



Consiglio Nazionale delle Ricerche

IV Accordo di Programma MSE/CNR

CONSUNTIVO PAR 2016-2017 **“D.4: Impianti di conversione di piccola taglia”**

Relazione tecnica

A cura del referente scientifico Patrizio Massoli

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

1 gennaio 2018
31 dicembre 2018

Premessa

Il Progetto Micro Cogenerazione Flessibile ha inteso affrontare gli aspetti specifici della cogenerazione, sulla scala tipica delle applicazioni residenziali, basata sull'utilizzo di combustibili rinnovabili. A questo scopo è focalizzato sullo sviluppo di soluzioni innovative per l'utilizzo ottimale di biomasse e biocombustibili in impianti di conversione di energia di piccola taglia, così come del cascame termico disponibile.

Le attività hanno riguardato lo sviluppo di sistemi basati su motori a combustione esterna (motore Stirling) ed interna (motore alternativo innovativo a rapporto di compressione variabile) ed impianti basati su cicli ORC. Sono state inoltre studiate concezioni innovative di cogenerazione, basate sull'utilizzo combinato di combustione ed irraggiamento solare.

Uno degli aspetti più critici nella generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili è la necessità di disporre di un sistema in grado di rispondere e di adeguarsi flessibilmente ai flussi energetici richiesti. I due motori primi, rispettivamente a combustione esterna ed interna, servono a realizzare un sistema di produzione di energia elettrica 100% basato su bioenergia in grado di soddisfare le richieste energetiche in termini di potenza media e di picco. Il motore Stirling, grazie alla configurazione con combustore esterno, risulta ottimale per lo sfruttamento energetico di biomasse/biocombustibili di diversa natura. Ma proprio per la sua intrinseca configurazione (combustore esterno, scambiatore, generatore), le costanti di tempo caratteristiche della conversione energetica complessiva sono difficilmente compatibili con le tempistiche tipiche della richiesta energetica dell'utenza. Per tale motivo, in parallelo allo Stirling, si è sviluppato un prototipo di motore a c.i. non convenzionale. Tale unità è stata realizzata adottando soluzioni innovative (pistoncini opposti con correnti unidirezionali ed un'unica camera di combustione) in grado di consentire un rapido adeguamento del carico elettrico. Tale schema, oltre a mirare alla decisiva riduzione degli ingombri complessivi e al quasi totale annullamento delle vibrazioni (aspetti decisivi per applicazioni residenziali), consente la rapida variazione del rapporto di compressione e della durata della fase di scarico. Il controllo di questi due fattori permette di contenere il fenomeno della detonazione al variare della composizione del gas combustibile aspirato (aspetto di fondamentale importanza nel caso di alimentazione con biogas o syngas) con benefici su rendimento globale ed emissioni.

Nell'ottica di uno sfruttamento quanto più razionale possibile della risorsa energetica da biomassa, sono stati, inoltre, effettuati confronti fra l'utilizzo di motori Stirling ed impianti basati su cicli ORC, nonché l'integrazione degli stessi in diverse configurazioni. L'attività è stata focalizzata su taglie e dimensioni adatte ad un utilizzo in ambito residenziale. Nel Par 2015 è stato identificato ed acquisito un micro cogeneratore basato su motore Stirling. Il sistema è stato modificato così da consentire il pieno controllo del combustore da un punto di vista meccanico e in termini di gestione dei parametri mediante plc. Il sistema è stato messo al banco e sono state condotte le prime campagne di misura sperimentali. Nel PAR 2016-2017, è stata completata la caratterizzazione funzionale e la valutazione delle prestazioni energetiche ed ambientali del sistema. Sono stati, inoltre, modellati e simulati impianti basati su motore Stirling e su micro-ORC e progettati diversi layout di impianti integrati Stirling/ORC di piccola taglia per per utenza domestica.

Per quanto riguarda i cicli ORC, nel Par 2015 è stata proposta e progettata un'infrastruttura di un modello CFD 3D dell'intera macchina ORC (denominato Whole ORC Model – WOM) e sono stati messi a punto i passaggi fondamentali per la sua implementazione. Nel PAR 2016-2017 il modello WOM è stato ulteriormente sviluppato ed è stata realizzata l'implementazione completa del modello. Infine, sono state analizzate le prospettive e le limitazioni nell'utilizzo del banco prova virtuale WOM sviluppato per l'analisi di cicli energetici ORC innovativi quali ad esempio gli Organic Flashing Cycles (OFC) e i Trilateral Organic Cycle (TOC).

La realizzazione di impianti di cogenerazione basati su motore Stirling (motore a combustione esterna) efficienti e flessibili, in grado cioè di ottimizzare l'uso di syngas e biomasse di varia tipologia e qualità, richiede lo sviluppo di combustori specificamente progettati. Nel PAR2016-2017, le attività relative al sistema di cogenerazione basato su motore Stirling sono state, pertanto, completate con lo studio di spray di biolsurry, per una conversione diretta del contenuto energetico di biomasse, accoppiato allo sviluppo di un bruciatore ciclonico funzionante in modalità MILD. Le potenzialità di tale bruciatore è stata ampliata estendendone il campo di applicazione a syngas di composizione varia e valutando la possibilità di utilizzare biocombustibili liquidi.

Come sopra già accennato, la necessità di sviluppare un sistema di cogenerazione in grado di rispondere e di adeguarsi flessibilmente ai flussi energetici dell'utenza, richiede, in parallelo al motore Stirling, un'unità a rapido adeguamento del carico elettrico che, nel presente progetto, è realizzata mediante un motore a combustione interna innovativo. La peculiare caratteristica del motore proposto è la capacità di adeguare velocemente il carico e, in particolare, di essere in grado di utilizzare efficientemente biogas/syngas di composizione variabile. Le attività del PAR 2015 hanno riguardato la realizzazione del progetto di massima dei componenti e dell'impianto completo. Ciò ha richiesto anche lo studio e definizione delle condizioni operative di utilizzo e delle caratteristiche tecniche del sistema. L'attività è stata completata nel PAR 2016-2017 con la realizzazione esecutiva e test dell'unità. Naturalmente, la reale efficienza di un sistema energetico, ed in particolare la durabilità dello stesso, si basa sull'ottimizzazione dell'intera filiera. Allo scopo, le attività sono completate nel PAR 2016-2017 con lo studio di strategie combinate in processi di gassificazione di biomasse a letto fluido per la produzione di un syngas ottimizzato per l'utilizzo in motori a c.i. e lo sviluppo di sistemi di cleaning per l'abbattimento di CO₂ e H₂S.

Nell'ambito dei sistemi di micro-cogenerazione che utilizzano energie rinnovabili è stato, inoltre, condotto uno studio per la realizzazione di un innovativo sistema ibrido combustione/solare. Tale sistema utilizza la radiazione solare concentrata per aumentare l'entalpia del sistema, mantenendo i livelli di emissione di inquinanti al di sotto dei limiti di legge. Nel Par 2015 sono state condotte le attività per individuare le condizioni operative ottimali del combustore ibrido. I risultati conseguiti hanno consentito lo sviluppo nel PAR 2016-2017 di un modulo del sistema ibrido.

Le attività della Linea Progettuale "MICRO COGENERAZIONE FLESSIBILE" si svolgono nell'intero triennio 2015-2017. Il 2015 è stato, essenzialmente, l'anno di inizio attività. Nel PAR 2016-2017, sono state concluse le attività iniziate nel 2015 nell'ambito della stessa linea progettuale ma, anche, ampliate alcune di esse, sulla base dei risultati conseguiti nella Linea Progettuale "Bioenergia Flessibile ed Efficiente" anch'essa del PAR 2015.

Quadro generale di riferimento programmatico del progetto

Il conseguimento degli obiettivi di Horizon 2020, di una produzione in Europa di energia sicura, pulita ed efficiente, richiede che ciascun Paese, sulla base delle proprie peculiarità e le specifiche condizioni economiche e strutturali, attivi gli appropriati strumenti politici e tecnologici. 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).

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. La generazione distribuita di energia elettrica su base rinnovabile è, tra l'altro, uno degli assi portanti della politica energetica dell'UE. In tale quadro, è di particolare interesse lo sviluppo di tecnologie che ottimizzino l'uso di bioenergia in sistemi di conversione di piccola taglia che, in sintesi, rappresenta l'obiettivo del Progetto. Ciò allinea le attività qui proposte alle tematiche e agli scenari individuati dall'Unione Europea che prevedono un incremento significativo dell'utilizzo di energia rinnovabile in connessione a sistemi H&C e CHP ("Reference Scenario 2016, Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050, Main results" Commissione Europea, 2016).

Obiettivo generale del Progetto

Lo sviluppo di tecnologie che ottimizzino l'uso di bioenergia in sistemi di conversione di piccola taglia è l'obiettivo del Progetto. In particolare, sono stati oggetto di studio e di sviluppo motori a combustione esterna (motore Stirling), interna (motore alternativo innovativo a rapporto di compressione variabile) ed impianti basati su cicli ORC. Sono state inoltre valutate concezioni innovative di cogenerazione basate sull'utilizzo combinato di combustione ed irraggiamento solare.

Elenco dei Partecipanti al Progetto

| | |
|---|---------------------------------------|
| Istituto Motori – CNR | WP1 - Task1 e 3 WP2 - Task1 e 3 |
| Istituto Ricerche sulla Combustione – CNR | WP1 – Task4 WP2 - Task2 e 3 WP3 |
| Università di Bologna - CIRSA | WP1 – Task3 |
| Università di Ferrara – Dipartimento di Ingegneria (DE – UniFe) | WP1 - Task2 |
| Università di Napoli Federico II – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMAPI – UniNa) | WP1 – Task4 WP2 - Task2 WP3 |
| Università di Napoli Federico II – Dipartimento Scienze Chimiche (DSC- UniNa) | WP2 – Task3 |

Partecipazione a progetti su tematiche affini

Nessuna, come di seguito dettagliata

| D.4 Impianti di conversione di energia di piccola taglia | Linea Progettuale 1: Micro Cogenerazione Flessibile | Descrizione del finanziamento | Dettaglio delle attività |
|---|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| D.4 Impianti di conversione di energia di piccola taglia | WP 1 Microcogenerazione efficiente di energia basata sull'integrazione di motori Stirling e ORC (IM-CNR, DE- UniFe, IRC-CNR) | Nessuno | N.A. |
| D.4 Impianti di conversione di energia di piccola taglia | WP 2 Sistema di Microcogeneratore da 3 kW elettrici innovativo (IM-CNR, IRC-CNR, DSC- UniNa) | Nessuno | N.A. |
| D.4 Impianti di conversione di energia di piccola taglia | WP 3 Sviluppo e prova di un sistema combinato combustione / irraggiamento solare per la produzione di energia elettrica e termica da sistemi di mini e micro-cogenerazione (IRC-CNR, DICMAPI- UniNa) | Nessuno | N.A. |

Benefici per gli utenti finali

Il Progetto affronta gli aspetti specifici della cogenerazione, sulla scala tipica delle applicazioni residenziali, basata sull'utilizzo di combustibili rinnovabili. A questo scopo è focalizzato sullo sviluppo di soluzioni innovative per l'utilizzo ottimale di biomasse e biocombustibili in impianti di conversione di energia di piccola taglia, così come del cascame termico disponibile.

Le ricadute del progetto sono riconducibili ai benefici che derivano dallo sviluppo di sistemi di conversione più efficienti e, pertanto, che richiedono meno combustibile a parità di energia prodotta. Questo implica una riduzione dei costi di produzione dell'energia elettrica con immediato riscontro in bolletta elettrica. Inoltre, il minor consumo di combustibile è riconducibile ad un minor impatto ambientale, con benefici per gli utenti in termini di salute pubblica ed ambientali.

La taglia scelta per il sistema energetico è relativo alla mini/micro generazione. In particolare, alcune attività sono rivolte allo sviluppo di sistemi da 3-6kWe, la taglia tipica per applicazioni mono/bi-familiari. Questo per rispondere alle necessità di una produzione di energia integrata ma sostanzialmente delocalizzata, dove i siti di produzione ed utilizzo corrispondono quasi puntualmente. Tale azione riduce la richiesta di ampliamento delle linee elettriche preesistenti o la realizzazione di nuove con benefici economici per l'utente finale in termini di costo della bolletta elettrica nella componente relativa alla distribuzione.

Inoltre, è da sottolineare il beneficio indiretto, in termini di occupazione, che deriva dallo sviluppo di tecnologie innovative o migliorative di quelle attuali. La taglia dei sistemi è quella tipica di potenziale interesse per le PMI che segnano significativamente il tessuto industriale del nostro Paese. Sebbene non di diretto interesse degli utenti del sistema elettrico come tali, questa ricaduta riguarda lo sviluppo economico dell'intero Paese e, pertanto, degli utenti finali del sistema elettrico come aziende e come cittadini.

Costi

Costo totale del progetto € 2.000.000

Il dettaglio dei costi è riportato nelle tabelle di rendicontazione.

WP 1: MICROCOGENERAZIONE EFFICIENTE DI ENERGIA BASATA SULLA INTEGRAZIONE DI MOTORI STIRLING E ORC

Elenco dei Partecipanti alle attività

| Unità di Ricerca | Task |
|---|------|
| CNR - Istituto Motori | 1, 3 |
| Università di Ferrara – Dipartimento di Ingegneria (DE – UniFe) | 2 |
| Università di Bologna - CIRSA | 3 |
| CNR - Istituto Ricerche sulla Combustione | 4 |
| Università di Napoli Federico II – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMAPI – UniNa) | 4 |

Obiettivi della linea

L'obiettivo complessivo del WP è lo sviluppo di sistemi di cogenerazione di piccola taglia. Nell'ottica di uno sfruttamento quanto più razionale possibile della risorsa energetica da biomassa, sono stati effettuati confronti fra l'utilizzo di motori Stirling e quello di impianti basati su cicli ORC (Organic Rankine Cycle), nonché la possibilità di integrare gli stessi in diverse configurazioni, sia in serie che in parallelo. L'attività si è focalizzata su taglie e dimensioni adatte ad un utilizzo in ambito domestico/condominiale.

La realizzazione di impianti di cogenerazione a combustione esterna (motore Stirling) efficienti e flessibili, in grado cioè di ottimizzare l'uso di syngas e biomasse di varia tipologia e qualità, richiede lo sviluppo di combustori specificamente progettati. Le attività relative al sistema di cogenerazione basato su motore Stirling hanno incluso, pertanto, lo studio di un bruciatore ciclonico funzionante in modalità MILD. Tale bruciatore consente di realizzare emissioni di ossidi di azoto inferiori a 10 ppm con un elevatissimo grado di conversione e sostanziale assenza di particolati submicronici grazie all'assenza delle zone di reazione ad altissima temperatura tipiche dei sistemi tradizionali. Le potenzialità di tale bruciatore per la combustione di syngas prodotti dalla gassificazione di biomasse è già stata verificata per una composizione tipica. Nell'ambito di questo AdP si è esteso il campo a biocombustibili liquidi e si è valutato l'utilizzo di bioslurry. Per quanto riguarda i bioslurry, sono state sviluppate delle configurazioni impiantistiche/tecnologiche per la loro atomizzazione e studiate le caratteristiche di atomizzazione al variare dei parametri operativi.

In riferimento ai vari Task, gli obiettivi del PAR 2016-17 sono:

- Realizzazione impianto cogenerativo in contesti domestici/condominiali basato su motore Stirling
- Modello completo 3D del ciclo ORC e implementazione della logica WOM
- Studio dell'atomizzazione di bioslurry al variare delle proprietà dello slurry e dei parametri operativi di atomizzazione
- Upscale e ottimizzazione di un reattore MILD per biomasse.

Il WP 1 è organizzato nelle seguenti attività:

Task 1.1 – Microgenerazione cogenerativa/trigenerativa basata su motore Stirling

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR - IM

Task 1.2 – Sfruttamento dell’energia termica proveniente dalla combustione di biomasse con cicli ORC di piccola taglia

Unità di ricerca coinvolte:

- DE - UNIFE

Task 1.3 – Spray di Bioslurry

Unità di ricerca coinvolte:

- IM – IRC
- CIRSA - UNIBO

Task 1.4 – Cyclonic Burner

Unità di ricerca coinvolte:

- CNR – IRC

Nel seguito è riportata la sintesi delle attività svolte. I report di dettaglio dei Task sono riportati in specifici Allegati come indicato in tabella:

| | | |
|---------------|----------|--------------|
| CNR - IM | Task 1.1 | Allegato 1 |
| DE - UNIFE | Task 1.2 | Allegato 2 |
| CNR - IM | Task 1.3 | Allegato 3.1 |
| CIRSA - UNIBO | Task 1.3 | Allegato 3.2 |
| CNR - IRC | Task 1.4 | Allegato 4 |

Task 1.1 Microgenerazione cogenerativa/trigenerativa basata su motore Stirling

Unità di ricerca coinvolte:

CNR – IM

1.1.1 Stato dell'arte

Sull'impulso delle legislazioni di vari Paesi, sempre più attente ad incentivare l'utilizzo efficiente di fonti energetiche rinnovabili, della finalizzazione di studi condotti negli ultimi decenni, e dello sviluppo di nuove tecnologie, come ad esempio il solare concentrato, le attività di ricerca e sviluppo sui motori Stirling hanno recentemente registrato una notevole ripresa.

Il rinnovato interesse è principalmente rivolto allo sviluppo commerciale di unità domestiche per la micro-cogenerazione e la cogenerazione su piccola scala. Esempi sono i sistemi sviluppati da Microgen [1] e ITS-Energy [2]. Microgen produce un prodotto alimentato a gas naturale e in grado di soddisfare i fabbisogni di acqua calda e di riscaldamento di un nucleo familiare mentre produce elettricità (1 kW). ITS-Energy commercializza due prodotti da 1,15 kW_{el} e 7,5 kW_{el}, per la realizzazione di unità di produzione di energia elettrica e termica, in abbinamento a stufe o caldaie (preferibilmente a pellet o legna) ma, anche, a soluzioni innovative basate su sistemi con concentratore solare ad inseguimento integrati col motore Stirling.

Come già accennato, infatti, il risveglio dell'interesse sui motori Stirling è anche dovuto ai progressi nella tecnologia del solare concentrato, che ha consentito lo sviluppo di sistemi piccoli, modulari e affidabili. Ad esempio, nel progetto EU DiGeSPo [3], l'obiettivo consisteva nello sviluppo di un sistema di cogenerazione 1-3 kW_e, 3-9 kW_{th} basato su tecnologia a energia solare concentrata e motore Stirling.

I motori Stirling non richiamano interesse solo in relazione a sistemi energetici residenziali/fissi. La Mahle Power Train [4] e Ripasso Energy [5], aziende che operano rispettivamente nel campo dell'industria automobilistica e dei sistemi per la fornitura di elettricità nei sottomarini nucleari, hanno sviluppato prototipi di motore da 25kW e 30kW.

Più recentemente, le politiche orientate verso l'efficienza e l'aumento delle energie rinnovabili su scala globale hanno fornito nuovi stimoli per l'applicazione di motori Stirling. Le aree di maggior sviluppo riguardano affidabilità, riduzione dei costi di produzione e ibridazione con altre fonti di energia [6]. Questo ultimo aspetto apre ad applicazioni che non sono state completamente sviluppate e, per le quali, i motori Stirling offrono il vantaggio di utilizzare una combustione esterna controllata senza produrre effetti dannosi sul motore. Esempi di queste applicazioni includono motori che sfruttano l'energia dei gas di scarica, di biodigestori, di sintesi, ecc., come anche di biocombustibili liquidi di seconda e terza generazione. In questo contesto, la tecnologia Stirling si propone con un interessante potenziale scientifico, sviluppo tecnologico e sfruttamento industriale.

[1] <http://www.microgen-engine.com/>

[2] <https://www.its-energy.net/it>

[3] <https://ares.fbk.eu/projects/digespo>

[4] <https://www.mahle-powertrain.com/en/company/company-history/>

[5] <http://www.ripassoenergy.com/>

[6] I. Mesonero et al., "In search of the Stirling engine of the twenty-first century", Dyna (Bilbao), 88(2):143-147, 2013.

1.1.2 Obiettivi

L'obiettivo complessivo consiste nell'individuazione di una soluzione basata su motore Stirling per lo sfruttamento energetico razionale ed efficiente di biomasse per la produzione di energia elettrica, eventualmente in ambito co e trigenerativo, in contesti domestici/condominiali. Nel PAR 2015, l'obiettivo è consistito nella realizzazione dello studio di fattibilità e progettazione dell'impianto. Obiettivo del PAR 2016-2017 è l'allestimento e caratterizzazione sperimentale del micro-cogeneratore Stirling e la modellazione numerica dell'impianto.

1.1.3 Risultati conseguiti

I risultati conseguiti

- Allestimento dell'impianto sperimentale per lo studio del funzionamento di un sistema di micro-cogenerazione basato su motore Stirling
- Caratterizzazione dell'impianto e dei componenti
- Modellazione e simulazione dell'impianto basato su motore Stirling
- Modellazione e simulazione di un motore Stirling per utenza domestica
- Modellazione e simulazione di un impianto basato su micro-ORC
- Studio di un sistema integrato di piccola taglia per la conversione di energia basato su motore Stirling e impianto ORC

1.1.4 Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Non sussistono scostamenti significativi rispetto alle previsioni.

1.1.5 Deliverables

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------|------------------------------------|---|
| IM-CNR | Report delle attività (Allegato 1) | Impianto di micro-cogenerazione basato su motore Stirling Layout di impianti ibridi di micro-cogenerazione basati sull'integrazione di motori Stirling ed impianti ORC |

1.1.6 Apparecchiature disponibili e acquisite

Apparecchiature disponibili

- Micro cogeneratore con motore Stirling
- Analizzatori di gas combusti
- Analizzatori particolato carbonioso nanometrico
- Workstation per simulazioni numeriche

- Sala prova attrezzata

Apparecchiature acquisite

- Nessuna
-

Task 1.2 Sfruttamento dell'energia termica proveniente dalla combustione di biomasse con cicli ORC di piccola taglia

Unità di ricerca coinvolte:

Università di Ferrara - Dipartimento di Ingegneria (DE-UniFe)

1.2.1. Obiettivo dell'attività

Nella precedente annualità è stata affrontata una tematica riguardante lo sfruttamento dell'energia termica proveniente dalla combustione di biomasse attraverso l'utilizzo di cicli Rankine a fluido organico, ORC (Organic Rankine Cycle). Per studiare questi sistemi, è stata proposta e progettata un'infrastruttura di un modello CFD 3D dell'intera macchina ORC (denominato Whole ORC Model – WOM) e sono stati messi a punto i passaggi fondamentali per la sua implementazione.

Nella presente annualità, il modello WOM è stato ulteriormente sviluppato e sono stati effettuati i passaggi necessari per arrivare alla implementazione completa del modello. In particolare, verranno prima sviluppati sottomodelli parziali attraverso l'accoppiamento di due o più componenti e successivamente verrà implementato il modello WOM completo.

Infine, verranno analizzate le prospettive e le limitazioni nell'utilizzo del banco prova virtuale WOM sviluppato per l'analisi di cicli energetici ORC innovativi quali ad esempio gli Organic Flashing Cycles (OFC) e i Trilateral Organic Cycle (TOC)

1.2.2. Risultati conseguiti

L'attività svolta ha condotto ai seguenti risultati:

- Messa a punto di accoppiamenti parziali (modelli accoppiati parziali) tra componenti dei principali componenti di cicli ORC (espansore, pompa, condensatore, evaporatore, piping, ...) e analisi con condizioni al contorno provenienti da impianti reali o da cicli simulati con programmi a parametri concentrati;
- Sviluppo del modello completo 3D del ciclo ORC e implementazione della logica WOM

1.2.3. Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Non sussistono scostamenti rispetto alle previsioni.

1.2.4. Deliverables

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------|---|--|
| DE-UniFe | Report tecnico contenente l'illustrazione delle attività e i risultati attesi da queste ultime (Allegato 2) | Progetto di un'infrastruttura di un modello WOM (Whole ORC Model) CFD 3D dell'intera macchina ORC |

1.2.5. Apparecchiature disponibili e acquisite

Apparecchiature disponibili

- cluster di calcolo
 - a. 48 core Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2667 0 @ 2.90GHz
 - b. 16 core Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v4 @ 2.10GHz
- software di calcolo STAR CCM+
- software di calcolo OpenFoam
- licenza annuale del software STAR CCM+;
- estensione ed adeguamento del cluster per simulazioni in transitorio

Apparecchiature acquisite

- Nessuna
-

Task 1.3 Spray di Bioslurry

Unità di ricerca coinvolte:

IM – CNR

C.I.R.S.A. – Università di Bologna

1.3.1. Obiettivo dell'attività

Nel PAR 2015, nell'ambito del WP3 "Bioslurry per la generazione elettrica" della Linea Progettuale "BIOENERGIA FLESSIBILE ED EFFICIENTE", sono state studiate/ottimizzate le procedure per la formulazione di bioslurry per l'utilizzo in spray industriali. Nel presente PAR 2016-2017 sono state sviluppate le configurazioni impiantistiche/tecnologiche per l'atomizzazione di bioslurry e studiate le caratteristiche di atomizzazione di tali fluidi al variare dei parametri (IM-CNR). Allo scopo è stato utilizzato biochar prodotto e caratterizzato da CIRSA-UNIBO.

1.3.2. Risultati conseguiti

I risultati più significativi ottenuti possono essere riassunti come segue:

- Produzione e caratterizzazione del biochar utilizzato nella preparazione del bioslurry (C.I.R.S.A. – UniBo)
- Definizione e caratterizzazione iniettore (IM-CNR)
- Caratteristiche di atomizzazione di bioslurry (IM-CNR)

1.3.3. Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Non sussistono scostamenti rispetto alle previsioni.

1.3.4. Deliverables

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------|---|--|
| IM-CNR | Report tecnico sulle attività svolte (Allegato 3.1) | <ul style="list-style-type: none"> • Definizione e caratterizzazione di iniettore adatto all'utilizzo di bioslurry in sistemi di piccola scala • Caratterizzazione di spray di bioslurry |
| CIRSA-UNIBO | Report tecnico sulle attività svolte (Allegato 3.2) | <ul style="list-style-type: none"> • Produzione di biochar sufficiente per la realizzazione dei test su spray di bioslurry • Caratterizzazione del biochar prodotto |

1.3.5. Apparecchiature disponibili e acquisite

Apparecchiature disponibili

- Pirolizzatore (CIRSA-UNIBO)
- GC-MS (CIRSA-UNIBO)

- analizzatore HCNS (CIRSA-UNIBO)
- analizzatore TOC (CIRSA-UNIBO)
- spettrofluorimetro (CIRSA-UNIBO)
- DLS (CIRSA-UNIBO)
- TGA (CIRSA-UNIBO)
- Laser Nd-YAG pulsato
- CCD high resolution
- Mulino a palle
- Particle Size Analyzers Mastersizer 2000
- Setacciatore
- Banco prova spray

Apparecchiature acquisite

- Nessuna
-

Task 1.4 Cyclonic Burner

Unità di ricerca coinvolte:

CNR – IRC

DICMAPI - UNINA

1.4.1. Obiettivo dell'attività

L'obiettivo del PAR 2015 è consistito nella realizzazione di camere di combustione in materiali diversi e nello studio delle cinetiche di combustione di syngas di varia composizione e delle caratteristiche di combustione al variare dei parametri operativi del combustore. L'obiettivo del PAR 2016-2017 consiste nell'upscale e ottimizzazione di un reattore MILD per biomasse; prove di combustione MILD di biocombustibili gassosi e liquidi; valutazione della fattibilità di processi di combustione diretta MILD di combustibili solidi in un reattore ciclonico.

1.4.2. Risultati conseguiti

I risultati più significativi ottenuti possono essere riassunti come segue:

- Ottimizzazione numerica della geometria del burner
- Scale-up della camera di combustione
- Ottimizzazione dei materiali e verifica sperimentale
- Studio cinetico del processo di combustione MILD di liquidi
- Test sulla combustione di bio-combustibili nel burner MILD ciclonico
- Valutazione e selezione di sistemi di preparazione/alimentazione di sospensioni di solidi
- Valutazione critica delle modalità ottimali di combustione di bio-combustibili in bruciatori MILD

1.4.3. Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Non sussistono scostamenti rispetto alle previsioni.

1.4.4. Deliverables

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------------------|---|--|
| IRC-CNR | Report sulle prove di combustione di biocombustibili nel bruciatore ciclonico (in Allegato 4) | Prestazioni del bruciatore ciclonico alimentato con combustibili liquidi |
| IRC-CNR DICMAPI- UNINA | Report sulle attività di documentazione e progettazione di sottosistemi per l'alimentazione di combustibili liquidi e sospensioni in un bruciatore MILD (in Allegato 4) | Schemi di alimentazione di combustibili liquidi e slurry |

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|----------------------|--|--|
| DICMAPI-UNINA | Report sulle attività di ottimizzazione numerica ed upscale del bruciatore ciclonico (in Allegato 4) | Identificazione delle geometrie ottimali, per la massimizzazione dei campi di stabilità e della quantità di ricircolo nel ciclone Incremento delle dimensioni della camera al fine di raddoppiarne le potenzialità termiche preservando efficienza e qualità della combustione. |

1.4.5. Diffusione dei risultati

“Fuel and thermal load flexibility of a MILD burner” P Sabia, G Sorrentino, P Bozza, G Ceriello, R Ragucci, M de Joannon, Proceedings of the Combustion Institute 37 (4), 4547-4554, 2019

“Numerical Investigation of Moderate or Intense Low-Oxygen Dilution Combustion in a Cyclonic Burner Using a Flamelet-Generated Manifold Approach” G Sorrentino, G Ceriello, M de Joannon, P Sabia, R Ragucci, J Van Oijen, Energy & Fuels 32 (10), 10242-10255, 2018

1.4.6. Apparecchiature disponibili e acquisite

Apparecchiature disponibili

- Reattore JSFR.
- Facility di prova basata su bruciatore ciclonico.
- Analizzatori online di prodotti gassosi.
- Sistema di diagnostica ottica per immagini (PIV-Mie scattering).
- Gas-cromatografi online ed offline.
- Sistemi di misura e controllo di sistemi sperimentali.
- Sistema di campionamento in-situ di reagenti e prodotti parziali della combustione.

Apparecchiature acquisite

- Nessuna

WP 2: SISTEMA DI MICROGENERATORE DA 3 KW ELETTRICI INNOVATIVO

Elenco dei Partecipanti alle attività

| Unità di Ricerca | Task |
|---|----------|
| CNR - Istituto Motori | 2.1, 2.3 |
| CNR - Istituto Ricerche sulla Combustione | 2.2, 2.3 |
| Università di Napoli Federico II – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMAPI – UniNa) | 2.2 |
| Università di Napoli Federico II – Dipartimento Scienze Chimiche (DSC- UniNa) | 2.3 |

Obiettivi della linea

L'obiettivo complessivo del WP2 consiste nella realizzazione di un'unità da 3 kWe, a rapido adeguamento del carico elettrico, basato su di un motore a combustione interna innovativo che intende affrontare e risolvere le problematiche tipiche di tali unità (ridotto rendimento elettrico, elevato tasso di rumorosità e di vibrazioni, elevato costo di acquisto). Caratteristica specifica dell'unità è la capacità di utilizzare efficientemente biogas/syngas in un ampio intervallo di composizioni. Poiché la reale efficienza di un sistema energetico, ed in particolare la durabilità dello stesso, si basa sull'ottimizzazione dell'intera filiera, le attività del WP sono completate da studi di sistemi ottimizzati di gassificazione e di cleaning ed upgrading del gas e delle loro caratteristiche di ignizione. Per quanto riguarda la gassificazione, le attività prevedono la messa a punto di strategie combinate in processi di gassificazione di biomasse a letto fluido per la produzione di un syngas con specifiche richieste (potere calorifico, concentrazione di particolato, tar, alcali, cloruri, solfuri, etc.) per utilizzo in motori a combustione interna. In particolare si effettuerà l'ottimizzazione dei parametri operativi del processo di gassificazione (mediante utilizzo di gassificatore a letto fluido con potenzialità da 40kWth) e la determinazione dell'efficienza di conversione in termini di qualità di syngas prodotto mediante prove di gassificazione al variare del rapporto aria/combustibile e steam/combustibile, della velocità superficiale dei gas, della temperatura, dei materiali del letto, tipologia di pretrattamento e sistemi catalitici per l'abbattimento degli inquinanti. I biocombustibili gassosi secondari derivati da biomasse e residui organici necessitano di specifici trattamenti di purificazione prima di ulteriori impieghi. Tra i principali inquinanti da rimuovere vi è l'acido solfidrico (H₂S), un composto tossico che già in concentrazioni molto basse (poche ppm) comporta problemi di corrosione delle condutture e serbatoi e che in processi di combustione, porta alla formazione di SO₂ e acido solforico. Inoltre, la necessità di un vettore ad alto contenuto energetico richiede lo studio di sistemi di abbattimento della CO₂. Il tema della gassificazione è, pertanto, integrato con le attività di purificazione e upgrading del biocombustibile gassoso. Il WP è organizzato nei seguenti Task, discussi in dettaglio nelle sezioni successive:

Task 2.1 – Microgeneratore da 3 kW elettrici innovativo per usi domestici

Unità di ricerca coinvolte:

- IM - CNR

Task 2.2 Gassificazione

Unità di ricerca coinvolte:

- IRC – CNR
- DICMAPI - UNINA

Task 2.3 – Purificazione Combustibili Gassosi da CO2 e H2S

Unità di ricerca coinvolte:

- IM - CNR
- IRC – CNR
- DSC – UNINA

Nel seguito è riportata la sintesi delle attività svolte. I report di dettaglio dei Task sono riportati in specifici Allegati come indicato in tabella:

| | | |
|-----------------|----------|--------------|
| IM - CNR | Task 2.1 | Allegato 5 |
| IRC – CNR | Task 2.2 | Allegato 6.1 |
| DICMAPI - UNINA | Task 2.2 | Allegato 6.2 |
| IM - CNR | Task 2.3 | Allegato 7.1 |
| CNR - IRC | Task 2.3 | Allegato 7.2 |
| DSC- UniNa | Task 2.3 | Allegato 7.3 |

Task 2.1 Microgeneratore da 3 kW elettrici innovativo per usi domestici

Elenco dei Partecipanti alle attività

IM – CNR

2.1.1 Stato dell'arte

La microgenerazione basata su un motore a c.i. appare una delle soluzioni più razionali per conseguire il massimo sfruttamento energetico da un combustibile sia esso fossile che rinnovabile, in quanto consente di utilizzare il calore di scarto derivante dal ciclo termodinamico e di metterlo a disposizione di un'utenza locale per numerose finalità, con notevole risparmio energetico. Gli svantaggi maggiori sono rappresentati dal modesto rendimento elettrico e dalla scarsa flessibilità di utilizzo, che premia fondamentalmente le utenze caratterizzate da una contemporanea richiesta di energia elettrica e termica. Inoltre esso lamenta una difficile integrazione con la maggioranza dei tessuti residenziali a causa di rumorosità, vibrazioni e potenziale produzione di inquinanti allo scarico; tali inconvenienti sono ancora più evidenti e limitanti nel caso di impianti di piccola taglia per applicazioni domestiche singole, specialmente se monocilindrici.

2.1.2 Obiettivi

L'obiettivo principale del PAR 2016-2017 è stata la realizzazione di un motore innovativo a pistoni opposti caratterizzato da un elevato rendimento termodinamico, ridottissimo tasso di vibrazioni e capacità di adeguarsi alle diverse condizioni di carico e/o di variabilità di composizione del combustibile grazie ad un sistema a rapporto di compressione variabile. Un secondo obiettivo è stato quello di integrare tutti gli elementi progettati ex-novo o acquisiti in campo commerciale al fine di realizzare un impianto di microgenerazione da 3 kWe. Un ulteriore obiettivo è stato quello di effettuare un'analisi relativa alle condizioni di funzionamento ed alle usure dello stesso, nonché ottimizzare il comportamento termodinamico e funzionale dell'impianto tramite una calibrazione dei parametri principali di regolazione.

2.1.3 Risultati conseguiti

I risultati conseguiti sono descritti in dettaglio nell'Allegato 5. Sinteticamente, consistono in:

- Realizzazione esecutiva del prototipo di un motore a c.i. a pistoni opposti a rapporto di compressione variabile ed integrazione di tutti gli elementi progettati ed acquisiti necessari per la costruzione di un microgeneratore da 3 kWe.
- Analisi delle condizioni di funzionamento e delle usure del motore, nonché ottimizzazione del comportamento dinamico tramite una calibrazione dei parametri principali di regolazione del microgeneratore da 3 kWe.

2.1.4 Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Non sussistono significativi scostamenti rispetto alle previsioni.

2.1.5 Deliverables

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------|--|---|
| IM - CNR | Report relativo alla realizzazione di un motore a pistoni opposti, alla integrazione degli elementi ausiliari e resoconto dei fenomeni di usura per il microgeneratore da 3 kWe (Allegato 5) | <ul style="list-style-type: none"> • Criteri per la realizzazione esecutiva e la modalità di integrazione degli elementi progettati • Comportamento operativo termodinamico come microgeneratore completo • Analisi dei principali fenomeni di usura |

2.1.6 Diffusione dei risultati

E' in preparazione una pubblicazione scientifica su rivista relativa alle "soluzioni per il contenimento delle usure in un motore a due tempi con lubrificazione a tutta perdita a ridottissimo apporto di olio".

2.1.7 Apparecchiature disponibili e acquisite

Apparecchiature disponibili

- Banco di analisi dei gas di scarico
- Banco di resistenze elettriche a potenza modulabile
- Strumentazioni varie di tecnologia meccanica (rugosimetri, durometri, etc.)

Apparecchiature Acquisite

- Nessuna

Task 2.2 Gassificazione

Elenco dei Partecipanti alle attività

- Istituto Ricerche sulla Combustione – CNR
- Università di Napoli Federico II – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMAPI – UniNa)

2.2.2 Obiettivi

Ottimizzazione di processi e di strategie combinate (macinazione, essiccazione, trattamenti di rimozione di inorganici, pellettizzazione, torrefazione, etc.) in processi di gassificazione di biomasse a letto fluido per la produzione di un syngas con specifiche richieste (potere calorifico, concentrazione di particolato, tar, alcali, cloruri, solfuri, etc.) per utilizzo in motori a combustione interna.

2.2.3 Risultati conseguiti

I risultati conseguiti sono descritti in dettaglio negli Allegati 6.1 (IRC-CNR) e 6.2 (DICMAPI-UNINA). Sinteticamente, consistono in:

- Messa a punto di un protocollo per il doping selettivo di xylano commerciale demineralizzato (IRC-CNR)
- Dipendenza dalla temperatura di processo della resa dei prodotti del processo di torrefazione e delle loro caratteristiche energetiche (IRC-CNR)
- Studi sperimentali di torrefazione di pellet commerciali in un reattore a letto fluidizzato (IRC-CNR)
- Ottimizzazione del syngas prodotto in processi di gassificazione a letto fluido (IRC-CNR)
- Influenza di diverse configurazioni del gassificatore a letto fluido con potenzialità da 40kWth sull'efficienza del reattore in termini di composizione del syngas prodotto, emissioni di fini, concentrazione di tar (IRC-CNR)
- Studio dell'effetto della presenza di vapor d'acqua sulla capacità di cattura della CO₂ e sulla tendenza all'attrito di materiali sorbenti in sistemi di Calcium Looping (DICMAPI-UNINA)

2.2.4 Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Non sussistono significativi scostamenti rispetto alle previsioni.

2.2.5 Deliverables

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------|---|--|
| IM - CNR | Report su: messa a punto della procedura di pretrattamento di biomasse; ottimizzazione delle condizioni termiche del pretrattamento; ottimizzazione della configurazione reattoristica del gassificatore (Allegato 6.1) | <ul style="list-style-type: none"> • Procedure di pretrattamento delle biomasse • Dipendenza dalla temperatura di processo della resa dei prodotti del processo di torrefazione e delle loro caratteristiche energetiche • Ottimizzazione della composizione del syngas prodotto in processi di gassificazione a letto fluido |

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|----------------------|--|--|
| DICMAPI-UNINA | Studio dell'effetto della presenza di vapor d'acqua sulla capacità di cattura della CO ₂ e sulla tendenza all'attrito di materiali sorbenti in sistemi di Calcium Looping in un reattore a letto fluidizzato duale interconnesso (Allegato 6.2) | Interrelazioni tra natura del sorbente, condizioni operative di prova, capacità di cattura di CO ₂ , tendenza del sorbente a subire fenomeni di abrasione/frammentazione e sua struttura porosimetrica/microscopica |

2.2.6 Diffusione dei risultati

- Paola Brachi, Riccardo Chirone, Michele Miccio, Giovanna Ruoppolo Fluidized bed torrefaction of biomass pellets: a comparison between oxidative and inert atmosphere submitted to Powder Technology
- V. Gargiulo, P. Giudicianni, M. Alfe, R. Ragucci, A.I. Ferreiro, M. Rabacal, M. Costa "Experimental investigation on the effect of K⁺ ions on the slow pyrolysis of xylan" Chemical Engineering Transactions (2018) 65:553-558.
- P. Giudicianni, V. Gargiulo, M. Alfe, R. Ragucci, A. I. Ferreiro, M. Rabacal, M. Costa "Slow pyrolysis of xylan as pentose model compound for hardwood hemicellulose: a study of the catalytic effect of Na ions" Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 137 (2019) 266–275
- V. Gargiulo, A. Gomis-Berenguer, P. Giudicianni, C.O. Ania, R. Ragucci, M. Alfe "Assessing the potential of bio-chars prepared by steam assisted slow pyrolysis for CO₂ adsorption and separation" Energy Fuels 2018, 32, 10218–10227.
- P. Giudicianni, V. Gargiulo, M. Alfe, R. Ragucci "Slow Pyrolysis of Potassium Doped Xylan: A Comparison Between Two Doping Approaches" Joint Meeting The German And Italian Sections Of The Combustion Institute Sorrento (Italy) – May 23–26, 2018 (ISBN 978-88-88104-22-5).

2.2.7 Apparecchiature disponibili e acquisite

Apparecchiature disponibili

- spettrometro ICP-MS Agilent ICP-MS 7500ce
- spettrofotometro FTIR Nicolett is10
- bilancia termogravimetrica Perkin-Elmer Pyris 1
- microscopio SEM FEI Inspect™
- spettrometro GCMS Agilent GC/MS 7890A/5972C
- Porosimetro Quantachrome Autosorb iQ per la determinazione della distribuzione del volume dei pori e della superficie specifica.
- Analizzatore elementare CHN 2000 LECO.
- Bilancia termogravimetrica per analisi immediata 701 LECO.
- Bilancia analitica Mettler Toledo.
- ICP/MS ICP/ MS Agilent 7500CE.
- Forno per essiccamento CARBOLITE.
- Reattore per la torrefazione con analizzatore online Horiba Mexa 7170D della fase gassosa
- Analizzatore elementare CHN 2000 LECO.
- Bilancia termogravimetrica per analisi immediata 701 LECO.

- TGA 701 LECO per analisi proximate (contenuto di umidità, ceneri e sostanze volatili, carbonio fisso);
- Calorimetro Parr 6200 per misure di potere calorifico superiore;
- Durometro Shore D (Sauter HBD 100-0) per misure la durezza del pellet;
- Agilent HP6890/HP5975 gascromatografo/spettrometro di massa (GC/MS) per la caratterizzazione dei prodotti liquidi;
- Analizzatore portatile di gas di combustione Testo 350 per l'analisi dei prodotti gassosi;
- pH-metro Thomas Scientific 675 pH/ISE per la misura del pH dei campioni liquidi;
- reattore tubolare in acciaio (diametro interno 30 mm; altezza 350 mm)
- Gassificatore a letto fluido
- ICP/MS
- Forno per essiccamento
- micro-gas-cromatografo Agilent 3000A, per l'analisi degli idrocarburi diversi dal metano
- analizzatore in continuo ABB per il monitoraggio di CO, CO₂, H₂ e CH₄

Apparecchiature Acquisite

- Nessuna
-

Task 2.3 Purificazione Combustibili Gassosi da CO₂ e H₂S

2.3.1 Elenco dei Partecipanti alle attività

Istituto Motori – CNR

Istituto Ricerche sulla Combustione – CNR

Università di Napoli Federico II – Dipartimento Scienze Chimiche (DSC- UniNa)

2.3.2 Obiettivi

L'obiettivo complessivo del Task consiste nella realizzazione di sistemi di purificazione di biogas/syngas mediante adsorbimento su solidi funzionalizzati. Più specificatamente:

- Sviluppo di sistemi micro e meso-porosi per la cattura di CO₂ e H₂S per la purificazione di combustibili gassosi (biogas e syngas). Determinazione delle capacità e delle cinetiche di adsorbimento (solidi funzionalizzati con gruppi amminici)
- Sviluppo di un sistema di purificazione di combustibili gassosi da H₂S attraverso adsorbimento reattivo con letti impaccati di nuovi sorbenti ad alte prestazioni operanti a temperatura ambiente (solidi funzionalizzati con ossidi metallici misti)

Gli obiettivi del PAR 2015 sono consistiti nella messa a punto dei sistemi sperimentali, nella definizione delle procedure di sintesi dei sorbenti e nella loro caratterizzazione. L'obiettivo del PAR 2016-2017 consiste nello sviluppo di sorbenti con formulazioni ottimizzate in funzione delle specifiche condizioni di processo.

2.3.3 Risultati conseguiti

I risultati conseguiti sono descritti in dettaglio negli Allegati 7.1 (IM-CNR), 7.2 (IRC-CNR) e 7.3 (DSC-UniNa). Sinteticamente, consistono in:

Sviluppo di sistemi basati su solidi funzionalizzati con gruppi amminici (IM-CNR):

- Individuazione materiali di interesse e definizione di differenti metodologie di sintesi
- Sintesi e caratterizzazione chimico-fisica dei solidi adsorbenti selezionati
- Ottimizzazione dei materiali sintetizzati in termini di contenuto e tipo di ammina utilizzati
- Messa a punto impianto da laboratorio per misure cinetiche di adsorbimento in flusso su solidi in polvere
- Test sperimentali di adsorbimento di CO₂ e H₂S in impianto per misure cinetiche in flusso con letto adsorbente di tipo tubolare, sui materiali sintetizzati, caratterizzati e ottimizzati.

Sviluppo di sistemi basati su solidi funzionalizzati con ossidi metallici misti:

- Caratterizzazione funzionale dei nuovi sorbenti (studio termodinamico e cinetico) al variare delle condizioni di processo (temperatura, presenza di umidità, presenza di ossigeno ed altre specie in fase gassosa) ed ottimizzazione formulazione (IRC-CNR)
- Analisi e caratterizzazione dei sorbenti esausti e della loro rigenerazione attraverso misure TPD-S e analisi XPS (IRC-CNR)
- Modellistica del processo di adsorbimento di H₂S con sorbenti funzionalizzati: validazione con dati sperimentali e simulazioni finalizzate a scale-up impianto (DSC-UNINA)

2.3.4 Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Non sussistono scostamenti rispetto alle previsioni.

2.3.5 Deliverables

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------|---|---|
| IM-CNR | Report sulle prestazioni adsorbenti dei solidi sviluppati e analisi finale sulla base delle misure di caratterizzazione effettuate (Allegato 7.1) | <ul style="list-style-type: none"> • Materiali sintetizzati, caratterizzati e ottimizzati per l'adsorbimento di CO₂ e H₂S, funzionalizzati con gruppi amminici • Prestazioni adsorbenti di solidi micro e meso-porosi |
| IRC-CNR | Report tecnico sulle attività svolte (Allegato 7.2) | Sorbenti con formulazioni ottimizzate in funzione delle specifiche condizioni di processo |
| DSC-UNINA | Report tecnico sulla Modellistica del processo di adsorbimento di H ₂ S con sorbenti funzionalizzati: validazione con dati sperimentali e simulazioni finalizzate a scale-up impianto (Allegato 7.3) | Modello numerico per simulazione e scale-up del processo di adsorbimento reattivo di H ₂ S sui nuovi sorbenti in reattori a letto fisso. |

2.3.6 Diffusione dei risultati

J. Apuzzo, S. Cimino, L. Lisi, Processi di purificazione da H₂S di Biogas prodotto da fermentazione anaerobica di biomasse provenienti da attività agricole, agroindustriali e zootecniche miscelate con la frazione organica dei solidi urbani, Esposizione presso Maker Faire (Fiera di Roma dal 12 al 14 ottobre 2018)

2.3.7 Apparecchiature disponibili e acquisite

Apparecchiature disponibili

- Laboratorio per la preparazione e caratterizzazione di materiali: N₂ physisorption (BET, PSD), ICP-MS, CHNS, XRD, FT-IR DRIFT, TG/IR/MS, SEM-EDAX, TPD/TPO/TPR; CO/H₂ chemisorption; Ionic chromatography.
- Impianto da laboratorio per test di adsorbimento/desorbimento in condizioni di temperatura controllata (nell'intervallo 30 – 1000°C) a pressione atmosferica compreso di sistemi di alimentazione attraverso controllori di massa dedicati e di analisi on-line con analizzatori specifici per composti solforati H₂S ed SO₂ e GC-SCD (Sulphur Chemiluminescence Detector) ed analizzatori multicomponente per le principali specie gassose (CO, CO₂, H₂, CH₄, O₂, NO, NO₂).
- Analizzatore CO₂
- Reattore per misure cinetiche di adsorbimento/desorbimento
- Analizzatore CO₂
- Reattore per misure cinetiche di adsorbimento/desorbimento

Apparecchiature Acquisite

- Nessuna

WP 3: SVILUPPO E PROVA DI UN SISTEMA COMBINATO COMBUSTIONE/IR-RAGGIAMENTO SOLARE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E TERMICA DA SISTEMI DI MINI E MICRO-COGENERAZIONE

Elenco dei Partecipanti alle attività

- Istituto Ricerche sulla Combustione – CNR
- Università di Napoli Federico II – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMAPI – UniNa)

3.1 Obiettivi della linea

L'obiettivo generale del WP3 è la realizzazione di un sistema ibrido in grado di combinare la tecnologia solare termica a concentrazione con la tecnologia di combustione, allo scopo di migliorare le prestazioni in termini di costo di esercizio e di emissioni inquinanti, rispetto ad un sistema di combustione puro a combustibili fossili.

L'obiettivo specifico per il PAR 2015 è stato l'individuazione delle condizioni operative ottimali del sistema di combustione ibrido che utilizza la radiazione solare concentrata per aumentare l'entalpia del sistema, mantenendo i livelli di emissione di inquinanti al di sotto dei limiti di legge. Tale obiettivo è stato perseguito attraverso una campagna di misure sperimentali e mediante simulazione numerica. L'obiettivo specifico per il PAR 2016 2017 consiste nella realizzazione di un modulo del sistema integrato combustore-solare su scala da laboratorio e test di validazione.

3.2 Risultati conseguiti

- Realizzazione di un modulo del sistema ibrido combustore-solare, sulla base della campagna sperimentale e di simulazione numerica effettuata nel corso del precedente PAR 2015. (IRC-CNR)
- Test di verifica e di funzionamento del modulo combustore-solare, mediante misure in-situ di temperatura. (IRC-CNR e UNINA-DICMAPI)
- Analisi della concentrazione degli assorbitori solari presenti in fiamma, con campionamento della fuliggine. (IRC-CNR)
- Analisi dell'effetto dell'irraggiamento solare sulle caratteristiche chimico-fisiche ed ottiche della fuliggine con campionamento e misure spettroscopiche della fuliggine, in presenza ed in assenza del simulatore solare. (IRC-CNR)
- Analisi dell'effetto della radiazione solare sul processo di ossidazione della fuliggine con misure sperimentali e analisi modellistica. (IRC-CNR e UNINA-DICMAPI)

3.3 Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

Non sussistono scostamenti rispetto alle previsioni.

3.4 Deliverables

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------|--|--|
| IRC-CNR | Relazione sulle attività svolte (Allegato 8.1) | <ul style="list-style-type: none"> • Realizzazione di un modulo del sistema ibrido combustore-solare • Analisi della concentrazione degli assorbitori solari presenti in fiamma, con campionamento della fuliggine |

| Unità di ricerca | DESCRIZIONE DELIVERABLE | RISULTATI QUANTITATIVI |
|------------------|---|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> Analisi dell'effetto dell'irraggiamento solare sulle caratteristiche chimico-fisiche ed ottiche della fuliggine |
| DICMAPI-UNINA | Report relativo all'analisi modellistica dell'effetto della radiazione solare sul processo di ossidazione della fuliggine (Allegato 8.2a) | Condizioni operative di accoppiamento combustore-solare che determinino la stabilizzazione di fiamme non-smoking |
| | Report relativo allo studio sperimentale dell'effetto della tipologia del combustibile sulla formazione di particelle assorbitori di radiazione solare e sulla loro distribuzione dimensionale in fiamme da (Allegato 8.2b) | Relazione fra composizione della miscela combustibile e formazione di specie assorbitori gassose e particellari in fiamme da laboratorio |

3.5 Diffusione dei risultati

- Vitiello, G., De Falco, G., Picca, F., Commodo, M., D'Errico, G., Minutolo, P., D'Anna, A. On the relevance of radicals in carbon clustering and soot inception: a joint EPR and Raman spectroscopy study. *Combustion and Flame*, 2018.
- De Falco, G., Sirignano, M., Commodo, M., Merotto, L., Migliorini, F., Dondè, R., De Iulii, S., Minutolo, P., D'Anna, A. Experimental and numerical study of soot formation and evolution in coflow laminar partially premixed flames (2018) *Fuel*, 220, pp. 396-402.
- Schulz, F., Commodo, M., Kaiser, K., De Falco, G., Minutolo, P., Meyer, G., D'Anna, A., Gross, L. Insights into incipient soot formation by atomic force microscopy (2019) *Proceedings of the Combustion Institute*, 37 (1), pp. 885-892.
- C. Russo, B. Apicella, S.A. Pfau, S. Lagana, A. La Rocca, A. Ciajolo, OXIDATION REACTIVITY OF SOOT PRODUCED FROM DIVERSE FUEL HYDROCARBONS, *Mediterranean Combustion Symposium, MCS11, Tenerife, Spain, 16-20 June 2019*
- M. Sirignano, G. De Falco, M. Commodo, P. Minutolo, C. Tregambi, R. Solimene, P. Salatino and A. D'Anna, EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF A HYBRID SOLAR-COMBUSTOR SYSTEM FOR ENERGY EFFICIENCY INCREASING, *Mediterranean Combustion Symposium, MCS11, Tenerife, Spain, 16-20 June 2019*.

3.6 Apparecchiature disponibili e acquisite

Apparecchiature disponibili

- Differential Mobility Analyser
- Telecamera intensificata ICCD
- Laser Nd-Yag Quantel
- Spettrometro FT-IR/NIR
- Cromatografo Liquido/spettrofotometro UV-Vis diode array

- Spettrofotometro UV-Visibile
- Spettrofluorimetro

Apparecchiature Acquisite

- Nessuna
-