Regione Toscana

FAS Fondo Aree Sottoutilizzate 2007-2013

REPUBBLICA ITALIANA

Progetto finanziato con il contributo determinante dell'accordo di programma MIUR-Regione Toscana DGRT 1208/2012- Accordo di programma quadro MIUR-MISE-Regione Toscana DGRT 758/2013 PAR FAS 2007-2013 - Linea d'azione 1.1 Bando per il finanziamento di progetti di ricerca fondamentale, ricerca industriale e sviluppo sperimentale realizzati congiuntamente da imprese e organismi di ricerca in materia di nuove tecnologie del settore energetico, fotonica, ICT, robotica e altre tecnologie abilitanti connesse bando FAR-FAS 2014

Bioidrogeno e Biometano da codigestione anaerobica di FORSU, produzione di fonti energetiche e fertilizzanti rinnovabili per l'efficientamento di impianti di pubblica utilità

www.bio2energy.it info@bio2energy.it

GREEN & CIRCULAR ECONOMY
7-10 NOVEMBRE 2017
RIMINI ITALY
KEY ENERGY

Bio2Energy

Sea Risorse S.p.A.

Alia Servizi Ambientali S.p.A.

UNIFI-DIEF

ICCOM

PIN SOC. CONS. A R.L.

Cavalzani INOX

Ing. Caterina Susini
SEA Risorse, Viareggio

Ing. Isabella Pecorini
DIEF - Dipartimento di Ingegneria Industriale
Università degli Studi di Firenze

Progetto finanziato con il contributo determinante dell'accordo di programma MIUR-Regione Toscana DGRT 1208/2012- Accordo di programma quadro MIUR-MISE-Regione Toscana DGRT 758/2013 PAR FAS 2007-2013 - Linea d'azione 1.1 Bando per il finanziamento di progetti di ricerca fondamentale, ricerca industriale e sviluppo sperimentale realizzati congiuntamente da imprese e organismi di ricerca in materia di nuove tecnologie del settore energetico, fotonica, ICT, robotica e altre tecnologie abilitanti connesse bando FAR-FAS 2014

Regione Toscana

FAS Fondo Aree Sottoutilizzate 2007-2013

REPUBBLICA ITALIANA

Bioidrogeno e Biometano da codigestione anaerobica di FORSU, produzione di fonti energetiche e fertilizzanti rinnovabili per l'efficientamento di impianti di pubblica utilità

www.bio2energy.it info@bio2energy.it

Bio2Energy

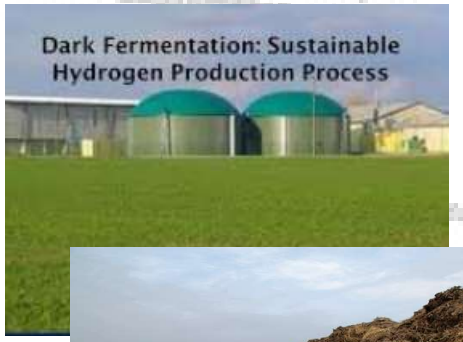
GREEN & CIRCULAR ECONOMY
7-10 NOVEMBRE 2017
RIMINI ITALY
KEY ENERGY

Optimization of hydrogen and methane production in two-phase anaerobic digestion

I. Pecorini, G. Ferrara, G. Galoppi, F. Baldi, D. Bacchi, E. Albini, C. Susini, A. Scappini, L. Lombardi, DIEF - Dipartimento di Ingegneria Industriale Università degli Studi di Firenze - PIN S.c.r.l. – Servizi didattici e scientifici per l'Università di Firenze - SEA Risorse S.p.A. - ALIA Servizi Ambientali S.p.A.- UNICUSANO – Università Niccolò Cusano, Roma

Sommario

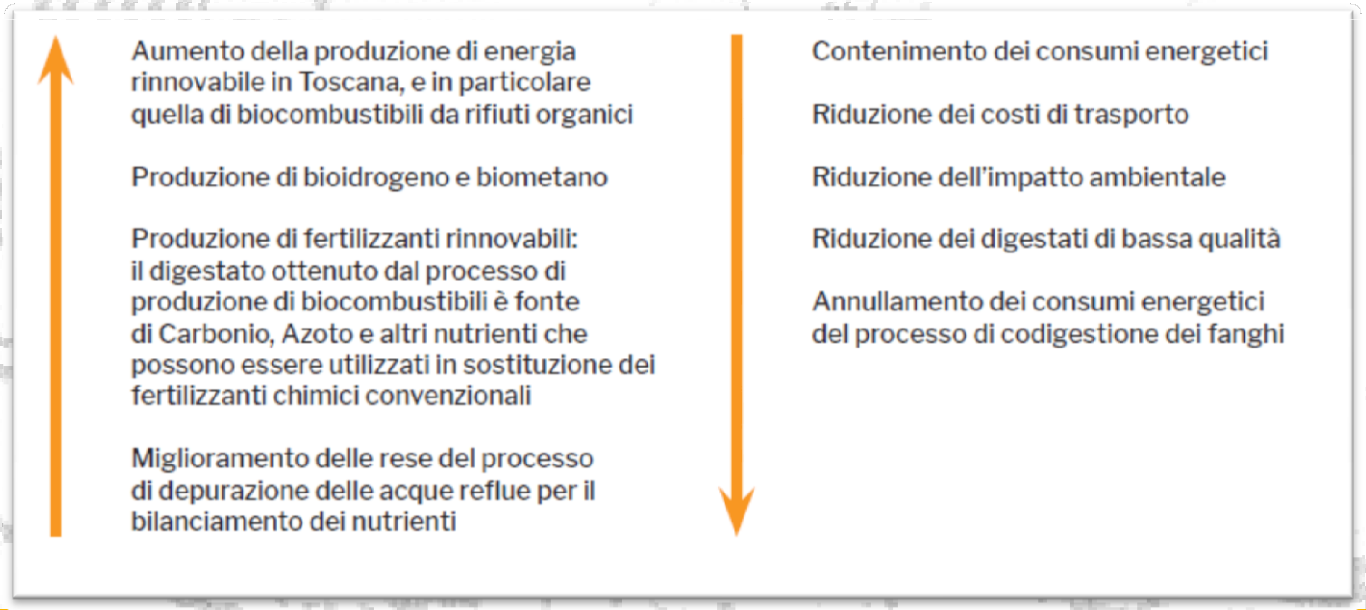
- Obiettivi del progetto
- Bioeconomia e Bioraffinerie
- Fasi del progetto
- Risultati attesi



Obiettivi del progetto

- Studiare i meccanismi **di gassificazione dei rifiuti organici** e la conseguente **produzione di bioidrogeno**
- Produrre **energia rinnovabile** sottoforma di bioidrogeno e biometano da rifiuti organici
- **Codigerire** anaerobicamente scarti proventi da **impianti di pubblica utilità**
- **Recuperare materia dai rifiuti, in particolare dal digestato che può essere utilizzato come fertilizzante rinnovabile**
- Applicare per la prima volta il processo di produzione di bioidrogeno e biometano a **scala preindustriale** e valutare i fenomeni e le **sinergie con la linea acque** di un depuratore

- Portare le risultanze dello studio all'attenzione degli enti di **programmazione regionali** e scrivere delle **linee guida** per l'esportazione del processo in altre realtà territoriali



Bioeconomia e Bioraffinerie

L'emblema industriale che determina la transizione della società verso uno sviluppo sostenibile basato sulla bioeconomia è rappresentato dalla **bioraffineria integrata**, dove la sorgente fossile è sostituita da una matrice organica rinnovabile e i rifiuti o sottoprodotti di un'industria diventano risorse per un'altra.

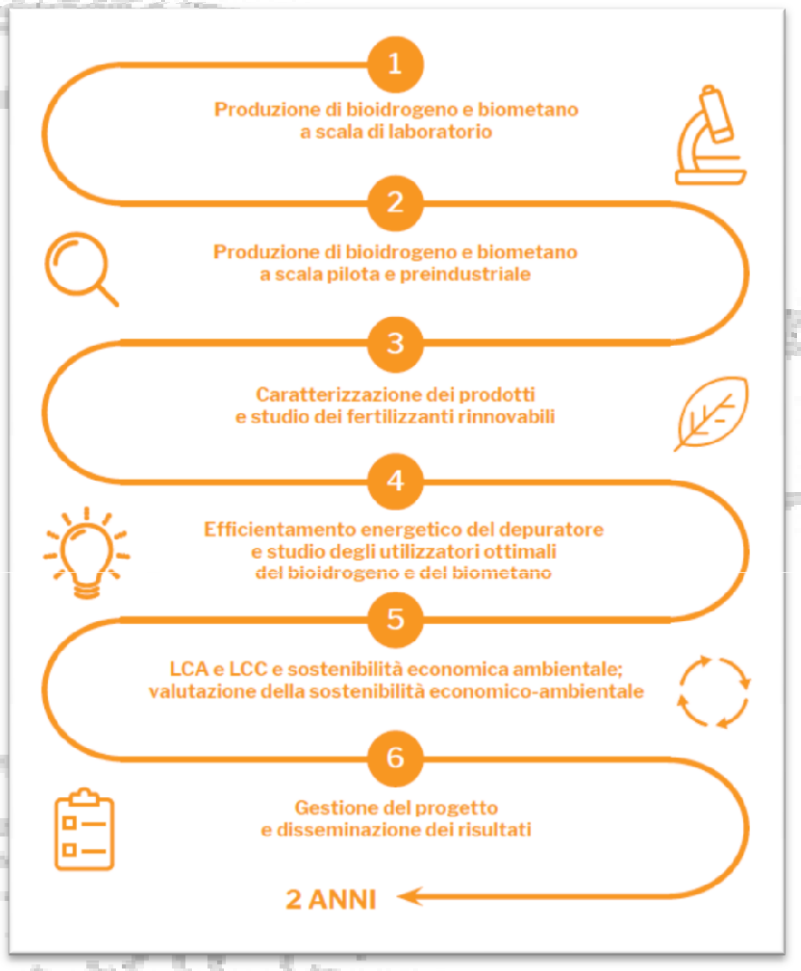
Il progetto BIO2Energy rispetta i principi di base della bio-based industry utilizzando **FORSU e FANGHI (bio-waste)** per ottenere:

- **Bio-energia – bio-combustibili gassosi**: bioidrogeno (da DF) e biometano (da AD) con contenuto energetico maggiore rispetto allo scenario attuale – ENRGIA DA FONTI RINNOVABILI
- **Bio-materiali – bio-fertilizzanti**: digestato (output finale del processo di co-digestione) ricco di nutrienti (N e C) grazie ad una giusta miscelazione FORSU e FANGHI – FONTE RINNOVABILE DI FERTILIZZANTE e RICICLO DEI NUTRIENTI
- **Bio-prodotti - bio-polimeri:** PHA per bio-plastiche

Fasi del progetto

Di seguito le fasi fondamentali del progetto:

- Obiettivo Operativo 1: Produzione bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi
- Obiettivo Operativo 2: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala pilota e preindustriale – attività di ricerca industriale e trasferimento tecnologico
- Obiettivo Operativo 3: Caratterizzazione dei prodotti e studio dei fertilizzanti rinnovabili
- Obiettivo Operativo 4: valutazione dell'efficientamento energetico dell'impianto di depurazione
- Obiettivo Operativo 5: Life Cycle Assessment (LCA) e Life Cycle Cost (LCC) e sostenibilità economica ambientale - Valutazione della sostenibilità economico-ambientale



Rewamping dei trattamenti della linea fanghi del depuratore di Viareggio di SEA RISORSE S.p.A. con l'introduzione del processo di co-digestione anaerobica dei fanghi e della FORSU per la valorizzazione energetica dei biocombustibili prodotti

Fasi del progetto

	2016 III	2016 IV	2017 I	2017 II	2017 III	2018 IV	2018 I	2018 II	2018 III
Obiettivo Operativo 1 Produzione bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - **attività di ricerca fondamentale** relative alla co-digestione di FORSU e fanghi	*BMP BHP*		*CSTR*						
Obiettivo Operativo 2 Produzione di bioidrogeno e biometano a scala pilota e preindustriale – attività di **ricerca industriale** e **trasferimento tecnologico**			*Impianto pilota*			*Impianto pre-industr*			
Obiettivo Operativo 3 Caratterizzazione dei prodotti e studio dei **fertilizzanti rinnovabili**									*Test in sito*
Obiettivo Operativo 4 Valutazione dell'**efficientamento energetico** dell'impianto di depurazione								*Micro-turbina*	
Obiettivo Operativo 5 LCA e LCC e sostenibilità economica ambientale - Valutazione della **sostenibilità economico-ambientale**									*Report*

Obiettivo Operativo 1: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi

- Attività 1.1: Caratterizzazione matrici in ingresso – almeno 5 diversi substrati
- Attività 1.2: Studio della produzione al variare del pH – almeno 3 test a diversi valori del pH
- Attività 1.3: Studio della modellistica di produzione del bioidrogeno
- Attività 1.4: Studio rapporti ottimali FORSU/FANGHI nella dark fermentation

Partner coinvolti:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIEF DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Obiettivo Operativo 1: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi

- Attività 1.1: **Caratterizzazione matrici in ingresso** – almeno 5 diversi substrati

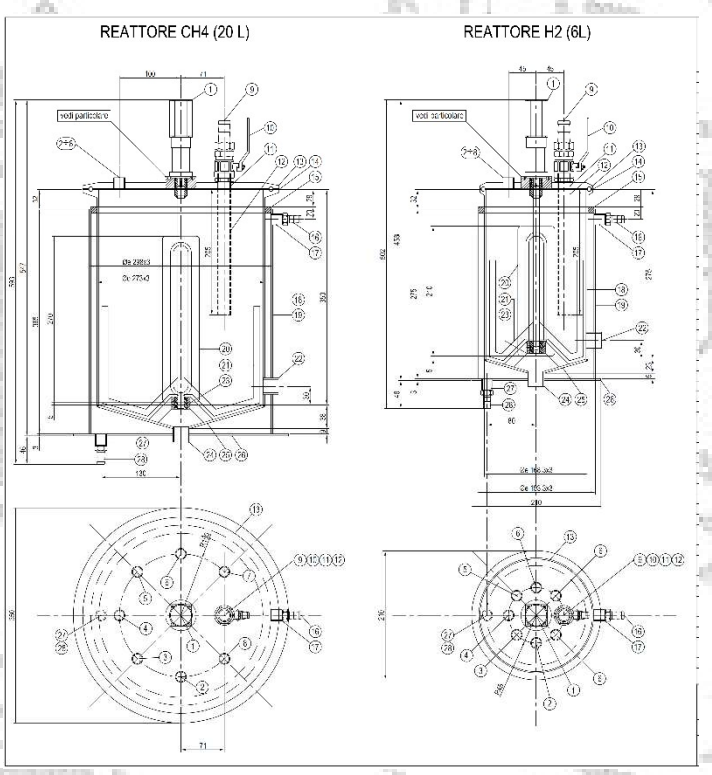
- ✓ **Chimico-fisica**
  - pH
  - Solidi totali
  - Solidi volatili
  - Azoto totale ridotto (TKN)
  - Azoto ammniacale
  - TOC e COD
  - Caroidrati
- ✓ **BMP e BHP**
  - Inoculo (popolazioni batteriche selezionate)
  - Substrato (carboidrati o zuccheri)
  - **T = 55°C e 37°C** (condizioni termofile ottimali)

Partner coinvolti:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIEF DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Obiettivo Operativo 1: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi

- Attività 1.2: **Studio della produzione al variare del pH** - almeno 3 test a diversi valori di pH



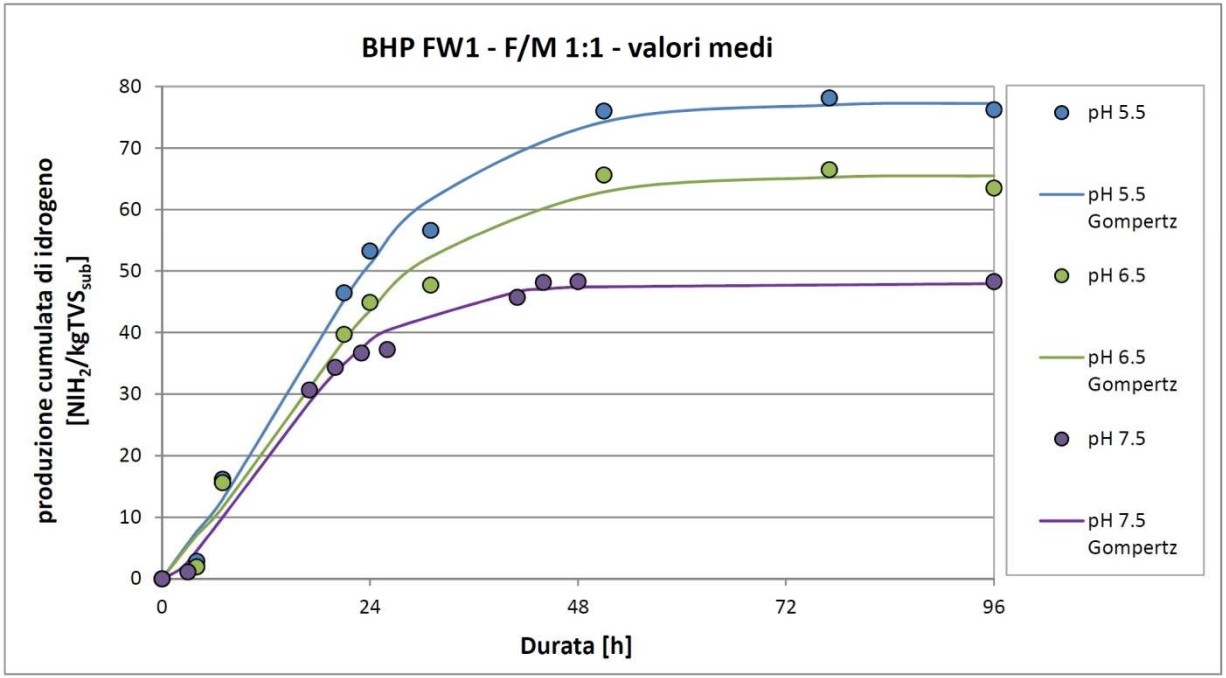
- ✓ Esecuzione di prove di DA con processi a singolo e doppio stadio
- ✓ Valutazione preliminare dello scale-up del processo

Partner coinvolti:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIEF DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Obiettivo Operativo 1: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi

- Attività 1.3: **Studio della modellistica di produzione del biodrogeno**



Partner coinvolti:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIEF DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Obiettivo Operativo 1: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi

- Attività 1.4: **Studio dei rapporti attimali FORSU/FANGHI nella dark fermentation**

Rapporto Substrato/inoculo	
Substrato/inoculo	10/90 (w/w)
Substrato/inoculo	25/75 (w/w)
Substrato/inoculo	50/50 (w/w)
Substrato/inoculo	75/25 (w/w)
No inoculo	100 substrato (w/w)

Partner coinvolti:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIEF DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Obiettivo Operativo 1: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi

Test batch BHP:

Studio di pH e rapporto F/M

Substrato	pH	F/M (p:p)
Food Waste	**5.5**	**1:3**
Food Waste	**5.5**	**1:1**
Food Waste	**6.5**	**1:3**
Food Waste	**6.5**	**1:1**
Food Waste	**7.5**	**1:3**
Food Waste	**7.5**	**1:1**

Studio controllo del pH

Substrato	pH	F/M (p:p)	Controllo pH
Food Waste	5.5	1:1	**AUT NaOH 2M**
Saccarosio	5.5	1:1	**AUT NaOH 2M**
FW1	5.5	1:1	**S. Tampone MES 0.5M**
Saccarosio	5.5	1:1	**S. Tampone MES 0.5M**

Studio tipologia di inoculo

Substrato	pH	F/M (p:p)	Controllo pH	Tipologia inoculo
Food Waste	5.5	1:1	AUT NaOH 2M	**Fanghi attivi**
Saccarosio	5.5	1:1	AUT NaOH 2M	**Fanghi attivi**
Food Waste	5.5	1:1	AUT NaOH 2M	**Digestato**
Saccarosio	5.5	1:1	AUT NaOH 2M	**Digestato**

Partner coinvolti:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIEF DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

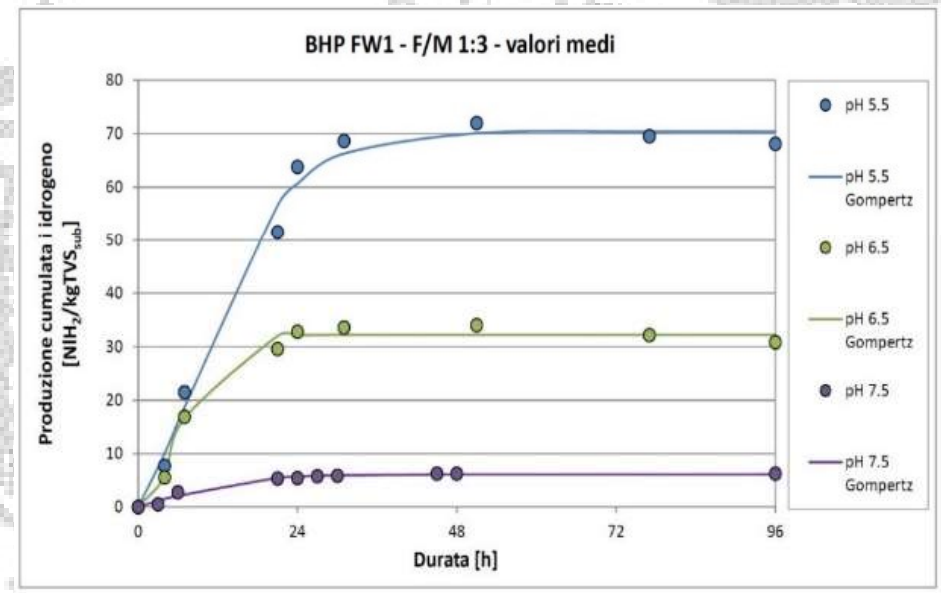
Diapositiva 13

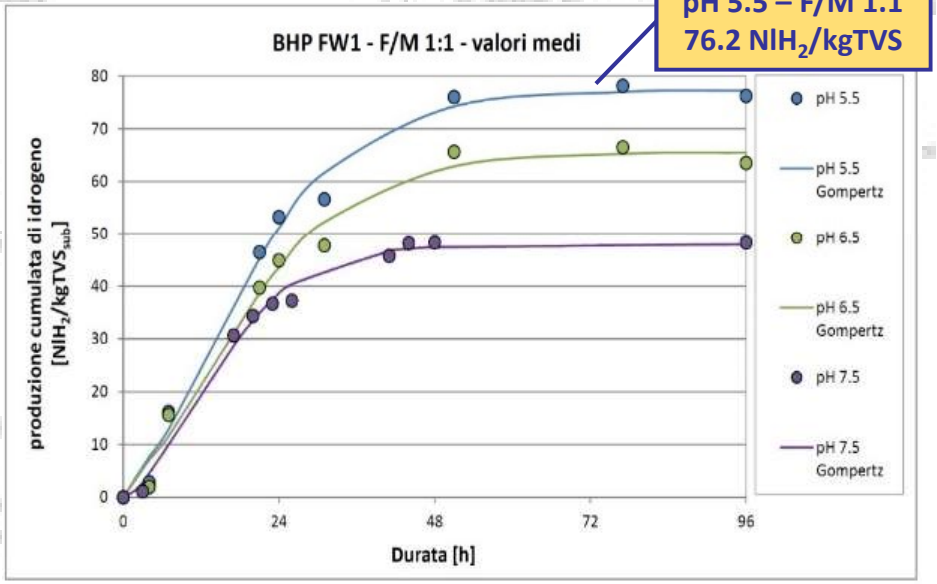
F1 Francesco; 03/11/2017

Obiettivo Operativo 1: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi

Test batch BHP:

Studio di pH e rapporto F/M





pH 5.5 – F/M 1.1
76.2 NlH_2/kgTVS

✓ **pH e rapporto FORSU/FANGHI F/M:** pH 5.5 e rapporto F/M 1:1 (p:p)

Partner coinvolti:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIEF DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

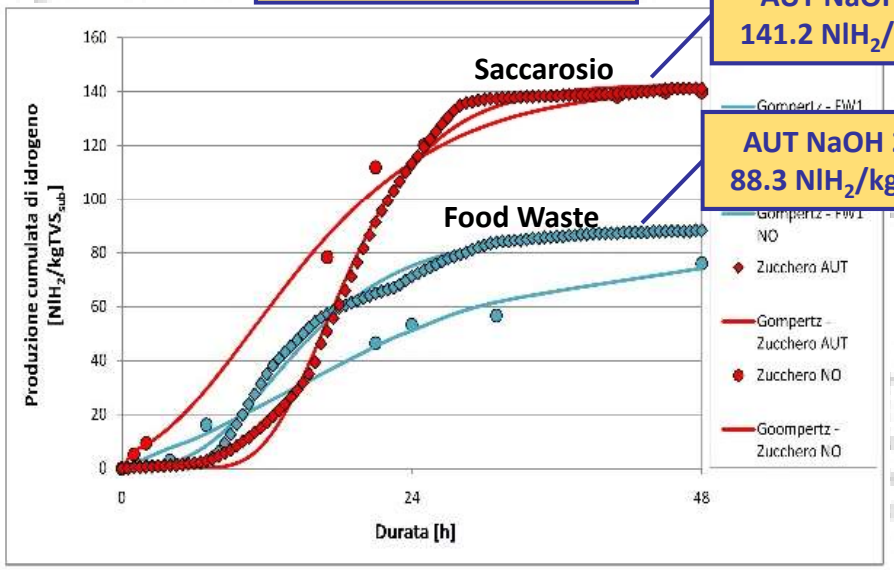
Diapositiva 14

F1 Francesco; 03/11/2017

Obiettivo Operativo 1: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala di laboratorio - attività di ricerca fondamentale relative alla co-digestione di FORSU e fanghi

Test batch BHP:

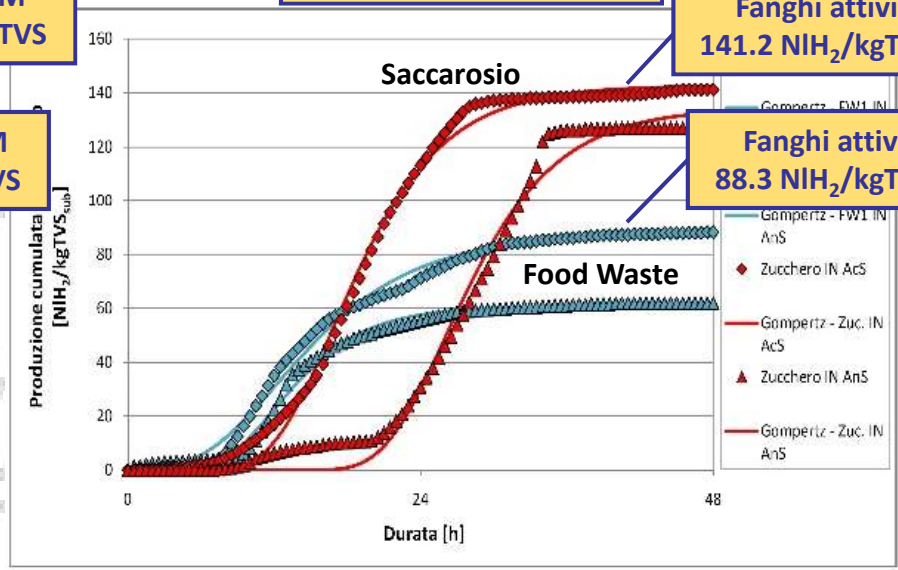
Studio controllo del pH



AUT NaOH 2M 141.2 NlH_2/kgTVS

AUT NaOH 2M 88.3 NlH_2/kgTVS

Studio tipologia di inoculo



Fanghi attivi 141.2 NlH_2/kgTVS

Fanghi attivi 88.3 NlH_2/kgTVS

- ✓ **Controllo del pH:** dosaggio automatico di soluzione basica NaOH 2M
- ✓ **Tipologia di inoculo:** fanghi attivi

Partner coinvolti:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIEF DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

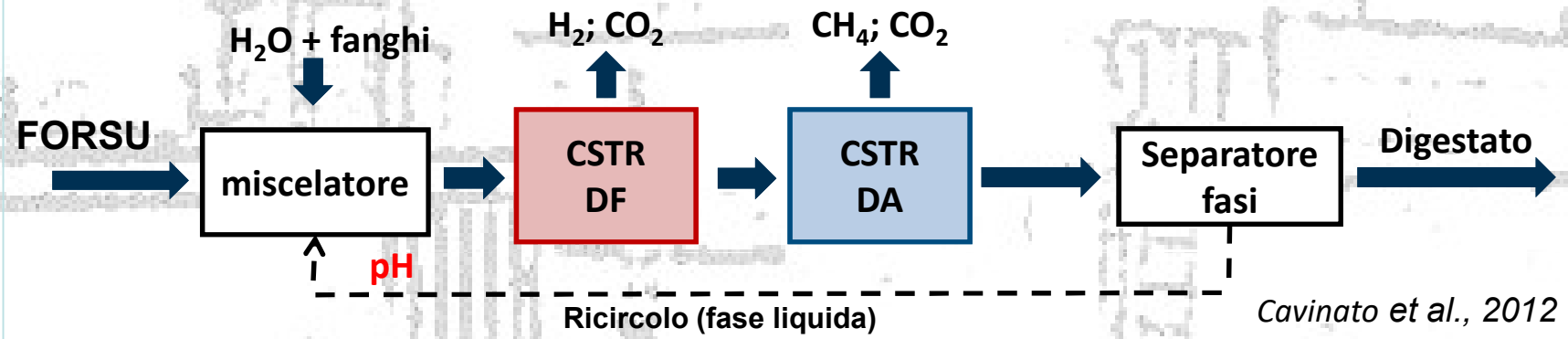
Diapositiva 15

F1 Francesco; 03/11/2017

Obiettivo Operativo 2: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala pilota e preindustriale

Attività di ricerca industriale e di sviluppo sperimentale

✓ **Scala pilota:** per non inficiare il sistema a scala reale



Cavinato et al., 2012

✓ **Scala preindustriale**

Partner coinvolti:

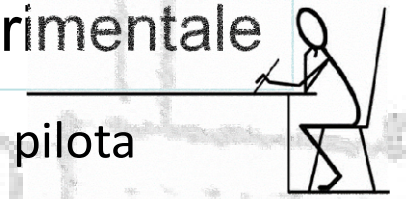
SEA risorse RISORSENONRIFIUTI

CAVALZANI INOX Dal 1963 Costruttori su Misura in Firenze

PIN Polo Universitario Città di Prato Servizi Didattici e Scientifici per l'Università di Firenze

Obiettivo Operativo 2: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala pilota e preindustriale

Attività di ricerca industriale e di sviluppo sperimentale



- Attività 2.1: **Processo a scala pilota** – dimensionamento impianto pilota
- Attività 2.2: **Processo a scala preindustriale**
  - ✓ Realizzazione Mixer
  - ✓ Istallazione Presso-estrusore
- Attività 2.3: Conduzione **prove a scala pilota**

  Test tossicità
- Attività 2.4: Conduzione **prove a scala preindustriale** presso l'impianto di depurazione di Viareggio

MIX fanghi e FORSU → Presso-estrusore → Reattore Bioidrogeno → Reattore Biometano

Partner coinvolti:

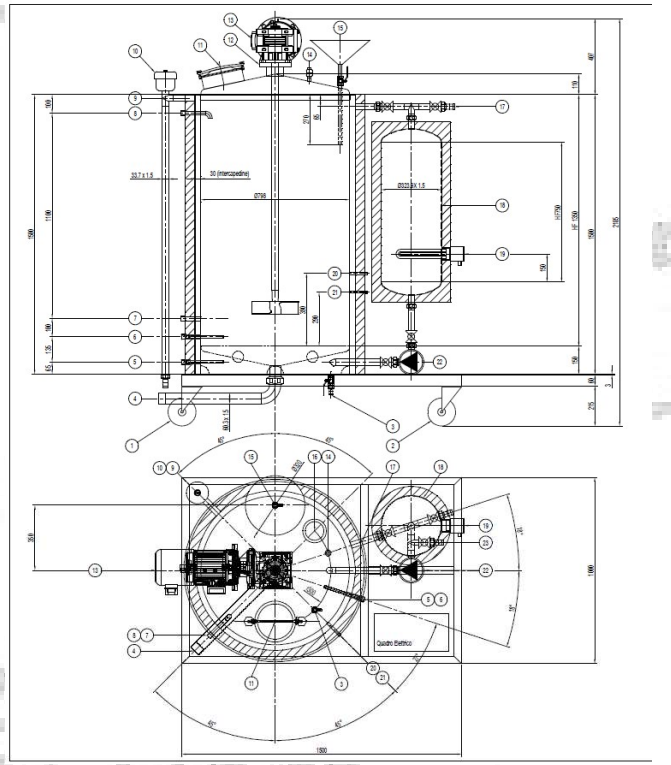
SEA risorse – RISORSE NON RIFIUTI

Dal 1963 CAVALZANI INOX – Costruttori su misura in Firenze

PIN – Polo Universitario Città di Prato – Servizi didattici e scientifici per l'Università di Firenze

Obiettivo Operativo 2: Produzione di bioidrogeno e biometano a scala pilota e preindustriale

- Attività 2.2: **Processo a scala preindustriale**
  - ✓ Realizzazione Mixer
  - ✓ Istallazione Presso-estrusore



Partner coinvolti:

SEA risorse – RISORSE NON RIFIUTI

Dal 1963 CAVALZANI INOX – Costruttori su Misura in Firenze

PIN – Polo Universitario Città di Prato – Servizi Didattici e Scientifici per l'Università di Firenze

Obiettivo Operativo 3: Caratterizzazione dei prodotti e studio dei fertilizzanti rinnovabili

Attività di **ricerca industriale** –sostenibilità economico-ambientale del progetto

- Attività 3.1: **Studio output da reattore pilota** – Caratterizzazione dell'effluente prodotto
- Attività 3.2: **Studio output da reattore preindustriale** – Caratterizzazione dell'effluente prodotto
- Attività 3.3: **Studio potenzialità di recupero del digestato** – Individuazione applicazioni industriali da inserire nella filiera del recupero

DIGESTATO

- **Elevata stabilità biologica**
- **Proprietà ammendanti**
- **Proprietà fertilizzanti (presenza N, P, K, Mg)**

Partner coinvolti:

Obiettivo Operativo 3: Caratterizzazione dei prodotti e studio dei fertilizzanti rinnovabili

Attività di **ricerca industriale** –sostenibilità economico-ambientale del progetto

Analisi chimico-fisiche per definire digestato

- ✓ Contenuto sostanza organica e nutrienti (N, P, K, Mg)
- ✓ Elementi potenzialmente tossici
- ✓ Presenza materiali estranei inquinanti
- ✓ Presenza patogeni

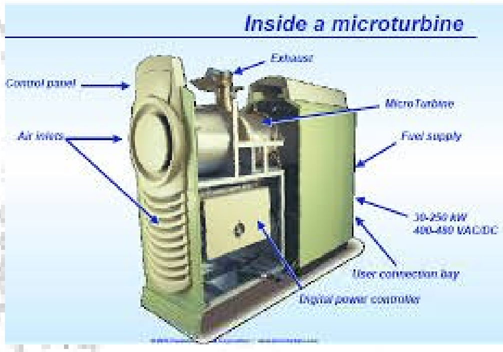
Almeno **10 diversi campioni:**

5 da reattore pilota e 5 da reattore preindustriale

Partner coinvolti:

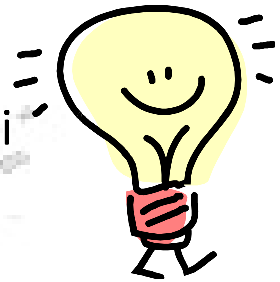
Obiettivo Operativo 4: valutazione dell'efficientamento energetico della linea fanghi dell'impianto di depurazione di Viareggio

- Attività 4.1: **Studio degli utilizzatori ottimali per il recupero energetico** (EE e ET) del biocombustibile



- ✓ Analisi dei **fabbisogni energetici** dell'impianto depurazione e individuazione **principali utilizzatori**
- ✓ Survey delle **tecnologie utilizzabili per produzione congiunta EE e ET**

- Attività 4.2: **Studio dell'efficienza energetica** dell'impianto e **ottimizzazione dei consumi energetici** – determinazioni di eventuali **interventi migliorativi**

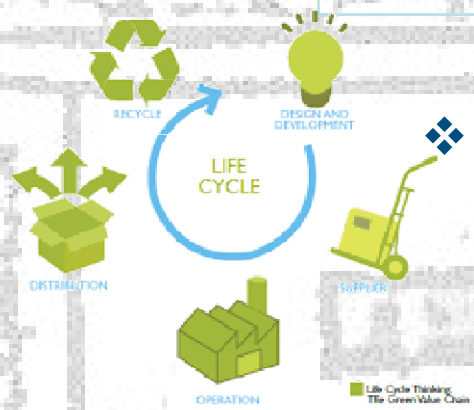


Partner coinvolti:

Alia Servizi Ambientali · SEA risorse – Risorse non rifiuti · Università degli Studi Firenze DIEF Dipartimento di Ingegneria Industriale · ICCOM

Obiettivo Operativo 5: Life Cycle Assessment (LCA) e Life Cycle Cost (LCC) e sostenibilità economica ambientale - Valutazione della sostenibilità economico-ambientale

Valutazione della **sostenibilità economica ed ambientale** dell'applicazione a scala reale delle soluzioni tecnologiche proposte dal Progetto Bio2Energy in particolare **in riferimento alle soluzioni utilizzate e/o presenti nello stato dell'arte.**

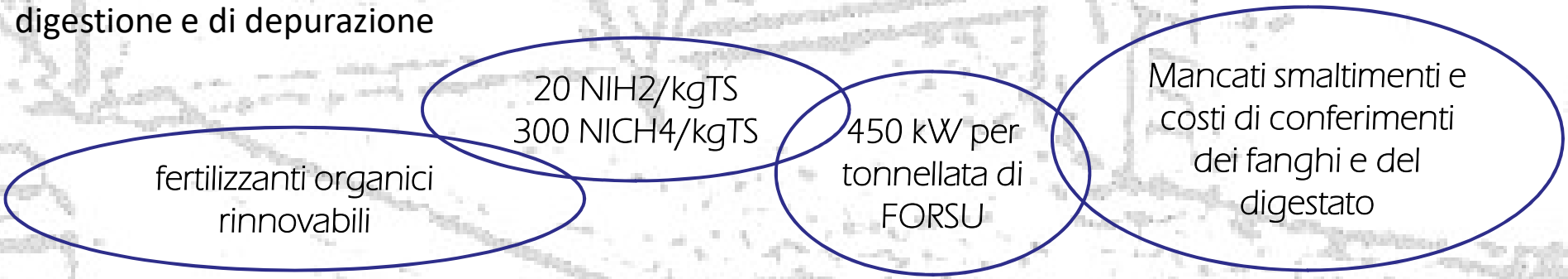


- Attività 5.1: **Life Cycle Assessment** del processo e studio della sostenibilità ambientale

Partner coinvolti: Università degli Studi Firenze – DIEF Dipartimento di Ingegneria Industriale; PIN Polo Universitario Città di Prato – Servizi Didattici e Scientifici per l'Università di Firenze

- Attività 5.2: **Life Cycle Costing** del processo e analisi dei costi benefici

Partner coinvolti: PIN Polo Universitario Città di Prato – Servizi Didattici e Scientifici per l'Università di Firenze; Alia Servizi Ambientali; Cavalzani Inox Dal 1963 Costruttori su Misura in Firenze; SEA risorse – Risorse non Rifiuti

Risultati

- **introduzione di termini di guadagno** - mancati smaltimenti e costi di conferimento dei fanghi e del digestato (costi attuali di 80-100 €/t), produzione energia rinnovabile e riduzione consumi
- produzione di **energia elettrica e termica** richiesta da impianto di depurazione pre-esistente
- bassi costi di investimento e **sfruttamento delle infrastrutture esistenti** già ammortizzata e già esistente c/o un impianto di pubblica utilità (utilizzo delle capienze residue dei reattori della linea fanghi del depuratore di Viareggio – nessun investimento importante ex-novo)
- reale **riduzione dei costi** sia in termini **economici** che **ambientali** - creazione di una sinergia fra ciclo acque e ciclo rifiuti con il processo di codigestione e ottimizzazione gestionale dell'impianto di depurazione acque
- inserimento del **digestato** quale fonte di nutrienti sul mercato dei fertilizzanti, con recupero di materia e produzione di **fertilizzanti organici rinnovabili**
- trattamento FORSU vicino al luogo di produzione (diminuzione sia dei costi di trasporto che del traffico veicolare e quindi del conseguente inquinamento)
- ottimizzazione del recupero energetico ed efficientamento energetico dell'impianto di co-digestione e di depurazione