innovativi e l'utilizzo di materiali di ultima generazione. Oltre al miglioramento e allo sviluppo dei processi di conversione, l'efficientamento di un impianto energetico complesso richiede il miglioramento dei processi di gestione della domanda e dell'offerta. In particolare, un sistema energetico basato su tecnologie di conversione differenti e fonti energetiche primarie diversificate (rinnovabili non programmabili, essenzialmente eolica e solare, fossili e biomassa) richiede una gestione integrata dell'energia che si possa avvalere di modelli per il controllo del sistema nel complesso e dei singoli sottosistemi.

### **Obiettivo generale del Progetto**

Il progetto intende affrontare alcuni aspetti significativi per lo sviluppo di sistemi energetici flessibili ed efficienti basati su biomasse. Da una parte, lo sfruttamento ottimale di biomasse per la generazione di energia, attraverso lo sviluppo di tecnologie non convenzionali, la valorizzazione delle biomasse in combustibili di più elevata qualità e l'utilizzo efficiente degli stessi in sistemi termici e meccanici di conversione. Dall'altra, l'efficientamento di impianti energetici basati su fonti primarie diversificate attraverso la gestione integrata dell'energia e lo sviluppo di tecnologie innovative di produzione/conversione.

Il progetto è organizzato nelle seguenti due Linee di attività:

L1: Energia rinnovabile da biomasse per la generazione efficiente di energia elettrica e calore

L2: Risparmio di energia elettrica attraverso l'ottimizzazione di schemi energetici e lo sviluppo di tecnologie di conversione innovative

La prima Linea è rivolta all'utilizzo ottimale di biomasse per la generazione di energia, attraverso la loro valorizzazione in combustibili di più elevata qualità ed all'utilizzo efficiente degli stessi in sistemi termo meccanici di conversione. Tale Linea, per un valore complessivo di 900 k€, si colloca nell'Area Tematica B - Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente; sottotema B.1.1 - Energia elettrica da biomasse.

---

La seconda Linea è dedicata al risparmio di energia, attraverso l'ottimizzazione del governo di sistemi energetici complessi basati su fonti primarie diversificate e differenti tecnologie di produzione/conversione, e lo sviluppo di tecnologie di conversione innovative. Tale Linea, per un valore complessivo di 350 k€, si colloca nell'Area Tematica C "Uso razionale dell'energia e risparmio energetico negli usi finali elettrici", sottotema C1: "Uso efficiente dell'energia elettrica nei settori residenziale, terziario (incluso settore pubblico), industriale".

Le Linee di attività L1 ed L2 sono operativamente strutturate nei seguenti WP:

LINEA L1: Energia rinnovabile da biomasse per la generazione efficiente di energia elettrica e calore

WP 1 Biomasse e biocombustibili da alghe

WP 1.1 Biomasse algali e loro frazioni termochimiche per la produzione di biocombustibili di terza generazione.

WP 1.2 Produzione di biocombustibili da oli di alghe o altre biomasse vegetali

WP 1.3 Produzione di bioslurry da biomasse e biochar ed oli da alghe

WP 2 Produzione di energia e materiali da biomasse lignocellulosiche e scarti

WP 2.1 Documentazione di potenzialità, disponibilità e caratteristiche di biomasse ai fini del loro impiego nella filiera e sostenibilità energetica del processo.

WP 2.2 Definizione delle condizioni ottimali di pre-trattamento e di processo per la trasformazione pirolitica di biomasse per la loro valorizzazione energetica e analisi dell'effetto della presenza di inorganici sul processo di pirolisi e su rese e qualità dei prodotti.

WP 3 Sistemi di generazione/cogenerazione di taglia media e piccola alimentati con biomassa o biogas

WP 3.1 Sfruttamento dell'energia termica proveniente dalla combustione di biomasse con cicli ORC di piccola taglia

WP 3.2 Progettazione e realizzazione di un micro impianto pilota di generazione elettrica basato su di un ciclo Rankine organico di tipo ipercritico.

WP 3.3 Sistemi di generazione/cogenerazione di taglia media e piccola basati su MGT alimentate a biogas

WP 3.4 Tipizzazione di biogas e syngas come combustibili per sistemi di generazione/cogenerazione

LINEA L2: Risparmio di energia elettrica attraverso l'ottimizzazione di schemi energetici e lo sviluppo di tecnologie di conversione innovative

WP 1 Risparmio di energia elettrica attraverso l'ottimizzazione di schemi energetici

WP 2 Tecnologie catalitiche per il risparmio energetico in impianti di piccola taglia (civili e industriali)

WP 2.1: Preparazione e caratterizzazione di catalizzatori strutturati nanoPt-Fecralloy

WP 2.2 Caratterizzazione funzionale di nuovi sistemi catalitici per processi di ossidazione catalitica

**Elenco dei Partecipanti al Progetto**

Unità di Ricerca
Istituto per l'Energetica e le Interfasi (IENI-CNR)
Istituto Motori (IM-CNR)
Istituto Ricerche sulla Combustione (IRC-CNR)
Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia (ITAE-CNR)
Università di Bologna, polo di Ravenna - Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali – (CIRSA - UNIBO)
Università di Napoli "Federico II" - Dip. Ing. Chimica dei Materiali e della Produzione Industriale – (DICMAPI - UNINA)
Università di Ferrara Dip. di Ingegneria - (ENDIF - UNIFE)

**Partecipazione a progetti su tematiche affini**

Non si segnalano attività di ricerca affini a quelle svolte nell'ambito del presente PAR nello stesso periodo temporale di riferimento. In termini più generali, in relazione ai temi di ricerca Bioenergia ed Efficienza, si segnalano i seguenti due progetti europei ai quali il CNR partecipa:

- 1) **Residue2Heat** (<http://www.residue2heat.eu/>). Progetto approvato. Durata: 1/1/2016 – 31/12/2019

*The overall objective of this project is to enable the utilization of various biomass residue streams in residential heating applications in a sustainable manner. Even the most advanced residential heating systems are currently unable to handle the difficult, inconsistent properties of agricultural and forestry residue streams. Within Residue2Heat, a two-step approach is followed in which biomass residue streams are first converted into a uniform, 2nd generation liquid biofuel via fast pyrolysis. Secondly, existing residential heating systems are tailored and optimized to allow the use of this standardized biofuel. Residue2Heat is to enable the utilization of sustainable, ash rich biomass and residues in residential heating applications (20-200 kWth) to provide sustainable heat at a competitive price. In this concept, various 2nd generation agricultural, and forestry residue streams are converted into a liquid energy carrier near the biomass origin at an economic viable scale of 15-30 MWth using the fast pyrolysis process.*

---

2) BIOMGRIDS - Fast-response multi-fuel bio-CHP systems for integration in smart thermal and electric grids. Proposta sottoposta a valutazione: call LCE33-2016 chiusa il 5 aprile u.s. Durata 42 mesi.

*The general objective of BIOMGRIDS Project is to develop an advanced clean, efficient and fast-response Combined Heat and Power (CHP) system based on solid and liquid biofuels suitable for integration in 100% RES-based smart microgrids*

**Coordinamento tra le attività del presente PAR e le attività condotte dagli altri due beneficiari (ENEA ed RSE spa) nell'ambito dei rispettivi AdP**

Non sussistono attività coordinate con gli altri beneficiari nell'ambito delle ricerche svolte nel presente PAR.

**Relativamente al piano triennale in corso (2012-2104) specificare quali linee di attività (o sottolinee), si concluderanno e quali si intendono proseguire nel prossimo piano triennale (2015-2017)**

Le Linee 1 e 2 del presente PAR sono allineate con i Temi di ricerca del Piano Triennale 2015-2017 indicati nelle Aree B e D (B. *Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio*; D. *Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici*). Si ritiene, pertanto, proficuo poter usufruire delle esperienze maturate e della strumentazione acquisita nell'ambito del presente PAR come presupposto scientifico, tecnico e strumentale per lo svolgimento di attività nell'ambito del PTR 2015-2017. Su tale base, si intendono proseguire le attività svolte in entrambe le Linee del presente PAR, ancorché adeguate alle tematiche del PTR 2015-2017. Naturalmente questo implicherà una completa ristrutturazione delle Linee ed, in particolare, delle singole attività proposte che dovranno rispondere efficacemente alle specifiche tematiche indicate nel nuovo PTR.

**Costi**

Costo totale del progetto € 1.250.000

Il dettaglio dei costi è riportato nelle tabelle di rendicontazione.

## Linea progettuale 1: Energia rinnovabile da biomasse per la generazione efficiente di energia elettrica e calore

### Elenco dei Partecipanti alle attività

Unità di Ricerca	WP o Sottolinea
CNR Istituto Motori (IM-CNR)	1.3 – 3.2 – 3.3 – 3.4
CNR Istituto Ricerche sulla Combustione (IRC-CNR)	2.2
CNR Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia (ITAE-CNR)	1.2
Università di Bologna, polo di Ravenna - Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali – (CIRSA - UNIBO)	1.1
Università di Napoli "Federico II" - Dip. Ing. Chimica dei Materiali e della Produzione Industriale – (DICMAPI - UNINA)	2.1
Università di Ferrara Dip. di Ingegneria - (ENDIF - UNIFE)	3.1

### Obiettivi della linea

La Linea 1 è rivolta all'utilizzo ottimale di biomasse per la generazione di energia, attraverso la loro valorizzazione in combustibili di più elevata qualità ed all'utilizzo efficiente degli stessi in sistemi termo meccanici di conversione. Tale Linea, per un valore complessivo di 900 k€, si colloca nell'Area Tematica B - Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente; sottotema B.1.1 - Energia elettrica da biomasse.

La linea progettuale 1 è strutturata nelle seguenti attività:

#### WP 1 Biomasse e biocombustibili da alghe

##### WP 1.1 Biomasse algali e loro frazioni termochimiche per la produzione di biocombustibili di terza generazione.

Unità di ricerca coinvolte:

- Università di Bologna – , polo di Ravenna - Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali – (CIRSA - UNIBO)

##### WP 1.2 Produzione di biocombustibili da oli di alghe o altre biomasse vegetali

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia (ITAE-CNR)



---

**WP 1.3 Produzione di bioslurry da biomasse e biochar ed oli da alghe**

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR Istituto Motori (IM-CNR)

**WP 2 Produzione di energia e materiali da biomasse lignocellulosiche e scarti****WP 2.1 Documentazione di potenzialità, disponibilità e caratteristiche di biomasse ai fini del loro impiego nella filiera e sostenibilità energetica del processo.**

Unità di ricerca coinvolte:

- Università di Napoli "Federico II" - Dip. Ing. Chimica dei Materiali e della Produzione Industriale – (DICMAPI - UNINA)

**WP 2.2 Definizione delle condizioni ottimali di pre-trattamento e di processo per la trasformazione pirolitica di biomasse per la loro valorizzazione energetica e analisi dell'effetto della presenza di inorganici sul processo di pirolisi e su rese e qualità dei prodotti.**

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR Istituto Ricerche sulla Combustione (IRC-CNR)

**WP 3 Sistemi di generazione/cogenerazione di taglia media e piccola alimentati con biomassa o biogas****WP 3.1 Sfruttamento dell'energia termica proveniente dalla combustione di biomasse con cicli ORC di piccola taglia**

Unità di ricerca coinvolte:

- Università di Ferrara Dip. di Ingegneria - (ENDIF - UNIFE)

**WP 3.2 Progettazione e realizzazione di un micro impianto pilota di generazione elettrica basato su di un ciclo Rankine organico di tipo ipercritico.**

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR Istituto Motori (IM-CNR)

**WP 3.3 Sistemi di generazione/cogenerazione di taglia media e piccola basati su MGT alimentate a biogas**

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR Istituto Motori (IM-CNR)

**WP 3.4 Tipizzazione di biogas e syngas come combustibili per sistemi di generazione/cogenerazione**

Unità di ricerca coinvolte:

- 
- CNR Istituto Motori (IM-CNR)

## **Attività 1.1 Biomasse algali e loro frazioni termochimiche per la produzione di biocombustibili di terza generazione**

---

### **Obiettivi**

La ricerca ha avuto l'obiettivo di fornire dati quantitativi utili (bilanci di massa, composizione elementare e molecolare, in particolare di idrocarburi monoaromatici C<sub>7</sub>-C<sub>9</sub>) per valutare la potenzialità e i limiti della pirolisi catalitica di microalghe attraverso la produzione e la caratterizzazione dettagliata di oli e biochar dal cracking termico (pirolisi intermedia) e catalitico (upgrading con zeolite) di biomasse algali selezionate.

### **Risultati conseguiti**

I risultati conseguiti, discussi in dettaglio nel report tecnico (**Allegato 1**), possono essere sintetizzati come di seguito:

- Ottenimento e caratterizzazione di cinque tipologie di alghe (*A.platensis*, *B.braunii*, *D.communis*, *U.lactuca*, *M.pyrifera*).
- Raccolta dati da esperimenti di pirolisi catalitica (cracking catalitico) con le biomasse algali e tre tipologie di catalizzatori (HZSM5 Si/Al 34, 45, 80; monilite zeolite/sepiolite).
- Caratterizzazione chimica elementare e molecolare delle frazioni ottenute dal cracking catalitico.
- Ottenimento di oli e biochar dal cracking catalitico delle alghe.
- Determinazione dei bilanci di massa, carbonio, azoto, energia dei sistemi catalitici più interessanti; determinazione delle concentrazioni di benzene, idrocarburi mono e poliaromatici.

### **Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

Non sono da rilevare scostamenti significativi. I risultati attesi, completamente conseguiti, sono:

- Rese e caratteristiche chimiche molecolari di oli e biochar ottenuti dal cracking termico e catalitico di biomasse algali nello sviluppo di biocombustibili.
- Produzione di campioni di biomassa algale, oli da cracking e biochar con caratteristiche definite del contenuto di idrocarburi mono e poliaromatici, e del tenore di azoto e zolfo da inviare all'IM-CNR per la produzione di bioslurry e test di combustione.

### **Deliverables**

I seguenti deliverables sono stati conseguiti/prodotti:

- Report tecnico (**Allegato 1**).
- Ottenimento di biocombustibili liquidi (bio-olio) dalla pirolisi termica/catalitica con zeolite di biomassa algale per test in micro-combustione.

- 
- Ottenimento di biomasse algali e biochar per la produzione di bioslurry.
  - Obiettivi quantitativi: bilancio di massa e caratterizzazione chimica delle frazioni pirolitiche.
  - Obiettivi quantitativi: rese bio-olio > 10%, contenuto azoto < 5%, benzene < 5%, idrocarburi policiclici aromatici < 10%; favorire formazione di biochar (> 20%) sul coke (< 10%).

### **Benefici per gli utenti finali**

I dati GSE del Rapporto statistico 2013 (marzo 2015) indicano che il 15% delle fonti di energia elettrica rinnovabile è dovuto al contributo delle biomasse (nel settore termico arriva al 73%, principalmente da combustione di biomassa solida, e al 100% nel settore trasporti, quasi tutto da biodiesel). Una frazione delle bioenergie nel settore elettrico è fornita dai biocombustibili, tra cui il biogas da digestione anaerobica. Con la nuova normativa sul biometano che richiede la separazione del CO<sub>2</sub> e il nuovo impulso per l'utilizzo e lo sviluppo sostenibile dei biocombustibili (es. direttiva 2015/1513, COP21) c'è stato un rinnovato interesse per le biomasse algali.

Le attività condotte nel presente WP possono contribuire allo sviluppo di sistemi per la produzione distribuita di energia basati su motori a combustione interna alimentati con oli prodotti da biomasse vegetali. Inoltre, in sinergia con il WP 1.3, le attività contribuiscono allo sviluppo della tecnologia degli bioslurry per l'utilizzo in centrali termoelettriche in sostituzione di slurry di carbone. Da entrambe queste azioni derivano diretti benefici per l'utente finale in termini ambientali e di salute pubblica.

### **Diffusione dei risultati** (indicare anche le modalità di diffusione)

Lorenzetti C., Conti R., Fabbri D., Yanik J. *A comparative study on the catalytic effect of H-ZSM5 on upgrading 4 of pyrolysis vapors derived from lignocellulosic and proteinaceous biomass*. Fuel 166 (2016) 446-452. doi:10.1016/j.fuel.2015.10.051- Articolo su rivista peer reviewed.

E.Bianchini, D.Fabbri, C. Torri, A.G.Rombolà, F.Guerrini, R.Pistocchi, P.Massoli. "A Detailed Quantitative Analysis of Products from Pyrolysis-Zeolite Cracking of the Microalgae Spirulina". 21° Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Nancy (FR), Maggio, 2016. Abstract inviato.

R.Conti, C.Lorenzetti, C.Torri, D.Fabbri, J.Yanik . "Analytical and preparative pyrolysis to investigate the conversion of proteinaceous biomass into hydrocarbons by zeolite cracking": XXV Congresso della Divisione di Chimica Analitica della Società Chimica Italiana, Trieste, 13-17.09.2015. Partecipazione e presentazione come contributo poster; pubblicazione nel Book of Abstract.

E. Bianchini, "Pirolisi catalitica di microalghe con zeoliti". Tesi di Laurea in Biocarburanti e Bioraffinerie Corso di laurea Magistrale in Analisi e Gestione dell'Ambiente, Università di Bologna, 2014-15.

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### Disponibili

- gas cromatografo-spettrometro di massa (GC-MS, CIRSA)
- analizzatore elementare (HCNS, CIRA).

Acquisite: Nessuna

---

## **Attività 1.2 Produzione di biocombustibili da oli di alghe o altre biomasse vegetali**

---

### **Obiettivi**

Sviluppo di sistemi catalitici eterogenei attivi e stabili nella reazione di transesterificazione di olio di alghe o altre biomasse oleaginose.

### **Risultati conseguiti**

I risultati conseguiti, discussi in dettaglio nel report tecnico (*Allegato 2*), possono essere sintetizzati come di seguito:

- Messa a punto di un reattore a ricircolo, assistito da una membrana per ottenimento di biodiesel pulito.
- Individuazione di un sistema catalitico con una configurazione ottimale per la reazione di transesterificazione di oli estratti da biomasse oleaginose utilizzando metanolo e/o etanolo come reagenti.
- Messa a punto di un sistema di reazione per test catalitici in condizioni supercritiche di etanolo.

### **Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

A parte le difficoltà nel reperimento di olio di natura algale in quantità tali da poter effettuare i test catalitici, non si segnalano scostamenti significativi tra i risultati ottenuti e quelli attesi. La transesterificazione di olio di alga non dovrebbe, infatti, portare a risultati significativamente differenti da quelli già ottenuti con gli altri bio-oli, se non al più nella distribuzione degli esteri prodotti.

### **Deliverables**

I seguenti deliverables sono stati conseguiti/prodotti:

- Sviluppo di un processo innovativo di produzione di biodiesel in catalisi eterogenea, a partire da oli vegetali contenenti anche quantità discrete di acidi grassi liberi
- Ottimizzazione di un processo catalitico avanzato di produzione di biodiesel
- Sintesi di biocombustibili mediante transesterificazione catalitica di bio-oli
- Sviluppo di catalizzatori solidi attivi nella conversione di oli di varia natura in biodiesel

### **Benefici per gli utenti finali**

Si prevede che i risultati attesi dal progetto possano riflettersi direttamente in azioni di sviluppo industriale in grado di coinvolgere aziende del settore agroindustriale e del settore energetico, metalmeccanico, ambientale. Infatti, le potenzialità di sviluppo tecnologico legate all'innovatività ed alla rilevanza delle conoscenze acquisite nell'ambito del progetto sono estremamente elevate perché fortemente caratterizzate da un alto livello di competitività. In particolare, nel settore energetico ed ambientale si prevede un forte impatto soprattutto nei seguenti settori:

- 
- imprese che producono biomasse come scarti del loro ciclo produttivo e che hanno intenzione di implementare la loro configurazione impiantistica attraverso sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili per abbattere i costi di gestione e smaltimento delle biomasse da un lato, garantendo anche il fabbisogno energetico dei processi preesistenti;
  - imprese che sviluppano tecnologie avanzate nel settore energetico ed ambientale attraverso la messa a punto di tecnologie e processi innovativi per la produzione di biocombustibili a partire da bio-oli.

A tal proposito, è importante sottolineare che il settore di produzione energetica da biomasse è caratterizzato dal più alto tasso di sviluppo occupazionale nell'ambito delle fonti rinnovabili che, secondo dati IEFE, è stimato in circa 65.000 addetti al 2020. Gli impianti di conversione energetica, infatti, rispetto ad altri sistemi di produzione energetica discontinui (eolico, fotovoltaico, solare termico) sono caratterizzati da una gestione continuativa della generazione elettrica che implica l'impiego H24 di personale qualificato.

### **Diffusione dei risultati**

Sono in fase di preparazione n. 2 lavori scientifici per la pubblicazione dei risultati ottenuti nella trasformazione catalitica degli oli da biomasse oleaginose in biodiesel, in presenza di alcoli operanti anche in fase supercritica.

E' prevista la presentazione dei principali risultati nelle prossime conferenze nazionali/internazionali riguardanti la sintesi catalitica di biocombustibili.

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### Disponibili

- ANALIZZATORE DI SUPERFICI DI SOLIDI POROSI (MICROMERITICS ASAP 2020)  
Determinazione dell'area superficiale totale e della distribuzione porosimetrica dei catalizzatori solidi investigati.
- BAGNO AD ULTRASUONI  
Preparazione dei catalizzatori mediante trattamento sotto ultrasuoni.
- BILANCIA  
Peso di sostanze/composti/catalizzatori da pochi mg fino a centinaia di grammi.
- BILANCIA TERMOGRAVIMETRICA (NETZSCH STA 409)  
Studio delle variazioni strutturali di materiali catalitici "Fresh" e "Used" al variare della temperatura ed in atmosfera controllata.
- DIFFRATTOMETRO A RAGGI X (Philips X-Pert)  
Identificazione delle fasi (amorphe e/o cristalline) presenti nei catalizzatori eterogenei studiati/preparati.
- GAS CROMATOGRAFO Agilent 7890A  
Separazione dei composti della miscela di reazione con analisi di tipo GC-FID e GC-TCD.
- IMPIANTO DI TESTING CATALITICO - REATTORE BATCH A RICIRCOLO ASSISTITO DA MEMBRANA  
Impianto da laboratorio equipaggiato con reattore batch da 100-300 mL per la conduzione di test catalitici per la produzione di biodiesel mediante trans esterificazione di oli provenienti da biomasse oleaginose in presenza di catalizzatori solidi acidi. Il reattore è accoppiato ad un sistema

---

a membrana per la rimozione in continuo dell'acqua formata durante la reazione, a causa della presenza di acidi grassi.

- MICROSCOPIO ELETTRONICO A SCANSIONE CON EMETTITORE AD EFFETTO DI CAMPO (Philips XL-30-FEG)  
Valutazione della morfologia delle superfici catalitiche e loro mappatura chimica.
- MICROSCOPIO ELETTRONICO IN TRASMISSIONE (Philips CM12)  
Studio della morfologia e struttura di catalizzatori "fresh & used".
- MUFFOLA  
Calcinazione dei catalizzatori preparati per stabilizzazione della fase attiva.
- PRESSA IDRAULICA  
Compressione di polveri per la preparazione di pasticche da analizzare mediante XRF.
- STRUMENTO TPD  
Misure di desorbimento a temperatura programmata di molecole probe (NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>) dei catalizzatori preparati per la determinazione delle principali proprietà superficiali acido-base.
- STUFA  
Essiccamento di catalizzatori in fase di preparazione.  
Concentrazione di soluzioni per evaporazione di solventi.
- TERMOCRIOSTATO  
Termostatazione di soluzioni per la conservazione delle miscele prodotte.

#### Acquisite

Nessuna

---

### **Attività 1.3 Produzione di bioslurry da biomasse e biochar ed oli da alghe**

---

#### **Obiettivi**

Formulazione, realizzazione e caratterizzazione di bioslurry, ovvero di slurry formati con biomassa e bio oli, adatti per l'utilizzo in centrali termoelettriche.

#### **Risultati conseguiti**

I risultati conseguiti, discussi in dettaglio nel report tecnico (*Allegato 3*), possono essere sintetizzati come di seguito:

- Procedure di pre-trattamento delle biomasse ottimizzate per la produzione di bioslurry
- Formazione e caratterizzazione dei bioslurry
- Messa a punto di una procedura per l'analisi di immagini digitali per la determinazione delle caratteristiche morfologiche delle gocce di bioslurry durante il processo di combustione
- Proprietà fondamentali di combustione dei bioslurry prodotti.
- Principali specie gassose e condensabili e caratterizzazione del particolato solido emesso dalla combustione dei bioslurry prodotti.

Lo studio ha riguardato i seguenti campioni:

- 
- i) bioslurry formato con alghe disperse in biodiesel
  - ii) bioslurry formato con char, da pirolisi di alghe, disperso in biodiesel
  - iii) olio di pirolisi di biomassa algale
  - iv) biodiesel

### **Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

Non sono da rilevare scostamenti significativi tra i risultati attesi e quelli conseguiti.

### **Deliverables**

I seguenti deliverables sono stati conseguiti/prodotti:

- Relazione tecnica sulle procedure, formulazione e proprietà di combustione di bioslurry prodotti con biomassa algale o biochar dispersi in oli da alghe o fossili.
- Pubblicazioni scientifiche su riviste e presentazione lavori a conferenze internazionali di settore (in fase di preparazione).

### **Benefici per gli utenti finali**

La possibilità di utilizzare direttamente le alghe o il biochar derivato dalle stesse nella formulazione di slurry per uso in caldaie, apre scenari innovativi nella generazione di energia elettrica in centrali a carbone o olio pesante.

La sostituzione di tali combustibili fossili con combustibili rinnovabili CO<sub>2</sub> neutri, contribuirà ad una migliore qualità della vita dell'utente finale attraverso le benefiche ricadute sull'ambiente e sulla salute pubblica.

La diffusione dei risultati ottenuti può contribuire allo sviluppo industriale di nuove tecnologie con ricadute benefiche sull'occupazione (imprese high tech) e sull'ambiente (diminuzione dell'impatto ambientale della produzione di energia)

### **Diffusione dei risultati**

Sono in fase di preparazione n. 1 lavoro a conferenza e n. 2 lavori su riviste internazionali peer reviewed. Naturalmente questi lavori rappresentano solo il primo step in un'azione di diffusione sistematica e capillare dei risultati conseguiti.

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### Disponibili:

- Telecamera CMOS per imaging ad altissima velocità e risoluzione
- Cella combustione ad alta pressione (realizzata in-house)
- Personal computer
- Oscilloscopio digitale
- Sistema di movimentazione micrometrica

---

Acquisite:

Nessuna

---

**Attività 2.1 Documentazione di potenzialità, disponibilità e caratteristiche di biomasse ai fini del loro impiego nella filiera e sostenibilità energetica del processo.**

---

**Obiettivi**

Analisi delle potenzialità e delle caratteristiche di feedstock ligno-cellulosici provenienti da scarti di lavorazioni e rifiuti in una realtà territoriale di riferimento.

Studio documentale e di analisi dei dati sperimentali per la determinazione delle potenzialità di utilizzo dei prodotti di un processo di pirolisi in vista del loro impiego per la valorizzazione energetica e quali materie prime secondarie.

**Risultati conseguiti**

I risultati conseguiti, discussi in dettaglio nell'*Allegato 4*, possono riassumersi in:

- Classificazione e caratterizzazione di materiali di scarto di processi agroindustriali tipici del territorio di riferimento in riferimento alla loro potenzialità di impiego in processi di recupero materico ed energetico.
- Valutazione delle potenzialità e delle problematiche legate all'utilizzo come combustibile delle frazioni solida, liquida e gassosa dei prodotti del processo di pirolisi.

**Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

I risultati attesi, di seguito riportati, sono stati completamente conseguiti:

- Classificazione e caratterizzazione di materiali di scarto di processi agroindustriali tipici del territorio di riferimento in riferimento alla loro potenzialità di impiego in processi di recupero materico ed energetico.
- Valutazione delle potenzialità e delle problematiche legate all'utilizzo come combustibile delle frazioni solida, liquida e gassosa dei prodotti del processo di pirolisi.

**Deliverables**

Il deliverable previsto in questa attività:

*Relazione tecnica sull'analisi di caratteristiche e disponibilità di scarti e rifiuti vegetali e valutazione della sostenibilità energetica del processo di pirolisi ai fini del recupero energetico e di materiali.*

è stato conseguito/prodotto.



---

Come indicato in sede di proposta, il criterio di valutazione di tale deliverable era la disponibilità di una analisi qualitativa e quantitativa sulla disponibilità di feedstock residuali effettivamente disponibili e sulla loro natura, caratteristiche e stagionalità.

Tale analisi è ampiamente riportata nel report tecnico del progetto che costituisce in essenza il deliverable previsto (**Allegato 4**). In esso si traccia una analisi dettagliata della disponibilità sul territorio locale campano della disponibilità di biomasse residuali provenienti da processi produttivi e si analizzano in dettaglio potenzialità e problematiche legate ad un'utilizzo di tali materiali per la realizzazione di un ciclo di trattamento che sia economicamente ed ambientalmente sostenibile.

### **Benefici per gli utenti finali**

Le attività di classificazione e caratterizzazione di materiali disponibili sul territorio e potenzialmente utilizzabili in una filiera di valorizzazione/trasformazione per mezzo di trattamenti termici rappresentano un contributo rilevante alla possibilità di realizzare filiere virtuose di risparmio di costi oltre che di recupero di energia e materiali su scala locale con diretti vantaggi per l'utenza finale.

D'altra parte la valutazione delle potenzialità e delle problematiche legate all'utilizzo come combustibile delle frazioni solida, liquida e gassosa dei prodotti del processo di pirolisi unitamente alla valutazione del contenuto energeticamente utilizzabile e delle caratteristiche dei materiali prodotti costituisce un indispensabile tassello nella determinazione della applicabilità e sostenibilità di filiere locali di recupero di energia e materia da scarti di lavorazione e rifiuti.

### **Diffusione dei risultati** (indicare anche le modalità di diffusione)

Su tale attività non è stata ancora concretizzata alcuna attività di diffusione dei risultati.

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### Disponibili:

N.A.

#### Acquistate:

Nessuna

---

## **Attività 2.2 Definizione delle condizioni ottimali di pre-trattamento e di processo per la trasformazione pirolitica di biomasse per la loro valorizzazione energetica e analisi dell'effetto della presenza di inorganici sul processo di pirolisi e su rese e qualità dei prodotti.**

---

### **Obiettivi**

Definizione di processi e condizioni di lavoro per la trasformazione pirolitica di biomasse e determinazione della distribuzione dei composti metallici contenuti nella biomassa originale nei prodotti in seguito al processo pirolitico.

---

Studio sistematico degli effetti della presenza di contaminanti inorganici su rese e qualità dei prodotti della pirolisi di biomasse ligno-cellulosiche.

### **Risultati conseguiti**

I risultati conseguiti, discussi in dettaglio nell'*Allegato 5*, possono riassumersi in:

- Caratterizzazione dei prodotti del processo di "steam pyrolysis" di un feedstock selezionato in funzione dei parametri operativi e delle caratteristiche del feedstock alimentato.
- Determinazione degli effetti in termini di rese e proprietà morfologiche del residuo solido della presenza di contaminanti inorganici nei feedstock.

### **Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

I risultati attesi nel corso di tale attività erano:

- Caratterizzazione dei prodotti del processo di "steam pyrolysis" di un feedstock selezionato in funzione dei parametri operativi e delle caratteristiche del feedstock alimentato.
- Determinazione degli effetti in termini di rese e proprietà morfologiche del residuo solido della presenza di contaminanti inorganici nei feedstock.

Tali risultati sono stati raggiunti, come si evince dal report delle attività e dalle relazioni tecniche allegate. Non ci sono particolari scostamenti da segnalare.

### **Deliverables**

I deliverables previsti al termine di questa attività consistono nei report tecnici relativi a:

1. Determinazione del feedstock campione da utilizzare nella sperimentazione dettagliata del processo di pirolisi e sulle ottimali condizioni sostenibili di processo per la massimizzazione delle rese e delle efficienze.
2. Attività di analisi dell'effetto dei contaminanti inorganici sui prodotti del processo.

I criteri quantitativi di valutazione dei deliverables erano rispettivamente:

1. Analisi comparativa delle caratteristiche chimiche e fisiche dei prodotti del processo di pirolisi per classi selezionate di feedstock residuali individuati per mezzo della attività precedente.
2. Valutazione quantitativa di rese e proprietà chimico fisiche dei prodotti del processo di pirolisi in funzione della presenza di contaminanti organici tipicamente presenti nei feedstock residuali.

Il report tecnico è stato realizzato ed è allegato alla presente relazione (*Allegato 5*).

### **Benefici per gli utenti finali**

La conoscenza delle dipendenze dai parametri di processo delle caratteristiche dei prodotti è un elemento chiave per l'ottimizzazione ed il tailoring di filiere in scala locale.

---

La determinazione di effetto e conseguenze della presenza di inquinanti inorganici nei materiali sottoposti al processo di pirolisi è rilevante soprattutto per la verifica della compatibilità dei materiali prodotti ad un riciclo locale (per usi agricoli, energetici o edilizi).

**Diffusione dei risultati** (indicare anche le modalità di diffusione)

- Gargiulo, P. Giudicianni, M. Alfè, R. Ragucci. Influence of possible interactions between biomass organic components and alkali metal ions on steam assisted pyrolysis: A case study on Arundo donax. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 112 (2015) 244–252.
- Giudicianna, G. Cardone, G. Sorrentino, R. Ragucci. Hemicellulose, cellulose and lignin interactions on Arundo donax steam assisted pyrolysis *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 110 (2014) 138–146.
- Gargiulo, P. Giudicianni\*, M. Alfè, M. De Joannon, R. Ragucci. Do the Interactions between Biomass Organic Components and Alkali Metal Ions Affect Pyrolysis Liquid Composition? A Case Study on Arundo Donax. *Proceedings of the 7th European Meeting on Combustion*, Budapest, Aprile, 2015.
- P. Giudicianni, G. Cardone, A. Cavaliere, R. Ragucci. Effect of Feedstock Demineralization on Physico-chemical Characteristics of Arundo Donax Derived Biochar. *Chemical Engineering Transactions*, Volume 37, *Proceedings of the International Conference on Biomass*, Firenze, Maggio, 2014.

**Apparecchiature disponibili e acquisite**

Disponibili:

- Generatore di vapore
- Gascromatografo/TCD/FID
- Evaporatore Rotante
- Essiccatore a microonde
- Analizzatore elementare
- Gas cromatografo/MS
- PorosimetroSEM
- Reattore di pirolisi
- Compressore “oil free” tipo scroll

Acquistate:

- Analizzatore di gas online

---

**Attività 3.1 Sfruttamento dell’energia termica proveniente dalla combustione di biomasse con cicli ORC di piccola taglia**

---

**Obiettivi**

L’obiettivo dell’attività è la valutazione della possibilità di sfruttamento dell’energia termica proveniente dalla combustione di biomasse attraverso l’utilizzo di cicli Rankine a fluido organico, denominati ORC (Organic Rankine Cycle).

---

## Risultati conseguiti

Il progetto si divideva in quattro subtask interconnessi tra di loro ma ciascuno con obiettivo e risultati ben distinguibili e utilizzabili anche a se stanti. L'attività, per la quale sono disponibili relazioni estese allegate a questo documento (**ALLEGATO 6A e 6B**), è dettagliata come segue:

- Sviluppo e la messa a punto di un modello termodinamico stazionario a parametri concentrati di un sistema di cogenerazione alimentato a biomasse basato sul ciclo di Rankine a fluido organico (**ALLEGATO 6B.1**)
- Sviluppo di un modello geometrico bidimensionale e tridimensionale di un espansore di tipo scroll (**ALLEGATO 6B.2**)
- Sviluppo di un modello CFD 2D/3D dell'espansore Scroll (**ALLEGATO 6B.2**)
- Progetto concettuale di una metodologia di co-simulazione per la messa a punto di un modello OD/CFD (**ALLEGATO 6B.3**)

## Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Tutti i risultati attesi sono stati sostanzialmente raggiunti. Si rileva che in fase di progetto si era pensato di valutare, per la simulazione CFD, l'impiego di codici Open Source (tipo Open Foam). Si è rilevato però che questi codici, sebbene per certi versi ormai a livello di accuratezza e robustezza dei codici commerciali di maggiore diffusione, non sono ancora sufficientemente gestibili per simulazioni in cui siano presenti griglie mobili. Inoltre, non state effettuate simulazioni stazionarie CFD preliminari ma si è deciso di ottenere fin da subito i risultati attraverso simulazioni transitorie. Queste, sebbene siano significativamente più complesse e onerose di quelle stazionarie, sono state giudicate però maggiormente significative e il loro ottenimento è ampiamente inclusivo rispetto a quelle stazionarie.

## Deliverables

I seguenti deliverables sono stati conseguiti/prodotti:

- Analisi dell'accoppiamento di un circuito ORC con un sistema per lo sfruttamento termico delle biomasse (**ALLEGATO 6B.1**)
- Studio del comportamento del circuito ORC in funzione delle richieste termiche ed elettriche del sistema (**ALLEGATO 6B.1**)
- Procedura per l'implementazione, in un linguaggio qualsiasi, di uno strumento di calcolo delle prestazioni di cicli ORC (**ALLEGATO 6B.1**)
- Illustrazione della metodologia OD/3D (**ALLEGATO 6B.2**)
- Relazione finale sulle attività svolte
- Disegno 3D del compressore scroll commerciale

## Benefici per gli utenti finali

- Disponibilità di un modello di immediata implementazione per un'analisi comparativa parametrica di diverse configurazioni impiantistiche e con utilizzo di fluidi diversi per determinate caratteristiche della sorgente e dello scarico termico.

- 
- Disponibilità di un modello CFD e di una procedura per la sua implementazione per (i) valutazione delle potenzialità degli scroll come espansori, (ii) implementazione/validazione di modelli numerici attraverso le linee guida illustrate
  - Disponibilità di una geometria reale di macchina volumetrica sulla quale poter effettuare validazioni e che può rappresentare una base per lo sviluppo di progetti alternativi.
  - Disponibilità di una procedura di implementazione di un metodo di co-simulazione 0D/3D per macchine volumetriche tipo scroll
  - Contributo alla penetrazione nel settore residenziale e terziario di un sistema di generazione efficiente e a fonte rinnovabile che può garantire anche la soddisfazione dei fabbisogni termici oltre ad una produzione dell'energia elettrica caratterizzata da programmabilità.

### **Diffusione dei risultati**

#### Seminari

Seminario presso l'Università degli Studi di Bologna dal titolo "Modellazione numerica di compressori scroll per applicazioni ORC"

#### Congressi Internazionali

Suman, A., Aldi, N., Buratto, C., Pinelli, M. and Spina, P.R., Morini, M., 2015, Comparison between two different CFD approaches of a real scroll expander for micro-orc applications, 3rd International Seminar on ORC Power Systems, Bruxelles, Paper ID: 130.

#### Riviste Internazionali

Morini, M., Pavan, C., Pinelli, M., Romito, E., Suman, A., 2015, Analysis of a scroll machine for micro ORC applications by means of a RE/CFD methodology, *Applied Thermal Engineering*, 80, pp. 132–140

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### Disponibili

- Workstation singole ad alte prestazioni per il calcolo CFD e il post-processamento dei dati
- Cluster di calcolo composto da 48 processori in parallelo per il calcolo CFD ad elevate prestazioni
- Braccio ROMER 7320 a 7 assi con testa laser e tastatore per l'implementazione della procedura di Reverse Engineering

#### Acquisite

Nessuna

---

## **Attività 3.2 Progettazione e realizzazione di un micro impianto pilota di generazione elettrica basato su di un ciclo Rankine organico di tipo ipercritico**

---

### **Obiettivi**

Sviluppo di un micro impianto ORC innovativo (operante ad una temperatura prossima a quella critica), ad alta flessibilità di utilizzo e migliorato rendimento termodinamico

---

## Risultati conseguiti

I risultati conseguiti, discussi in dettaglio nel report tecnico (**Allegato 7**), possono essere sintetizzati come di seguito.

- Definizione e realizzazione di un impianto funzionante basato su un ciclo termodinamico di tipo Rankine organico agente ad elevata pressione, che rappresenta un primo passo verso la realizzazione di un ciclo ipercritico ad elevato rendimento grazie alla integrazione di un espansore volumetrico alternativo ad elevato rapporto di espansione.
- Realizzazione di un impianto pilota operante a pressioni prossime a quelle critiche (sub-critiche, trans-critiche ed iper-critiche) nella configurazione dotata di un espansore volumetrico di tipo scroll, che rappresenta di per sé un work-bench di prova dove è possibile accogliere diverse tipologie di pompe di alimento, scambiatori ed espansori di differente tipologia e cilindrata.
- Realizzazione di un generatore elettrico asincrono monofase (con rotore con gabbia in lega di alluminio/rame) che è stato testato al banco dando dei promettenti risultati, sia in termini di rendimento che di compattezza.

## Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

L'impianto è stato testato in corrispondenza di differenti pressioni di alimentazione e diverse temperature/pressioni di condensazione al fine di ottenere un quadro quanto più generale possibile del comportamento dei singoli elementi che costituiscono il sistema.

Il sistema ha mostrato la propria funzionalità evidenziando le elevate potenzialità dei cicli a pressione critica nei confronti dell'aumento netto del rendimento o della possibilità di disporre di calore di scarico convenientemente e facilmente smaltibile, mantenendo una efficienza ancora accettabile (almeno se confrontato con i cicli subcritici a più bassa pressione). La futura integrazione della macchina volumetrica non convenzionale avente un elevato rapporto di espansione e dotata di una pompa di alimento integrata, potrà confermare ancora di più le potenzialità intraviste nella fase di simulazione ed analisi, per poi poter essere inquadrata all'interno di qualche schema termodinamico per il quale si vogliono ottenere elevati valori di efficienza globale. La macchina elettrica ha mostrato delle buone potenzialità in termini di rendimento, facendo salve le esigenze di agevole inserzione in rete e silenziosità.

Il sistema dovrà essere dotato dell'espansore con pompa integrata appena sarà completata la fase sviluppo ed ottimizzazione dei componenti meccanici di quest'ultimo, che hanno richiesto molto più tempo del previsto per essere realizzati e che hanno necessitato di svariate correzioni e modifiche. Solo allora sarà possibile realizzare pienamente i cicli termodinamici con pressione nell'intorno del valore critico, in quanto diversamente non si disporrebbe della macchina idonea a realizzare un elevato rapporto di espansione. Questa fase di integrazione, però, sarà semplificata dalla mole di dati sperimentali derivanti dall'altro impianto realizzato e che funziona in condizioni termodinamiche assimilabili a quelle previste per l'espansore alternativo di tipo non convenzionale.

Gli elementi meccanici che compongono il sistema sono stati oggetto di numerosi emendamenti e modifiche rispetto a quanto inizialmente progettato e di seguito realizzato; ciò ha comportato un elevato numero di interventi di tipo manuale e la realizzazione di svariati pezzi presso officine

---

meccaniche come ricambi da impiegare sul sistema. Gli scostamenti possono essere ricondotti direttamente alle criticità sopra riportate e saranno allo stesso modo affrontate.

### **Deliverables**

Viene consegnato (*Allegato 7*) il deliverable previsto che consiste nel report tecnico sulle attività svolte nel biennio 2014-2016 relative ad un impianto completo a ciclo Rankine di tipo ipercritico da alimentare con fonti di calore esterne a bassa e media entalpia.

### **Benefici per gli utenti finali**

Sfruttamento a basso costo ed elevata efficienza di calore proveniente da geotermia, energia solare e sistemi ibridi per la produzione combinata di calore ed elettricità;

Utilizzo razionale a basso costo ed elevata compattezza di impianto del cascame termico dei motori a c.i, sia per l'aumento del rendimento elettrico in cogenerazione che per l'aumento di efficienza nei trasporti veicolari

### **Diffusione dei risultati** (indicare anche le modalità di diffusione)

I risultati sono stati diffusi a livello nazionale ed internazionale presso altri Colleghi di Università.

Sono inoltre in preparazione alcuni lavori da inviare a Riviste specializzate (Applied Thermal Engineering e Energy).

Il sistema è stato anche oggetto delle seguenti Tesi di Laurea presso la Facoltà di Ingegneria della Federico II di Napoli:

- 1) Realizzazione di un generatore di acqua surriscaldata per alimentare un impianto ORC
- 2) Ideazione e realizzazione di un espansore ad elevato grado di espansione per impianti a vapori organici.
- 3) Studio termodinamico di cicli sub-critici, trans-critici ed iper-critici con fluido frigorifero R245fa.

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### Disponibili

- Sistema di resistenze elettriche raffreddate ad acqua trasformato in un generatore di acqua surriscaldata durante il Progetto
- Termocamera
- Sistema di acquisizione delle temperature, pressioni velocità

#### Acquisite

Nessuna

---

### **Attività 3.3 Sistemi di generazione/cogenerazione di taglia media e piccola basati su MGT alimentate a biogas**

---

#### **Obiettivi**

Utilizzo efficiente di combustibili derivati da digestione anaerobica di biomasse (biogas) in applicazione di mini generazione distribuita di energia.

#### **Risultati conseguiti**

I risultati conseguiti, discussi in dettaglio nell'*Allegato 8*, possono essere sintetizzati come di seguito.

- Realizzazione della mappa di funzionamento della micro turbina a gas alimentata con biogas al variare della tipologia di biocombustibile gassoso e del carico elettrico richiesto.
- Individuazione delle criticità legate all'adozione di combustibili a basso potere calorifico attraverso modellazione CFD 3D del combustore della micro turbina a gas Turbec T100.
- Valutazione tecnico-economica e progettazione di una stazione tecnologica di decompressione, regolazione e miscelamento di gas combustibili (GN, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) per l'alimentazione della microturbina con gas modello di biogas.
- Progettazione di una gestione innovativa delle strategie di alimentazione del combustibile (biogas) e della combustione al fine di un ampliamento effettivo della concentrazione di CO<sub>2</sub> ammissibile nel biogas.

Le strategie di alimentazione del combustibile proposte nel presente studio permettono di incrementare sensibilmente la concentrazione di anidride carbonica in un biogas da utilizzare in una micro turbina a gas, senza che sia necessaria una riprogettazione o modifica invasiva della macchina. Ciò consente di ridurre i costi di adeguamento di impianto e di estendere il campo operativo di tali macchine in caso di utilizzo di combustibili a basso potere calorifico.

E' stato dimostrato che con tale approccio è possibile utilizzare efficientemente, in una MGT Turbec T100, un combustibile con tenore doppio di CO<sub>2</sub> rispetto a quanto presente nella letteratura scientifica internazionale: si è passati da circa il 12% ad oltre il 24%. Ulteriori valutazioni ed analisi sperimentali consentiranno di verificare quali siano i limiti massimi raggiungibili.

Tale approccio è estendibile a tutte quelle micro turbine a gas i cui combustori siano del tipo lean-premixed e prevedano una doppia linea di adduzione del combustibile.

Dal punto di vista dello sfruttamento razionale di risorse energetiche di basso valore economico, l'ampliamento del dominio dell'indice di Wobbe,  $I_w$ , della microturbina T100, tramite il cambiamento esclusivo delle strategie di alimentazione e di combustione, consentirà di estendere l'indagine e investigare potenzialità e criticità legate all'utilizzo di altri combustibili gassosi a basso potere calorifico, non esclusivamente biogas.

L'estensione del campo di utilizzo di una micro turbina a gas commerciale senza costi aggiuntivi rilevanti va considerato come indubbio beneficio per l'utilizzatore finale.



---

**Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

Non si rilevano scostamenti significativi rispetto ai risultati attesi.

**Deliverables**

E' stato prodotto il deliverable dell'attività che consiste nel report tecnico (*Allegato 8*) relativo a:

- Individuazione attraverso simulazioni numeriche delle soluzioni tecnologiche per lo sfruttamento efficiente di biogas da digestione anaerobica in applicazioni di mini generazione distribuita di energia.
- Progettazione di un sistema sperimentale per la formazione di miscele combustibili con composizione tipica di biogas, da utilizzare in impianti di mini generazione e cogenerazione basati su microturbine a gas commerciali.
- Progettazione di una gestione innovativa delle strategie di alimentazione del combustibile (biogas) e della combustione al fine di un ampliamento effettivo della concentrazione di CO<sub>2</sub> ammissibile nel biogas.

**Benefici per gli utenti finali**

- Incremento della concentrazione di CO<sub>2</sub> nel biogas con riduzione dei costi di adeguamento di impianto.
- Utilizzo di biogas e gas combustibili con basso potere calorifico per la produzione di energia elettrica.
- Riduzione dei costi di produzione dell'energia.
- Riduzione dei costi della bolletta elettrica,

**Diffusione dei risultati** (indicare anche le modalità di diffusione)

N. 1. Articolo su rivista internazionale peer reviewed.

N. 2. Contributo a convegno di rilevanza internazionale.

**Apparecchiature disponibili e acquisite**Disponibili

- Microturbina LP 330 kW TurbecT100
- Analizzatore gas di scarico Testo
- Sistema monitoraggio fughe gas
- Sistema estrazione ATEX
- Centrale decompressione gas
- Misuratori portata gas combustori primario e secondario microturbina
- Impianto di Convogliamento gas per MGT
- Sensori sale prova MGT
- Workstation per calcolo parallelo CFD

- 
- Licenza base AnSYS Academic Research CFD
  - Licenza 8 core calcolo parallelo ANSYS Academic Research HPC

#### Acquisite

- Licenza software Ansys Academic Research (Licenze annuali; condiviso con WP 2.1)
- Workstation (rateo e condiviso con WP 2.1)
- PC (rateo e condiviso con WP 2.1)
- Rigeneratore per turbina TURBEC T100 (rateo e condiviso con WP 2.1)
- Misuratore/Regolatore di portata digitale (rateo e condiviso con WP 2.1)

---

### **Attività 3.4 Tipizzazione di biogas e syngas come combustibili per sistemi di generazione/cogenerazione**

---

#### **Obiettivi**

L'attività del Task 3.4 è rivolta alla caratterizzazione dei parametri cinetici di combustione di miscele gassose, destinate ad applicazioni in turbine a gas. Obiettivo generale è fornire un supporto conoscitivo per individuare le direttrici progettuali e le specifiche funzionali/operative di sistemi alimentati con tali miscele.

#### **Risultati conseguiti**

I risultati conseguiti, discussi in dettaglio nell'*Allegato 9*, possono essere sintetizzati come di seguito.

- Individuazione dell'output dei processi tipici di produzione di biogas e syngas
- Definizione di composizioni di riferimento (o rappresentative) per biogas (CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>) e syngas (H<sub>2</sub>/CO)
- Valutazione delle caratteristiche di combustione ( $u_l$ ,  $L_b$ ) in funzione del rapporto di equivalenza ( $\phi$ ) e delle condizioni iniziali ( $p$ ,  $T$ ).

Sono state esaminate miscele binarie CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> a vari tenori di CO<sub>2</sub>, rappresentative di composizioni tipiche di biogas. Per quanto riguarda miscele binarie H<sub>2</sub>/CO, rappresentative di syngas, è stato esaminato il caso con il 5% di H<sub>2</sub>, in quanto ritenuto adatto ad una sostituzione diretta e immediata del CH<sub>4</sub> nella MGT di riferimento (wp 3.3).

#### **Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

Non si rilevano scostamenti significativi rispetto ai risultati attesi.

#### **Deliverables**

E' stato prodotto il deliverable dell'attività che consiste nel report tecnico (*Allegato 8*) relativo a:

- 
- **Report tecnico sulle caratteristiche di miscele CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>/CO** come combustibili destinati alla cogenerazione in impianti basati su MGT. Sono stati quantificati i parametri caratteristici di fiamma laminare ( $u_l$ ,  $L_b$ ) per syngas e biogas, la cui composizione e le cui condizioni di funzionamento corrispondono a quanto verificato con la MGT da 100 kW utilizzata nel workpackage 3.3.

#### **Benefici per gli utenti finali**

- Utilizzo di gas di sintesi e/o derivanti da biomasse per la produzione di energia elettrica.
- Benefici economici nella fase di produzione dell'energia.
- Benefici economici per l'utenza finale.

#### **Diffusione dei risultati** (indicare anche le modalità di diffusione)

N. 1 Paper a conferenze/congressi (10th PSFVIP, Napoli, 15-18 June, 2015)

#### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

##### Disponibili

- Reattore DHARMA ad alta pressione otticamente accessibile
- Sorgente laser DPSS @532nm
- Sistema di imaging digitale ad alta velocità
- Centrale decompressione gas
- Sensori gas esplosivi e tossici
- Sistema monitoraggio fughe gas
- Sistema estrazione ATEX

##### Acquisite

Nessuna

## Linea progettuale 2: Risparmio di energia elettrica attraverso l'ottimizzazione di schemi energetici e lo sviluppo di tecnologie di conversione innovative

Elenco dei Partecipanti alle attività

Unità di Ricerca	WP o Sottolinea
Istituto per l'Energetica e le Interfasi (IENI-CNR)	2.1
Istituto Motori (IM-CNR)	1
Istituto Ricerche sulla Combustione (IRC-CNR)	2.2

### Obiettivi della linea

La Linea 2 è dedicata al risparmio di energia, attraverso l'ottimizzazione del governo di sistemi energetici complessi basati su fonti primarie diversificate e differenti tecnologie di produzione/conversione, e lo sviluppo di tecnologie di conversione innovative. Tale Linea, per un valore complessivo di 350 k€, si colloca nell'Area Tematica C "Uso razionale dell'energia e risparmio energetico negli usi finali elettrici", sottotema C1: "Uso efficiente dell'energia elettrica nei settori residenziale, terziario (incluso settore pubblico), industriale".

Nell'ambito del WP1, le attività hanno riguardato lo sviluppo di strategie di gestione e controllo di una smart grid energetica in grado di compensare, attraverso un uso efficiente dell'energia rinnovabile accumulata e della produzione da motori endotermici, le variazioni di energia prodotta da fonti rinnovabili non programmabili. Le attività del WP 2, organizzate nei Task 2.1 e 2.2, sono incentrate sullo studio dell'accoppiamento di tecnologie di combustione catalitica e generazione termoelettrica allo scopo di massimizzare l'efficienza energetica ed ambientale di sistemi di co-generazione distribuita di piccola taglia o portatili.

La linea progettuale 2 è strutturata nelle seguenti attività:

#### WP 1 Risparmio di energia elettrica attraverso l'ottimizzazione di schemi energetici

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR Istituto Motori (IM-CNR)

#### WP 2 Tecnologie catalitiche per il risparmio energetico in impianti di piccola taglia (civili e industriali)

##### WP 2.1 Preparazione e caratterizzazione di catalizzatori strutturati nanoPt-Fecralloy

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR Istituto per l'Energetica e le Interfasi (IENI-CNR)

---

## **WP 2.1 Biomasse algali e loro frazioni termochimiche per la produzione di biocombustibili di terza generazione.**

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR Istituto Ricerche sulla Combustione (IRC-CNR)

---

### **Attività 1 Risparmio di energia elettrica attraverso l'ottimizzazione di schemi energetici**

---

#### **Obiettivi**

Sviluppo di strategie di gestione e controllo di una smart grid energetica

#### **Risultati conseguiti**

I risultati, discussi in dettaglio nell'*Allegato 10*, possono essere sintetizzati come di seguito:

- Definizione, implementazione e validazione numerica di un modello di gestione dei flussi energetici di una smart grid
- Analisi delle performance del sistema di controllo ad inseguire richieste di carico temporaneamente indipendentemente dalla variabilità delle fonti energetiche rinnovabili.

#### **Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

I risultati conseguiti sono in linea con quelli attesi.

#### **Deliverables**

Report tecnico (*Allegato 10*) relativo all'attività svolta con evidenza su:

- il risparmio di energia primaria da fonte fossile conseguibile adottando diversi dimensionamenti della smart grid basata su fonti rinnovabili e non
- la riduzione degli scompensi fra domanda ed offerta energetiche legate all'intermittenza delle fonti rinnovabili

#### **Benefici per gli utenti finali**

Stabilità della fornitura e della rete: riduzione degli scompensi fra domanda ed offerta energetiche legate all'intermittenza delle fonti rinnovabili.

Stabilità della fornitura e della rete: riduzione degli scompensi legati all'intermittenza delle fonti rinnovabili al di sotto della soglia limite del 5%.

Risparmio di energia primaria da fonte fossile conseguibile adottando diversi dimensionamenti della smart grid basata su fonti rinnovabili e non. Risparmio di combustibile fossile e conseguente riduzione dell'anidride carbonica immessa in atmosfera.

---

**Diffusione dei risultati** (indicare anche le modalità di diffusione)

E' in preparazione un paper da sottoporre ad una rivista internazionale peer reviewed.

**Apparecchiature disponibili e acquisite**Disponibili:

- Micro Turbina a Gas Turbec T100
- Rigeneratore per turbina TURBEC T100
- Stazione Meteo
- Workstation Dell precision Tower 7910
- Workstation Dell precision M6700

Acquisite:

- Licenza software Ansys Academic Research (Licenze annuali; condiviso con WP 1.3.3)
- Stazione Meteo (rateo)
- Workstation (rateo e condiviso con WP 1.3.3)
- PC (rateo e condiviso con WP 1.3.3)
- Rigeneratore per turbina TURBEC T100 (rateo e condiviso con WP 1.3.3)

---

**Attività 2.1 Preparazione e caratterizzazione di catalizzatori strutturati nanoPt-Fecralloy**

---

**Obiettivi**

Preparazione e caratterizzazione di catalizzatori strutturati Pt-Fecralloy

**Risultati conseguiti**

I risultati, discussi in dettaglio nell'**Allegato 11 (sez. A)**, possono essere sintetizzati come di seguito:

- Preparazione di nuovi catalizzatori strutturati, costituiti da supporti porosi tri-dimensionali (Fecralloy) modificati con (nano)particelle di metalli nobili (Platino), e loro caratterizzazione morfologica, strutturale, chimico-fisica e funzionale in processi di interesse energetico (combustione catalitica del metanolo, ossidazione catalitica parziale).
- Preparazione di materiali catalitici consistenti di particelle di platino e film di ceria, supportati su leghe Fecralloy, e loro caratterizzazione morfologica e strutturale.
- Messa a punto di un metodo per la misura della velocità di processi di deposizione spontanea di metalli nobili, basato sulla spettroscopia d'impedenza elettrochimica (CNR IENI).

**Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

I risultati conseguiti sono in linea con quelli attesi.

---

## Deliverables

- Si sono prodotti catalizzatori strutturati Pt-Fecralloy adeguati all'uso in reattori per la combustione catalitica di metanolo e si sono messi a punto protocolli di preparazione tali da ottimizzarne le proprietà. Questi catalizzatori sono stati trasferiti ad IRC CNR Napoli per i test di attività catalitica descritti nella sezione 2.2.
- Si sono prodotti depositi binari di platino e ceria su substrati di Fecralloy, attraverso due sequenze: (a) iniziale modifica del Fecralloy con ceria, seguita da deposizione di Pt (con parziale riduzione/dissoluzione della ceria stessa); (b) deposizione catodica di ceria su Fecralloy preventivamente modificato con particelle di platino.
- Si è messo a punto un metodo per il monitoraggio della velocità di deposizione spontanea di metalli nobili su substrati non-nobili, basato sulla spettroscopia d'impedenza elettrochimica.

## Benefici per gli utenti finali

Nella filiera di ricerca costituita da IENI CNR Padova e IRC CNR Napoli il contributo del gruppo padovano consiste nella preparazione di materiali innovativi con adeguate proprietà e quello dell'IRC CNR Napoli nella loro integrazione nei dispositivi. Dunque, il contributo dello IENI Padova si colloca naturalmente più lontano dagli utenti finali. Il benefico prodotto sta nella possibilità di avvalersi di sistemi attivi e stabili nella costruzione di dispositivi per co-generazione di calore ed elettricità.

## Diffusione dei risultati

I risultati conseguiti hanno dato luogo a n. 4 pubblicazioni su riviste internazionali e n.7 partecipazioni a congressi internazionali in cooperazione con IRC-CNR (WP 2.2):

- E. Verlato, S. Barison, S. Cimino, F. Dergal, G. Mancino, L. Lisi, M. Musiani, L. Vazquez-Gomez, "Catalytic partial oxidation of methane over nanosized Rh catalyst supported on Fecralloy foams", *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (2014) 11473–11485. (IENI + IRC)
- E. Verlato, S. Cattarin, N. Comisso, L. Mattarozzi, M. Musiani, L. Vázquez-Gómez, "EIS study of the preparation of electrocatalysts through galvanic displacement reactions", *Journal of Electroanalytical Chemistry* 737 (2015) 100–107. (IENI)
- M. Musiani, S. Cattarin, S. Cimino, N. Comisso, L. Mattarozzi, L. Vázquez-Gómez, E. Verlato, "Preparation of 3D Electrocatalysts and Catalysts for Gas-Phase Reactions, through Electrochemical and Galvanic Displacement Deposition Methods", *Journal of Applied Electrochemistry* 45 (2015) 715–725. (IENI + IRC)
- S. Cimino, A. Gambirasi, L. Lisi, G. Mancino, M. Musiani, L. Vázquez-Gómez, E. Verlato, "Catalytic combustion of methanol on Pt-Fecralloy foams prepared by electrodeposition", *Chemical Engineering Journal* 285 (2016) 276-285. (IENI + IRC)

Inoltre, sono state presentate le seguenti comunicazioni a congresso:

- 
- S. Cimino, G. Mancino, L. Vázquez-Gómez, E. Verlato. "Pd-Fecralloy Foam Catalysts for the Oxidation of CO and CH<sub>4</sub>". Joint Meeting of the French and Italian Sections of the IFRF and the Combustion Institute. Pisa, 23-24 aprile 2014. (IENI + IRC)
  - E. Verlato, S. Cattarin, N. Comisso, L. Mattarozzi, L. Vázquez-Gómez, M. Musiani. "EIS study of a galvanic exchange reaction used for the preparation of electrocatalysts", 65th Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE), Lausanne, Switzerland, 31 August – 5 September, 2014, Symposium 9. (IENI)
  - E. Verlato, S. Cattarin, N. Comisso, L. Mattarozzi, M. Musiani, L. Vázquez-Gómez. "An EIS study on the preparation of electrocatalysts through galvanic displacement reactions", XXV Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana, Arcavacata di Rende, 7-12 settembre 2014, Abstract ELE-O4. (IENI)
  - M. Musiani, S. Cattarin, S. Cimino, N. Comisso, L. Mattarozzi, L. Vázquez-Gómez, E. Verlato. "Preparation of 3D Electrocatalysts and Catalysts for Gas-Phase Reactions, through Electrochemical and Galvanic Exchange Deposition Methods", 10th European Symposium on Electrochemical Engineering, Chia (Cagliari), 28 sett. – 2 ott. 2014. (IENI + IRC)

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### Disponibili:

- Potenziostati Autolab, mod. PGSTAT 302N, di cui uno dotato di Modulo FRA per misure d'impedenza elettrochimica;
- Elettrodo rotante PAR Mod. 616;
- Solartron Electrochemical Interface EI 1286 e Solartron Frequency Response Analyzer FRA 1254, per misure d'impedenza;
- Potenziostati e generatori di funzione AMEL;
- Cromatografo ionico Metrohm mod. 850 Professional IC;
- Spettrometro Thermo Elemental - X7 Quadrupole ICP-MS;
- Spettrofotometro UV-visibile Perkin-Elmer;
- Microscopio elettronico FEG-ESEM FEI Quanta 200 F
- Diffrattometro a raggi X Philips X-PERT PW3710

#### Acquisite:

Nessuna



---

## Attività 2.2 Caratterizzazione funzionale di nuovi sistemi catalitici per processi di ossidazione catalitica

---

### Obiettivi

- Realizzazione e messa a punto di un impianto sperimentale in scala da laboratorio per test di combustione catalitica di metanolo (sezione 2.2.a)
- Caratterizzazione funzionale di schiume di Fecralloy modificate con platino (sezione 2.2.b).
- Sintesi e caratterizzazione chimico-fisica e funzionale di catalizzatori per combustione del metanolo ad alta resistenza termica a base di esaalluminati di La e Mn (sezione 2.2.c).
- Selezione generatori termoelettrici per integrazione con bruciatore catalitico (sezione 2.2.d)

### Risultati conseguiti

I risultati, discussi in dettaglio nell'*Allegato 11 (sez.B)*, possono essere sintetizzati come di seguito:

- Raccolta dei dati sperimentali di attività catalitica nella combustione del metanolo necessari alla ottimizzazione della procedura di preparazione e della formulazione dei catalizzatori in termini di attività specifica (per grammo di fase attiva Pt; per cm<sup>3</sup> di volume del reattore) e di stabilità/durabilità in condizioni di processo.
- Preparazione e caratterizzazione chimico-fisica e funzionale di nuovi catalizzatori ad alta stabilità termica (fino a 1300 °C) a base di esaalluminati sostituiti con La e Mn per la combustione di metanolo di alta temperatura
- Selezione ed acquisizione sul mercato di elementi termoelettrici di bassa e di alta temperatura per l'accoppiamento con bruciatore catalitico alimentato a metanolo e la realizzazione di un sistema integrato prototipale di piccola scala ad alta efficienza energetica.

### Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Nel complesso non si segnalano scostamenti rilevanti rispetto ai risultati attesi.

### Deliverables

- Impianto su scala di laboratorio labscale per test combustione catalitica di metanolo in condizioni di miscela povera esercibile in un ampio intervallo di condizioni operative completo di sistema analisi gas ed acquisizione dati in continuo.
- Selezione formulazione catalitica ottimale per applicazioni di bassa temperatura attraverso screening di schiume nanoPt/Fecralloy preparati da IENI.
- Sviluppo e caratterizzazione funzionale di catalizzatori di combustione del metanolo a base di esaalluminati ad alta resistenza termica
- Acquisizione generatori termoelettrici commerciali di alta e bassa temperatura e progettazione preliminare per integrazione con Combustore catalitico con elemento strutturato.

- 
- Report Tecnico e Diffusione dei risultati attraverso pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali e partecipazione a congressi nazionali ed internazionali

### **Benefici per gli utenti finali**

La ricerca condotta ha consentito un significativo avanzamento nello sviluppo di nuove tecniche di preparazione per via elettrochimica di catalizzatori su substrati metallici strutturati che aprono vantaggiosi scenari per l'efficientamento di numerose tecnologie e/o processi industriali che fanno uso di sistemi catalitici eterogenei in ambito energetico per il contenimento delle emissioni da processi di combustione, la trasformazione/upgrade di (bio)combustibili, il riutilizzo della CO<sub>2</sub> quale reagente chimico.

Nel campo specifico della combustione catalitica di metanolo sono state acquisiti conoscenze e materiali necessari alla progettazione e realizzazione di un dispositivo di co-generazione che, grazie alle nuove metodiche di preparazione dei catalizzatori strutturati, potrà essere prodotto a costi contenuti e dunque trovare applicazione da parte di un considerevole numero di utenti finali.

### **Diffusione dei risultati**

I risultati conseguiti hanno dato luogo a n. 4 pubblicazioni su riviste internazionali e n.7 partecipazioni a congressi internazionali in cooperazione con IENI-CNR (WP 2.1):

- E. Verlato, S. Barison, S. Cimino, F. Dergal, G. Mancino, L. Lisi, M. Musiani, L. Vazquez-Gomez, "Catalytic partial oxidation of methane over nanosized Rh catalyst supported on Fecralloy foams", *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (2014) 11473–11485. (IENI + IRC)
- E. Verlato, S. Cattarin, N. Comisso, L. Mattarozzi, M. Musiani, L. Vázquez-Gómez, "EIS study of the preparation of electrocatalysts through galvanic displacement reactions", *Journal of Electroanalytical Chemistry* 737 (2015) 100–107. (IENI)
- M. Musiani, S. Cattarin, S. Cimino, N. Comisso, L. Mattarozzi, L. Vázquez-Gómez, E. Verlato, "Preparation of 3D Electrocatalysts and Catalysts for Gas-Phase Reactions, through Electrochemical and Galvanic Displacement Deposition Methods", *Journal of Applied Electrochemistry* 45 (2015) 715–725. (IENI + IRC)
- S. Cimino, A. Gambirasi, L. Lisi, G. Mancino, M. Musiani, L. Vázquez-Gómez, E. Verlato, "Catalytic combustion of methanol on Pt-Fecralloy foams prepared by electrodeposition", *Chemical Engineering Journal* 285 (2016) 276-285. (IENI + IRC)

Inoltre, sono state presentate le seguenti comunicazioni a congresso:

- S. Cimino, G. Mancino, L. Vázquez-Gómez, E. Verlato. "Pd-Fecralloy Foam Catalysts for the Oxidation of CO and CH<sub>4</sub>". Joint Meeting of the French and Italian Sections of the IFRF and the Combustion Institute. Pisa, 23-24 aprile 2014. (IENI + IRC)
- E. Verlato, S. Cattarin, N. Comisso, L. Mattarozzi, L. Vázquez-Gómez, M. Musiani. "EIS study of a galvanic exchange reaction used for the preparation of electrocatalysts", 65th Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE), Lausanne, Switzerland, 31 August – 5 September, 2014, Symposium 9. (IENI)

- 
- E. Verlato, S. Cattarin, N. Comisso, L. Mattarozzi, M. Musiani, L. Vázquez-Gómez. “An EIS study on the preparation of electrocatalysts through galvanic displacement reactions”, XXV Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana, Arcavacata di Rende, 7-12 settembre 2014, Abstract ELE-O4. (IENI)
  - M. Musiani, S. Cattarin, S. Cimino, N. Comisso, L. Mattarozzi, L. Vázquez-Gómez, E. Verlato. “Preparation of 3D Electrocatalysts and Catalysts for Gas-Phase Reactions, through Electrochemical and Galvanic Exchange Deposition Methods”, 10th European Symposium on Electrochemical Engineering, Chia (Cagliari), 28 sett. – 2 ott. 2014. (IENI + IRC)

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### Disponibili:

- Laboratorio per la preparazione e caratterizzazione di catalizzatori eterogenei strutturati: BET, ICP-MS, XRD, FT-IR DRIFT, TG/IR, SEM-EDAX, TPD/TPO/TPR; CO/H<sub>2</sub> chemisorption.
- Impianto da laboratorio per test di combustione di metanolo con catalizzatori eterogenei in condizioni pseudo isoterma (nell'intervallo 30 – 1000°C) a pressione atmosferica compreso di sistemi di alimentazione attraverso controllori di massa dedicati e di analisi on-line real time con analizzatori portatili multicomponente per specie gassose (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, O<sub>2</sub>, NO)

#### Acquisite:

Nessuna