

Fabbrica della Bioenergia

Ricerca · Consulenza
e Formazione



POLITECNICO
MILANO 1863

POLO TERRITORIALE
DI CREMONA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE E AMBIENTALE





La Fabbrica della Bioenergia in numeri

eventi formativi
gratuiti **15**

seminari scientifici
e divulgativi **11**

pubblicazioni
scientifiche **40**

pubblicazioni
divulgative **8**

tesi di
laurea e dottorato **23**

anni di borsa per assegni di ricerca
/ dottorati di ricerca **30**

analisi di potenziale
metanigeno **210**

parametri chimici
analizzati **4300**

Aggiornamento ad Aprile 2015



Francesca Malpei
*DICA - Responsabile
Scientifico Fabbrica
della Bioenergia*

Il progetto “Fabbrica della Bioenergia” ha avuto origine nell’ambito dei Tavoli del Patto per lo Sviluppo della Provincia di Cremona e ha trovato concreta realizzazione nel 2011, grazie al finanziamento emblematico di Fondazione Cariplo, al continuo supporto e contributo della Provincia di Cremona e del Politecnico di Milano, uniti all’interesse ed appoggio degli altri soggetti co-finanziatori quali il Comune di Cremona, ERSAF e la Camera di Commercio di Cremona. La missione del progetto era ed è quella di costituire un centro di studi e consulenza indipendente, in grado di promuovere e supportare una **ampia, duratura e sostenibile diffusione della digestione anaerobica**, nella Provincia di Cremona ma non solo, rispondendo in modo rigoroso ed innovativo alle necessità ed esigenze, nel breve e lungo termine, di quanti operano in quest’ambito con diversi ruoli e funzioni: enti pubblici, aziende agricole, industrie, costruttori e gestori di impianti di digestione anaerobica, aziende municipalizzate e del servizio idrico integrato, associazioni di categoria, consorzi ed enti di formazione.

Ciò attraverso tre linee di azione: la ricerca applicata, la fornitura di servizi e consulenze di livello universitario, la formazione e la divulgazione.

La dinamica evoluzione che caratterizza e caratterizzerà il mondo delle bioenergie, anche in risposta a cambiamenti economici, normativi e strutturali già in atto, rende sempre più necessario perseguire obiettivi di innovazione e ottimizzazione dell’intero processo e sostenere la digestione anaerobica come uno dei tasselli fondamentali del concetto di bioraffineria, sviluppandone tutte le possibilità di integrazione.

Fabbrica della Bioenergia sviluppa le proprie azioni grazie ad un gruppo di docenti strutturati, ricercatori ed assegnisti di ricerca provenienti dalle aree dell’ingegneria ambientale, dell’ingegneria gestionale e dell’ingegneria dell’automazione, inoltre conta su un laboratorio chimico sperimentale, impianti pilota e strumenti per misure in campo a supporto delle attività di ricerca, analisi e monitoraggio di impianti.

In questi anni Fabbrica della Bioenergia ha consolidato le proprie attività e la propria presenza, prima di tutto nel territorio di Cremona ma anche in ambito italiano ed europeo. Ciò grazie all’impegno, competenza e passione di quanti vi operano con l’obiettivo di proseguire e ulteriormente sviluppare il ruolo di centro di ricerca, consulenza e formazione del Polo di Cremona del Politecnico di Milano.

Fondazione Cariplo è tra i principali organismi filantropici nel mondo, avendo raccolto negli anni la tradizione di filantropia della Cassa di Risparmio delle Province Lombarde, un patrimonio costruito in più di 180 anni di storia.

Dal 1991 - data della sua costituzione - ad oggi la Fondazione ha sostenuto oltre 25.000 progetti realizzati da enti non profit, con erogazioni per un importo complessivo di 2,8 miliardi di euro.

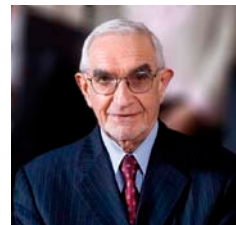
Nell'ambito dei progetti 'emblematici' previsti per il territorio provinciale di Cremona nell'anno 2009, Fondazione Cariplo è intervenuta a supportare finanziariamente il progetto di Fabbrica della Bioenergia, unitamente ad altri progetti, per un valore complessivo di finanziamento alla Provincia di Cremona e Novara di 7 miliardi.

Gli interventi emblematici si concretizzano in progetti caratterizzati da un alto grado di complessità organizzativa, strutturale ed economica, affrontano problemi specifici di un territorio, sperimentano politiche innovative in campo sociale, culturale, ambientale, scientifico ed economico.

Essi mirano ad un cambiamento specifico delle condizioni di sviluppo sostenibile, attraverso un processo di progettazione e sperimentazione, gestito congiuntamente con altri soggetti pubblici e privati. In questo senso, gli interventi emblematici rispondono ai requisiti di esemplarità per il territorio e di sussidiarietà di intervento.

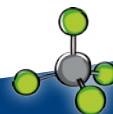
L'identificazione di Fabbrica della Bioenergia quale progetto strategico ed emblematico venne svolta attraverso un'analisi approfondita di varie progettualità, coinvolgendo il Dott. Rebecchi della Fondazione Comunitaria di Cremona e in connessione con gli attori locali, valorizzando l'effetto volano destinato ad incidere nei settori più promettenti connessi a ricerca, formazione e cultura. L'impegno di Politecnico di Milano quale entità universitaria di alto profilo tecnico scientifico e radicata sul territorio è stato determinante per l'avvio e la buona riuscita di tutto il percorso, per così dare continuità futura in termini di formazione del capitale umano. L'attività di Fondazione Cariplo continua oggi ad essere ispirata da tre parole chiave: giovani, benessere e comunità.

"Dalla coesione tra le persone parte la nostra piccola rivoluzione - Giuseppe Guzzetti, Presidente - perché ciascuno dia il proprio contributo per fondare il futuro della nostra società su quei principi di solidarietà e di innovazione sociale che sono alla base dell'operato di Fondazione Cariplo".



Fondazione Cariplo

#conFondazioneCariplo





Gianni Ferretti

*Prorettore
Polo Cremona*

Politecnico di Milano – Polo di Cremona, nel 2009 ha accettato la sfida, insieme agli enti locali Provincia di Cremona, Camera di Commercio di Cremona, Comune di Cremona ed Ersaf, di perseguire un nuovo obiettivo strategico, affiancando dal punto di vista scientifico e tecnico la rapida diffusione del settore delle bioenergie sul nostro territorio.

Questo obiettivo porta con sé il consolidamento della connessione dell'Università con lo sviluppo locale e del ruolo propulsore di competitività territoriale e imprenditoriale che Politecnico di Milano, Polo di Cremona, ha potuto sempre garantire.

È stato quindi realizzato presso il Polo di Cremona un vero centro di competenze per lo sviluppo sostenibile della bioenergia, basato sul laboratorio chimico sperimentale intitolato al prof. Alberto Rozzi, noto pioniere della ricerca scientifica nel campo del processo di digestione anaerobica.

La Fabbrica della Bioenergia si è inoltre strutturata in una serie di attività di ricerca, servizi, osservatorio e formazione, vicine alle richieste del territorio e nel contempo di supporto alle attività di ricerca del Politecnico.

Oggi Fabbrica della Bioenergia è un punto di riferimento per molte aziende e professionisti, nonché per ricercatori universitari italiani e stranieri. Sono quindi fiducioso in un continuo accrescimento del valore che questo centro di competenze potrà portare a Cremona e all'intera comunità scientifica e imprenditoriale del settore bioenergia.

Il 5° rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change, del quale è stato reso noto il documento di sintesi alla fine di ottobre 2014 a Copenaghen dimostra chiaramente i danni inflitti ai sistemi ambientali e sociali del nostro pianeta dalle attività antropiche nella gestione e utilizzo delle risorse energetiche.

Gli ingegneri ambientali in sinergia con tutte le componenti del Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale (DICA) svolgono un ruolo chiave nella ricerca di soluzioni adeguate ed efficaci nella mitigazione di questi danni.

La sezione ambientale è specificamente impegnata nella ricerca e nella formazione volta al monitoraggio e alla modellizzazione della qualità di acqua, aria e suolo e allo sviluppo e alla progettazione di misure di controllo del carico inquinante immesso in ambiente e di recupero di energia e risorse, da residui delle attività antropiche.

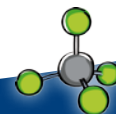
All'interno della sezione ambientale, le competenze inerenti i processi di digestione anaerobica si sono consolidate a partire dai primi anni '90 e sono via via cresciute nel gruppo di ricerca che ha contribuito in maniera essenziale all'ideazione e allo sviluppo del progetto "Fabbrica della Bioenergia", trovando al contempo nella realtà territoriale ed economica della Provincia di Cremona ulteriori possibilità e richieste di ricerca applicata, formazione e supporto qualificato ed indipendente.

I risultati ottenuti in sinergia con i colleghi del Polo di Cremona e degli altri Dipartimenti coinvolti indicano le potenzialità di sviluppo strategico di Fabbrica della Bioenergia e del Laboratorio "Alberto Rozzi", gestito dal DICA, come centro di innovazione, trasferimento di conoscenze e supporto alla soluzione di problemi tecnici.



Gianpaolo Rosati

*Direttore
Dipartimento
Ingegneria Civile
e Ambientale
(DICA)*





**Magnani
Gianantonio**

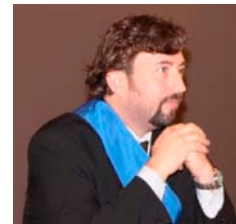
*Direttore
Dipartimento
di Elettronica,
Informazione e
Bioingegneria (DEIB)*

Le tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT) sono ormai uno strumento indispensabile anche per la soluzione dei problemi ambientali e di approvvigionamento energetico, sia perché consentono di gestire ed ottimizzare i processi di produzione di energia sia perché contribuiscono in larga misura ad uno sfruttamento più efficiente dell'energia stessa.

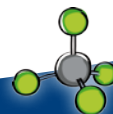
Il contributo delle tecnologie ICT si rivela in tutta la sua importanza in particolare nella ricerca nel campo delle energie rinnovabili, dove il forte contenuto di innovazione e la complessità dei processi richiedono una gestione sofisticata delle informazioni ai fini del monitoraggio e del controllo.

Il contributo del Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria (DEIB) alle attività della Fabbrica della Bioenergia si concretizza quindi sia nel supporto alla ricerca sulla modellistica, l'identificazione e il controllo dei processi di digestione anaerobica, sia nel più tradizionale filone di ricerca sull'ottimizzazione dei processi di produzione di energia in generale, nel quale il DEIB vanta una lunga tradizione e scuola, fondata dal professor Claudio Maffezzoni, relativamente ad impianti convenzionali.

La Fabbrica della Bioenergia ha rappresentato, per la Provincia di Cremona, un investimento importante, da sostenere con convinzione, per soddisfare le aspettative degli imprenditori agricoli e della intera filiera agro-energetica, nella sua fase di crescita e sviluppo. La Provincia con gli altri partner, in questi anni, ha pensato, progettato e avviato questa nuova realtà che ha saputo coniugare il mondo della ricerca con quello dell'impresa del settore agro-alimentare. Al termine di questo percorso sostenuto da Fondazione Cariplo, "La Fabbrica della Bioenergia" è oggi un centro di competenze che ha l'ambizione di offrire un servizio ad ampio raggio al tessuto produttivo agricolo del territorio nel settore delle agroenergie, un supporto sempre in continuo miglioramento per sostenere e promuovere lo sviluppo degli impianti bioenergetici, nel rispetto della vocazione agricola del territorio. Le numerose iniziative convegnistiche, di altissimo livello, hanno offerto ed offrono la possibilità di una divulgazione specialistica molto apprezzata da ricercatori, consulenti, tecnici, e soprattutto dagli operatori del settore. Grazie al Politecnico di Milano, sede di Cremona, l'attività di ricerca si è tradotta in proposta diversificata di servizi, anche personalizzati, adeguata alle richieste che gli operatori hanno avanzato in questi anni. La Fabbrica della Bioenergia, oggi realtà dinamica e di elevato profilo, è pertanto un vanto per il nostro territorio, espressione di una volontà condivisa e ben strutturata e compimento di un percorso progettuale di alto livello che ha visto operare fianco a fianco ed in modo proficuo pubblico e privato.

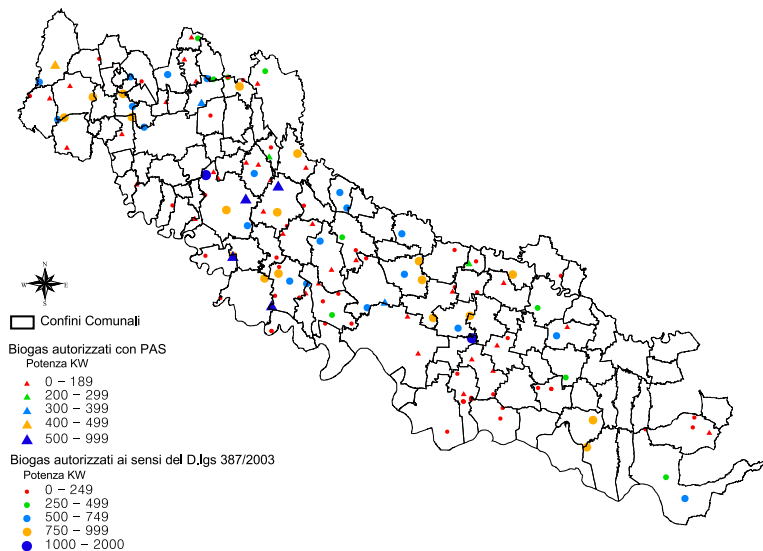


Carlo Vezzini
*Presidente della
Provincia
di Cremona*



La presenza del settore nel territorio cremonese

BIOGAS IN PROVINCIA DI CREMONA



Aggiornamento dicembre 2014

- 146 impianti a biogas in esercizio, 160 compresi quelli in autorizzazione e in costruzione
- oltre 100 MWe di potenza installata
- 35.247 di superficie agricola utilizzata
- 4.258 imprese agricole iscritte alla CCIAA di Cremona
- 1.406 aziende agricole con allevamenti bovini
- 498 aziende agricole con allevamenti suini

Fonti: ISTAT (2014); CCIAA Cremona (2014); Anagrafe Nazionale Zootecnia (2014); database impianti Provincia di Cremona, Settore Agricoltura e Ambiente (2013)

Il laboratorio Alberto Rozzi

Il laboratorio è presente presso il Polo di Cremona e si avvale dell'esperienza e competenza maturate all'interno del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e del suo Laboratorio LIA, in oltre 50 anni di attività. È dotato di strumenti analitici, apparecchiature e impianti pilota in grado di supportare le attività di ricerca ed i servizi di monitoraggio, verifica della funzionalità ed ottimizzazione di impianti di gestione anaerobica di vario tipo, come dettagliato nella scheda Servizi di Consulenza.

Queste dotazioni consentono di effettuare le analisi e determinazioni fondamentali per il processo di gestione anaerobica, tra le quali, a titolo di esempio:

- *Caratterizzazione delle matrici in alimento e digestati*: solidi (totali, volatili, sospesi per essiccazione e liofilizzazione), COD, VFA singoli e totali, TKN, ammoniaca, fosfati, alcalinità, fibre, anioni, ...
- *Composizione del Biogas*: CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S , O_2
- *Misura delle rese di biodegradazione*: BMP, BHP, BOD, RBCOD, ...
- *Misura dei ratei di biodegradazione anaerobica e aerobica*: idrolisi, acidogenesi, acetogenesi e metanogenesi, nitrosazione/nitritazione, denitrificazione, Anammox, ...



Le dotazioni strumentali e pilota comprendono:

- Stufa, muffola e liofilizzatore (ScanVac CoolSafe 55/110);
- Titolatore automatico per FOS/TAC Hach-Lange;
- Misuratore portatile Hach-Lange HQ40d con sonde per la determinazione di pH, conducibilità, ossigeno disciolto e potenziale di ossidoriduzione (ORP-redox);
- Gascromatografo DANI Master GC per la determinazione qualitativa e quantitativa degli acidi grassi volatili (VFA);
- Gascromatografo DANI Master GC, misuratore portatile PDG2-biogas e gascromatografo da ban-



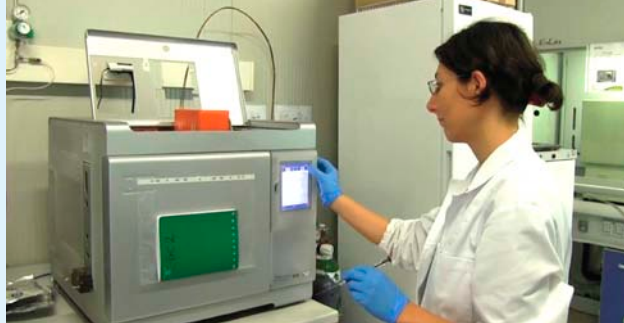


co MICROGC 3000 Agilent Technologies per la determinazione della composizione del biogas;

- Camera di flusso St. Croix Sensory, Inc. (conforme alle norme US EPA) per il campionamento di gas emessi da vasche e serbatoi, campionatore per gas St. Croix Sensory, Inc. e sacche per il campionamento gas;
- Cromatografo ionico Dionex ICS-1100 Thermo Scientific per la misura dei principali anioni;
- Sistema manometrico per la misura del BOD (Biochemical Oxygen Demand) WTW OxiTop;
- Sistema di misura titrimetrico del COD (Chemical Oxygen Demand) totale;
- Spettrofotometro UV/vis Hach-Lange DR 6000 per la determinazione del COD solubile, delle forme azotate (azoto ammoniacale, nitroso, nitrico) e per l'implementazione di altre metodiche analiti-

che di tipo colorimetrico, convenzionali o in kit (ad esempio solfati e fosfati);

- Mineralizzatore e distillatore in corrente di vapore Velp UDK139 per la determinazione del TKN (azoto totale Kjeldhal);
- Setacciatori (Giuliani IG/3) e mulini (IKA MF10, RETSCH SM100) per la triturazione ed omogeneizzazione delle matrici da analizzare e per la loro caratterizzazione granulometrica;
- Piastre riscaldanti FibreBag Gerhardt per l'estrazione e la caratterizzazione delle fibre (cellulosa, emicellulosa, lignina) secondo la metodica Van Soest.
- Sistemi di misura in batch del potenziale di biometanazione (BMP), di produzione potenziale di idrogeno (BHP), velocità di idrolisi (SHA), acetogenesi (SAcA), metanogenesi (SMA) ed attività specifica batteri anammox) per via volumetrica (AMPTS –



Bioprocess Control) e manometrica (WTW Oxi-Top), a temperature comprese tra 35°C e 55 °C.

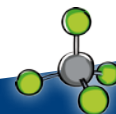
- Strumento "MARTINA", utilizzabile per il monitoraggio della attività batterica (aerobica, anossica ed anaerobica) e di microalghe sia per via respirometrica sia per titolazione a set-point;
- Due bioreattori UIT GmbH ($V = 15\text{ L}$) per prove di degradazione anaerobica in continuo, a temperature comprese tra 35°C e 55 °C;
- Due reattori a sequenza di fase ($V = 3\text{ L}$ e 7 L) per lo studio e l'applicazione di processi biologici avanzati (Anammox, Nitritazione parziale - PARNIT e Nitrificazione arrestata a nitrito - Deno2);
- Reattore MBR ($V = 4\text{--}7\text{ L}$) per lo studio e l'applicazione di processi aerobici ed anaerobici (degradazione COD, PARNIT/Anammox, *dark fermentation*).

- Termoreattore in pressione ($V = 6,2\text{ L}$) per lo studio di pretrattamenti termici e termochimici in batch (a temperature comprese tra 21°C e 170°C).

Un elenco completo di servizi analitici offerto dal laboratorio A. Rozzi si trova al seguente indirizzo:

www.fabbricabioenergia.polimi.it/images/docs/tariffario.pdf

Per ulteriori e specifiche analisi, il laboratorio "A.Rozzi" si avvale della collaborazione con il laboratorio LIA del DICA (www.dica.polimi.it/laboratori/labamb/), ad esempio per la determinazione di micro e macro elementi nei digestati tramite ICP-MS (Spettrometria di massa al Plasma Induttivamente Accoppiato).



Focus BMP

Cos'è il BMP

È l'acronimo inglese di Biochemical Methane Potential (Produzione potenziale di metano) ed è una misura sperimentale condotta in laboratorio, che fornisce la produzione di metano ottenibile in condizioni controllate e definite (T° , alcalinità, nutrienti, ecc.). Durante la prova, della durata di diversi giorni in funzione della velocità con cui viene degradato il campione di prova, si misura nel tempo la produzione di metano



generata dalla biodegradazione del campione a contatto con l'inoculo batterico. La produzione si rileva con metodi basati su misure di pressione generata all'interno di un reattore chiuso o di volume prodotto. Il valore ottenuto esprime dunque la quantità di metano che può essere prodotta dall'unità di massa della matrice (ad esempio in termini di $m^3/kgSV$), in condizioni di digestione ottimali.

È una misura delicata che, per dare risultati affidabili, richiede una serie di controlli e tarature, un protocollo preciso, la presenza di replicati oltre che, in ragione della tipologia di campione, un'accurata procedura di preparazione del campione.

A cosa serve?

Fornisce informazioni fondamentali per il dimensionamento, collaudo e conduzione degli impianti a biogas, quali:

- la quantità di metano estraibile dalla matrice organica in digestione;
- la rapidità con cui la matrice viene convertita in metano;
- Il potenziale residuo di produzione del digestato e quindi la resa effettiva ottenuta da un impianto;
- effetti inibenti o positivi dovuti a co-digestione, salinità, T ($^\circ C$), aggiunta micro e macronutrienti, ecc.

La Ricerca

La ricerca è una attività fondamentale di Fabbrica della Bioenergia e la ragione del suo essere incardinata all'interno del Politecnico di Milano.

Viene declinata su due piani diversi:

- ricerca applicata su temi innovativi di ampio interesse e aventi ricadute generali, finanziata attraverso i fondi del progetto stesso ed altri bandi competitivi;
- ricerca volta a risolvere problemi di interesse specifico, portati all'attenzione della Fabbrica della Bioenergia da soggetti privati e pubblici e sviluppata attraverso la stipula di contratti di ricerca.

La ricerca innovativa è orientata a migliorare la sostenibilità e le rese del processo (incremento della biodegradabilità, ottimizzazione e controllo del processo, impiego di microalghe e trattamento del digestato) e a sviluppare nuove opportunità di recupero integrato di materie ed energia da scarichi e residui di industrie agroalimentari.

Nelle seguenti schede sono sinteticamente riportati i risultati conseguiti nelle principali aree di ricerca applicata. A queste si affiancano la misura e lo studio dei fattori di emissione del protossido di azoto (N_2O , gas climalterante), la separazione solido/liquido, la co-digestione.

Ciò in un quadro di evoluzione e sviluppo futuro della digestione anaerobica che vede sempre più necessario perseguire obiettivi di innovazione e ottimizzazione, tanto in considerazione dell'evoluzione e riduzione futura degli incentivi, che di disponibilità e possibilità di uso di biomasse diverse.

Lo sviluppo della chimica verde e del concetto di bioraffineria, di sempre maggior peso nell'ambito dei programmi dell'Unione Europea, apre da una parte nuove possibilità di applicazione della digestione anaerobica e di sfruttamento del biogas e del digestato, ma pone anche interrogativi e sfide rispetto all'integrazione con le altre filiere ed alla dimensione impiantistica sostenibile. Tra i risultati più significativi delle attività di ricerca innovativa si cita la dimostrazione dell'applicabilità del processo Anammox (rimozione per via completamente autotrofa dell'azoto) al trattamento della frazione liquida di digestato agrozootecnico, ottenuta nell'ambito del progetto BRAIN. Tale ricerca prosegue ora nell'ambito del trattamento di digestati da processi di digestione della frazione organica dei rifiuti e di reflui industriali. Al termine dell'opuscolo è riportato l'elenco delle oltre 40 pubblicazioni con i risultati delle ricerche condotte negli anni 2011-2015.

Nei 5 anni di attività di Fabbrica sono state completate su questi temi di ricerca 2 tesi di dottorato, 9 tesi di laurea magistrale e 12 tesi di laurea.



BMP: la misura della produzione potenziale di metano

Per il corretto dimensionamento e la gestione degli impianti di digestione anaerobica è essenziale conoscere il potenziale di produzione di metano degli alimenti. Per ottenere misure di BMP accurate è indispensabile impiegare procedure affidabili, ripetibili e riproducibili, che costituiscano un riferimento il più possibile condiviso e robusto.

Fabbrica della Bioenergia è da sempre attiva in questo campo ed ha coordinato nel 2012 il primo circuito interlaboratorio in ambito italiano su questa misura, a cui hanno aderito 19 laboratori pubblici e privati. Attualmente sta promuovendo la messa a punto di nuova norma italiana, in collaborazione con CTI e CRPA.

L'attività di ricerca è svolta principalmente presso il laboratorio "A.Rozzi", in sinergia con le determinazioni che vengono richieste dall'esterno come attività di servizio e con quelle che vengono effettuate nell'ambito degli altri progetti di ricerca di Fabbrica della Bioenergia. Dispone ad oggi di misure su oltre 200 matrici organiche diverse.

Referenti: Francesca Malpei, Isabella Porqueddu, Elena Ficara

Progetto "Ottimizzazione misura BMP"

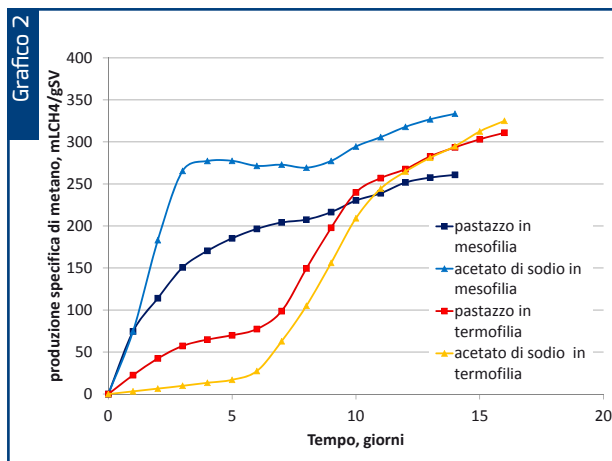
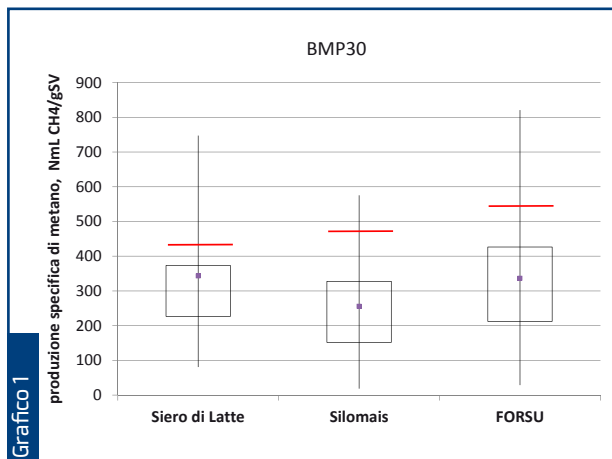
Durata: in corso

Finanziamento: Fabbrica della Bioenergia

Obiettivi: ridurre i margini di incertezza legati alla misura del BMP ed uniformarne l'analisi di laboratorio. Approfondire alcune tematiche come l'influenza della temperatura di processo e della tipologia dell'inoculo sui risultati della misura.

Strumentazione: presso il laboratorio A. Rozzi sono presenti diverse strumentazioni per l'analisi in batch della produzione del metano. In particolare possono essere svolte contemporaneamente 45 misure di tipo volumetrico e 24 misure di tipo manometrico, a diverse temperature (tra 35 e 55°C).

Risultati: Dai confronti delle misure di BMP effettuate in mesofilia e termofila emergono differenze di cinetica e, in alcuni casi, di valore finale. Le motivazioni di queste differenze sono ora allo studio, allo scopo di discriminare l'effetto dell'inoculo da altre possibili cause. Dai confronti di BMP misurati su diversi inoculi è emersa la correlazione con l'attività enzimatica, principalmente xilanasica, e più rapide cinetiche di processo da parte di un inoculo derivante da un digestore a servizio di un impianto di depurazione civile, rispetto a inoculi di altra provenienza (digesta-



to di origine agricola, fango granulare prelevato da UASB). Infine, gli esiti del ring test hanno mostrato elevate deviazioni dei valori ottenuti da vari laboratori, evidenziando quindi l'opportunità di una maggior definizione e standardizzazione del metodo.

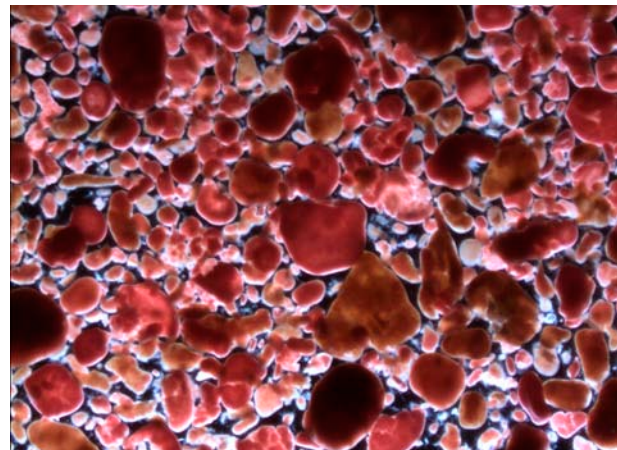
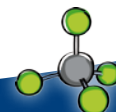


Grafico 1: Ring-test: mediana, valori estremi, 25° e 75° percentile delle misure dei 19 laboratori sulle matrici siero di latte, mais insilato e frazione organica dei rifiuti urbani (FORSU). In rosso il valore corrispondente ad una degradazione del 100%.

Grafico 2: Comparazione tra processo mesofilo e termofilo.



Trattamenti per aumentare la degradabilità anaerobica

La produzione di biogas dei digestori anaerobici dipende, oltre che dalla quantità di sostanza organica alimentata, anche dalla degradabilità di quest'ultima, cioè dalla sua 'appetibilità' per i microrganismi. La degradabilità dipende dalla struttura chimico-fisica della sostanza organica e, per gli scarti agro-zootecnici, è strettamente legata alla componente lignocellulosica. La sua struttura infatti offre una resistenza alla degradazione, che risulta lenta ed incompleta.

Nell'ottica dell'ottimizzazione delle prestazioni dei digestori, Fabbrica della Bioenergia sperimenta da tempo tecniche di pretrattamento (di tipo chimico-fisico ed enzimatico) di matrici quali paglia e sorgo, per accelerare e rendere più completa la loro degradazione. La strumentazione disponibile presso Fabbrica della Bioenergia è inoltre in grado di verificare l'efficacia di processi di pretrattamento commerciali o in fase di sviluppo. È stata su questo ambito sviluppata una tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Ambientale e delle Infrastrutture XXV ciclo (2011-2013), Politecnico di Milano (Dr. Cecilia Sambusiti), che ha quantificato l'incremento di produzione di

biogas ottenibile, con risultati molto promettenti (+67%, termo/alcalino su paglia; +55%, enzimatico su sorgo).

Inoltre, sono attive collaborazioni di ricerca con:

- Università statale di Milano (DEFENS), Prof.ssa Manuela Rollini, sulla selezione di ceppi funginei in grado di produrre efficaci enzimi idrolitici
- INRA – Narbonne (F), Prof.ssa Hélène Carrère, sui pretrattamenti meccanici e chimico-fisici.

Referenti: Elena Ficara, Francesca Malpei

Progetto "Biorefill": Biorefinery Integrated Lombardy Labs

Durata: 01/09/2013-31/08/2015

Finanziamento: Fondazione Cariplo, Regione Lombardia

Obiettivi: Nell'ambito dell'articolato progetto Biorefill, Fabbrica della Bioenergia si è focalizzata sulla valutazione dei pretrattamenti atti ad aumentare il BMP (Biochemical Methane Potential) da scarti ligno-cellulosici (paglia, stocchi) ottimizzando i risultati già ottenuti in precedenza. Obiettivo del progetto è stata anche la formazione di un giovane ricercatore, l'ing. Tommaso Lotti, che ha confrontato per via sperimentale e modellistica gli effetti dell'applicazione di un trattamento termico-alcalino-enzimatico sull'alimento o sul digestato, con ricircolo, conside-

rando sia la specificità della biomassa, che il destino previsto per il digestato a valle della fase di biometanizzazione.

Progetto: LIDIA - Cluster Nazionale Chimica Verde

Obbiettivi: Nell'ambito dell'ampio progetto LIDIA, il gruppo di ricerca Fabbrica della Bioenergia si occupa di studiare i pre-trattamenti dei coprodotti residuali dei processi di valorizzazione delle matrici organiche di seconda generazione per massimizzarne la valorizzazione energetica mediante digestione anaerobica.

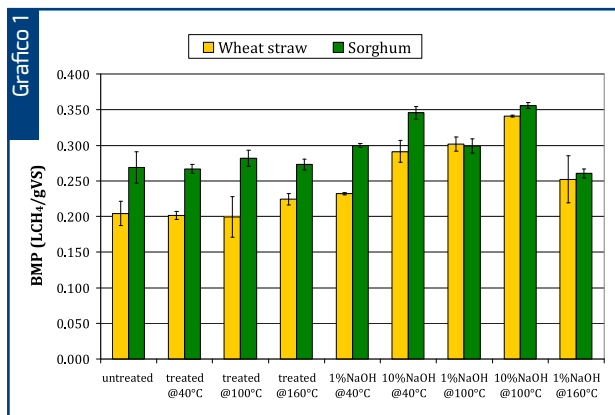
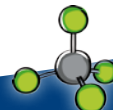


Grafico 1: Produzione di metano da paglia (wheat straw) e sorgo (sorghum) dopo vari trattamenti.

Durata: 9/2015 – 8/2016

Finanziamento: MIUR, PON, UE

Strumentazione: Sono disponibili reattori in batch per i trattamenti chimici, un sistema di triturazione per la riduzione dimensionale delle matrici fibrose, un reattore in pressione per il trattamento termico fino a 170°C, strumenti per la misura della degradabilità anaerobica per la valutazione dell'efficacia dei trattamenti, reattori anaerobici in semi-batch per testare l'effetto dei trattamenti in condizioni operative prossime a quelle dei digestori a piena scala.



Applicabilità del Processo Anammox

La scoperta dei batteri anammox (dall'inglese ANaerobic AMMonium OXidation) ha rivoluzionato nell'ultimo decennio la comprensione del ciclo dell'azoto. Questi batteri anaerobici catalizzano l'ossidazione dell'ammonio ad azoto molecolare, attraverso la riduzione del nitrito. Sfruttando il metabolismo dei batteri ammonio ossidanti e dei batteri anammox, entrambi autotrofi, si rimuove l'azoto dimezzando il fabbisogno di ossigeno, annullando la richiesta di BOD e riducendo la produzione di fango di supero. Questo processo risulta quindi più conveniente rispetto ai metodi convenzionali di rimozione dell'azoto (nitrificazione e denitrificazione), in particolare per il trattamento di reflui concentrati in azoto e con basso rapporto BOD/N, come nel caso dei digestati civili o industriali. Questo tema è stato sviluppato inizialmente nel progetto BRAIN, coordinato dalla prof.ssa Francesca Malpei e svolto in collaborazione con l'Università degli Studi di Firenze (prof. Claudio Lubello), portando alla realizzazione di una tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Ambientale e delle Infrastrutture XXIV ciclo (2009-2011), Politecnico di Milano (Dr. Davide Scaglione). Prosegue ora con il finanziamento Fabbrica della Bioenergia e di altri progetti. Sono attive collaborazioni nazionali (Publiacqua spa,

Dr. Ing. Simone Caffaz; Università degli Studi di Milano Bicocca, prof. Giuseppina Bestetti) ed internazionali con l'Università di Girona e il LEQUIA - prof. Jesus Colprim) e la Delft University of Technology (prof. Mark Van Loosdrecht).

Referenti: Davide Scaglione, Tommaso Lotti, Elena Ficara, Francesca Malpei

Progetto "BRAIN" *Biotechnologie per la Riduzione dell'Azoto dai digestati con processi **IN**novativi e per promuovere la sostenibilità economica ed ambientale della produzione del biogas*

Durata: 01/07/2010 - 30/06/2013

Finanziamento: MIPAAF (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali)

Obiettivi: Il progetto aveva l'obiettivo di testare l'applicabilità di processi biologici avanzati per rimozione dell'azoto dalla frazione liquida del digestato di reflui zootecnici. In particolare i processi testati sono stati la nitrificazione-denitrificazione (DENO2) e il processo di nitrificazione parziale + Anammox.

Strumentazione: Sono state effettuate prove con reattori da 3 e 5 litri a scala laboratorio SBR (a sequenza di fasi) ed MBR (a membrana) e una sperimentazione a scala pilota con un impianto pilota da 800L e un reattore Anammox da 150L.

Risultati: Oltre 2 anni di prove in continuo hanno dimostrato l'applicabilità del processo DENO2 e del processo di nitrificazione parziale + Anammox, anche senza diluizioni del refluo, con rimozioni dell'ammonio superiori al 90%.

La misura della trattabilità con Anammox di vari reflui è disponibile su richiesta.

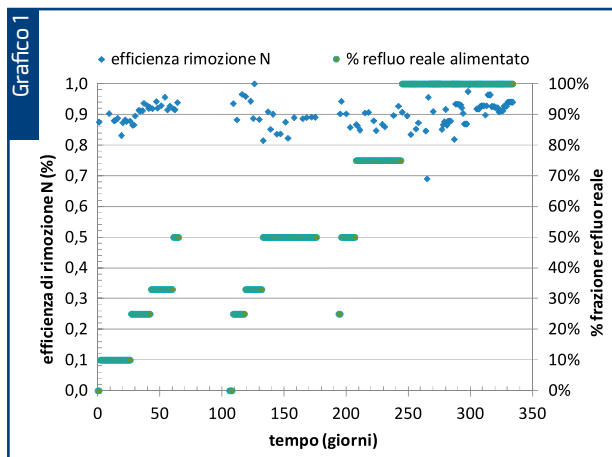


Grafico 1: Rimozione dell'azoto da frazione liquida digestato agro-zootecnico con biomassa Anammox (progetto BRAIN)

Progetto "City – Wise - Net"

Durata: 13/12/2013 – 30/9/2015

Finanziamento: Regione Lombardia POR-FESR 2007-2013 settore Smart Cities and Communities

Obiettivi: Obiettivo generale di tale progetto è l'ottimizzazione del ciclo di trattamento dei rifiuti (acque reflue, fanghi e FORSU) per il recupero di energia e materia con produzione di: energia elettrica, biometano, fertilizzanti, bioplastiche. Nello specifico il gruppo di ricerca Fabbrica aveva l'obiettivo di valutare la trattabilità con biomassa anammox della frazione liquida del digestato da sola FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani) o in co-digestione con fanghi di depurazione.

Strumentazione: Vengono utilizzati reattori funzionanti in modalità batch e operanti in parallelo con la misura automatica della pressione e reattori a scala di laboratorio, con funzionamento in modalità semibatch o continua (SBR).

Risultati: Le prove di attività anammox a breve termine svolte hanno fornito risultati interessanti ed incoraggianti, in quanto l'attività massima, ridotta a causa dell'alta salinità, risulta stabile e l'azoto viene rimosso quasi completamente. Le attività specifiche di rimozione dell'azoto misurate in batch, senza acclimatazione, sono pari a circa 0.10 kgN/kgVSS/d , corrispondenti ad un rateo volumetrico pari a $0.8 \text{ kgN/m}^3/\text{d}$, nell'ipotesi di un reattore con una concentrazione di biomassa pari a 8 kgVSS/m^3 .



Produrre alghe dal digestato

Nell'ambito dell'identificazione di fonti rinnovabili per la produzione di energia, le microalghe presentano caratteristiche particolarmente interessanti: sfruttano l'energia solare, crescono rapidamente sfruttando acque di recupero ed effluenti gassosi da processi di combustione e sono coltivabili in aree non adatte alle colture agricole ed energetiche tradizionali, con cui non entrano in competizione.

Presso Fabbrica della Bioenergia è allo studio l'integrazione della coltivazione delle alghe all'interno di cicli depurativi e di produzione di biogas, sfruttando le numerose e vantaggiose sinergie processistiche ed impiantistiche esistenti. L'attività di ricerca è condotta presso impianti di depurazione lombardi (impianto di depurazione delle acque reflue di Bresso - Amiacque s.r.l. e di Carimate - Sud Seveso Servizi SpA) e digestori agricoli, in sinergia con il DICA Politecnico di Milano, l'Istituto Sperimentale Italiano "Lazzaro Spallanzani", l'Università degli Studi di Milano Bicocca (DISAT, Dr. Valeria Mezzanotte), finanziatori esterni privati e progetti finanziati.

Referente: Elena Ficara

Progetto "Produzione di energia da colture algali all'interno del ciclo di trattamento di depurazione delle acque reflue"

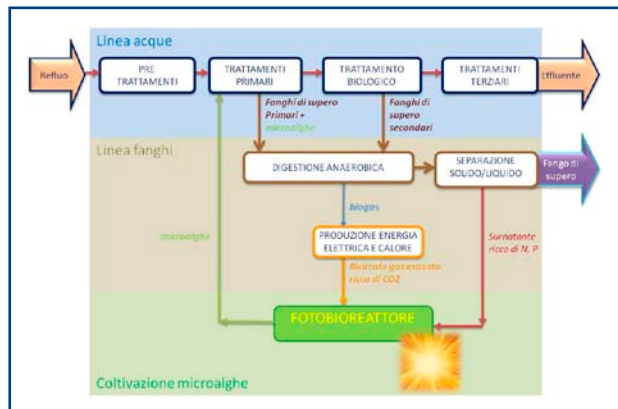
Durata: ottobre 2011 - in corso

Finanziamento: Seam Engineering s.r.l (CO) e Fabbrica della Bioenergia

Obiettivi: Il progetto ha l'obiettivo di verificare la vantaggioosità di integrare la coltivazione di microalghe all'interno dello schema classico degli impianti di depurazione civili, allo scopo di produrre biomassa algale, sfruttando i flussi d'acqua ricchi di nutrienti e i gas di scarico ricchi di CO₂ già presenti in impianto. Le microalghe prodotte potrebbero essere convertite a metano nei digestori esistenti, normalmente sottocaricati, migliorando così il bilancio energetico del trattamento depurativo delle acque.

Strumentazione: La ricerca è stata condotta sfruttando fotoreattori alla scala laboratorio ed attualmente prosegue avvalendosi di un fotoreattore pilota da 90 litri, ubicato presso il depuratore di Bresso (Amiaque S.r.l.) posto all'aperto, alimentato da surnatante di digestione anaerobica e da off-gas dalla turbina a biogas.

Risultati: I ceppi algali che sono risultati favoriti sono *Scenedesmus obliquus* e *Chlorella spp.* Queste microalghe crescono sul surnatante prodotto dalla disidratazione del fango di depurazione rimuovendo l'azoto ammoniacale con resa del 77-82% e con produttività pari a 6-11 gSS/gN. La loro degradabilità



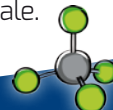
anaerobica appare simile a quella dei fanghi di depurazione. Attualmente la ricerca prosegue utilizzando un fotoreattore pilota posto all'aperto per verificare la produttività algale in condizioni prossime a quelle reali.

Progetto "MicroGate: Use of MICROalgae to mitiGATE nitrogen pollution from agricultural wastewaters"

Durata: 2015-2016

Finanziamento: Fondazione Cariplo (Bando Ricerca Scientifica, Ricerca sull'inquinamento dell'acqua e per una corretta gestione della risorsa idrica)

Obiettivi: Il progetto mira alla verifica della fattibilità dell'utilizzo delle microalghe per rimuovere l'azoto ammoniacale da reflui di origine agrozootecnica, come soluzione tecnicamente semplice al problema dell'inquinamento da nitrati delle acque superficiali e sotterranee. Lo studio si focalizza su reflui provenienti da impianti a biogas sui quali saranno ottimizzati metodi di separazione solido/liquido per ottenere frazioni adeguatamente chiarificate e idonee al passaggio di luce. Su tali reflui verranno coltivati in laboratorio inoculi microalgali e la comunità fitoplanctonica e microbiologica verrà caratterizzata dal punto di vista biologico, per velocità di crescita e stato metabolico. Verrà quindi stimata la resa depurativa relativa ai nutrienti. Infine, sulla base dei dati sperimentali, i ceppi più idonei al trattamento verranno posti in coltura in una vasca prototipale all'aperto valutando la resa di processo e la produzione di biomassa algale.





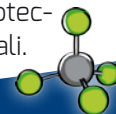
Dark Fermentation: produrre idrogeno da sottoprodotti e scarti

L'idrogeno è impiegato in molti processi chimici e produttivi ed è ampiamente riconosciuto come un elemento strategico, sia come "energy storage medium", che come combustibile per veicoli. L'interesse per l'idrogeno è stato manifestato dall'Europa con la Fuel Cells & Hydrogen Joint Technology Initiative, lanciata nel 2008 e riproposta nel 2013 e da vari altri paesi, quali il Giappone. È possibile produrlo attraverso diverse tecnologie, tra le quali numerose vie biochimiche, di particolare importanza per una sua produzione "Green", a partire da fonti non rinnovabili. La dark fermentation è operata da alcuni dei batteri già presenti nei convenzionali digestori anaerobici e, pur avendo rese in H_2 più limitate rispetto ad altre vie, ha per contro il vantaggio di essere inseribile in una filiera di trattamento molto ben conosciuta e di consentire - ove l'idrogeno non venga impiegato tal quale - la produzione di una miscela di H_2 , CH_4 e CO_2 (*biohythane*), che migliora la combustione determinando un incremento della resa energetica, rispetto al biogas tradizionale ($CH_4 + CO_2$).



L'impianto pilota per la produzione di $bioH_2$

Presso Fabbrica della Bionergia il processo di *dark fermentation* è allo studio dal 2012, applicato a substrati e sottoprodotti alimentari a base prevalente di carboidrati. È stato messo a punto un metodo batch di misura del potenziale di produzione di idrogeno (BHP, Biochemical Hydrogen Potential), utile per studi preliminari e comparativi. L'attività di ricerca è condotta presso il Laboratorio "A. Rozzi" e presso industrie alimentari, in sinergia con il DICA Politecnico di Milano, l'Università Cattolica di Piacenza e Cremona (Istituto di Microbiologia e Centro Ricerche Biotecnologiche, Dr. Fabrizio Cappa) e partner industriali.



Referenti: Francesca Malpei, Aronne Teli

Progetto “Sviluppo di un metodo batch di valutazione del BHP: Biochemical Hydrogen Potential”

Durata: 2012 - 2015

Finanziamento: Fabbrica della Bionergia

Obiettivi: Sviluppare un metodo batch di valutazione della produzione potenziale di idrogeno ottenibile, in funzione dell'inoculo-ceppo batterico e dell'alimento. Obiettivi principali sono la definizione della procedura di pre-trattamento termico di campioni di digestato (selezione biomassa DF) e la definizione del protocollo di prova.

Strumentazione: Dispositivi volumetrici per la determinazione di BMP e BHP.

Risultati: Sono state messe a punto la procedura di pre-trattamento termico di digestati (90°C, 30 min)



ed il protocollo di prova, che impiega un composto tampone (MES) in grado di limitare la variazione di pH durante il corso della prova, senza inibire il processo.

Progetto “Energia e componenti di pregio da siero di latte (ECO-SI)”

Durata: 10/ 2011 – 03/2015

Finanziamento: MIUR/ Regione Lombardia e Fabbrica della Bioenergia

Obiettivi: Il progetto ha messo a punto un impianto prototipale che integra il recupero di energia (mediante *dark fermentation*) e di componenti di pregio (siero proteico), massimizzando redditività economica e sostenibilità ambientale. La *dark fermentation* è realizzata in continuo in un bioreattore anaerobi-

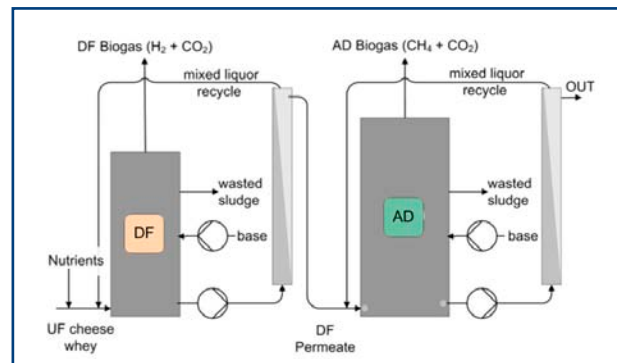


Grafico 1

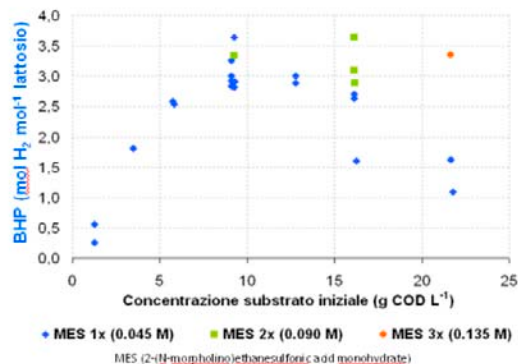


Grafico 1: Rese produzione in prove batch

Grafico 2

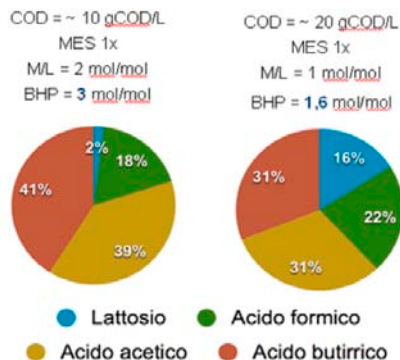
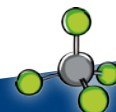


Grafico 2: Prodotti di reazione in prove batch

co pilota ($V=2 \text{ m}^3$), seguito da un secondo AnMBR di produzione di metano ($V=3 \text{ m}^3$). Partner industriali del progetto sono SEAM Engineering Srl, Produttori Latte Associati Cremona - Società Cooperativa Agricola (P.L.A.C.), Sepra S.r.l., Simar Costruzioni Meccaniche Srl, I.N.T. Srl.

Strumentazione: Reattori batch per determinazione BHP, pilota MBR DF a scala di laboratorio, impianto prototipale DF+DA presso un caseificio.

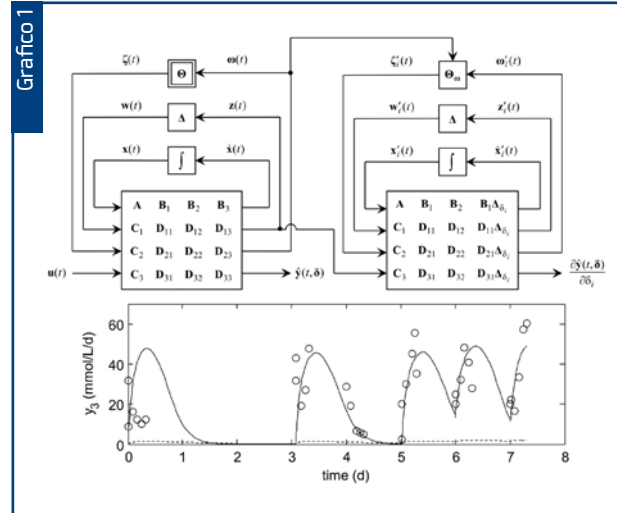
Risultati: I risultati batch mostrano la dipendenza della produzione specifica dalla concentrazione di COD iniziale, con valori massimi pari a $3,6 \text{ molH}_2 \text{ mol}^{-1}$ lattosio, prossimi alla produzione teorica di $4 \text{ molH}_2 \text{ mol}^{-1}$ lattosio che si otterrebbe attraverso la fermentazione del lattosio con produzione di soli acido butirrico ed acido acetico, quali prodotti di reazione. Nelle prove laboratorio in modalità continua è stato possibile produrre H₂ in maniera stabile e continuativa, con tenori del 35% nel gas. I risultati fino ad ora ottenuti alla scala pilota mostrano rendimenti di conversione del COD del 98% circa.



Modellistica e controllo: laboratorio informatico

L'attività di ricerca nel campo della modellistica e del controllo del processo di produzione di biogas si indirizza lungo tre linee principali: l'utilizzo di tecniche e strumenti di modellistica e simulazione object-oriented, l'identificazione parametrica di modelli semplificati per il monitoraggio e il controllo e lo sviluppo di tecniche di Model Predictive Control (MPC) per l'ottimizzazione della produzione di biogas. Grazie all'utilizzo del linguaggio di modellistica object-oriented Modelica, e al suo interprete Dymola, si è potuto affrontare agevolmente la modellistica di un processo assai complesso quale quello di digestione anaerobica. Si è pertanto inizialmente implementato quello che è ritenuto il modello più completo del processo di digestione anaerobica, cioè il modello ADM1 che, grazie alle caratteristiche dell'approccio di modellazione object-oriented, può essere facilmente interfacciato con una descrizione accurata degli apparati ausiliari, di misura, attuazione e controllo, di un impianto di produzione di biogas.

A causa della loro complessità però, i modelli più accurati e dettagliati del processo di digestione ana-



erobica non possono essere utilizzati on-line per monitoraggio e controllo: per questi scopi è necessario in generale adottare modelli di ordine ridotto. In questa linea di ricerca si è quindi dapprima elaborato una modifica del ben noto modello AMOCO, al fine di ampliarne il campo di applicabilità, e successivamente se ne è derivata una formulazione di tipo lineare frazionario (LFT) mediante strumenti di manipolazione simbolica, allo scopo di effettuare in modo più accurato ed efficiente l'identificazione dei parametri incerti. L'efficacia della tecnica di identificazione LFT è stata validata con successo sia in riferimento a dati

generati dal modello ADM1, sia in riferimento a dati sperimentali, ricavati da un digestore agricolo a piena scala e da un impianto di laboratorio alimentato a siero di latte ultra-filtrato.

Attualmente l'attività di ricerca si sta concentrando sullo sviluppo e l'implementazione del controllo MPC, a partire dalla stessa formulazione LFT del processo utilizzata per l'identificazione. Si tratta di un approccio assolutamente innovativo che ha già dato prova di notevole efficienza dal punto di vista numerico in casi simulati. I prossimi sviluppi prevedono l'applicazione della tecnica al controllo di digestori a scala di laboratorio, recentemente acquisiti presso il laboratorio della Fabbrica della Bioenergia.

Referente: Gianni Ferretti



I servizi di consulenza

Fabbrica della Bioenergia offre attraverso il Polo di Cremona consulenze e servizi di tipo tecnico ed economico-gestionale a supporto di enti pubblici, banche, aziende agricole, industrie, costruttori e gestori di impianti di digestione anaerobica, aziende municipalizzate e del servizio idrico integrato, associazioni di categoria/consorzi ed enti di formazione, riconducibili a titolo esemplificativo alle seguenti tipologie:

- Audit sul processo biologico
- Bilanci energetici ed ambientali, LCA
- Caratterizzazione e trattabilità del digestato
- Caratterizzazione di sottoprodotti e formulazione
- Idoneità e digeribilità di matrici e sottoprodotti
- Messa a punto di modelli di controllo del processo
- Ottimizzazione del processo e della sua efficienza
- Perizie tecniche
- Ricerche di mercato e scouting tecnologico
- Studi di fattibilità tecnico-economica inerenti le realizzazioni e l'adeguamento di impianti
- Supporto all'avvio e alla gestione ordinaria
- Supporto in fase autorizzativa e di collaudo
- Verifiche delle rese energetiche

Per le aziende agricole che hanno impianti di digestione anaerobica è inoltre disponibile un pacchetto annuale di **SUPPORTO ALLA CONDUZIONE**, che nella forma base prevede: audit iniziale sull'impianto e valutazione delle condizioni operative, del bilancio di massa ed energetico e dell'efficienza delle varie parti dell'impianto, indicazione degli adeguamenti che, ove necessario, possano aumentare l'efficienza dell'impianto o risolvere problematiche riscontrate, monitoraggio analitico periodico, con aggiornamento delle valutazioni di cui sopra. Tale consulenza viene inoltre sempre personalizzata, sulla base del tipo di impianto e delle esigenze del conduttore.

Referenti delle attività di servizio sono:

Analisi di laboratorio:

laboratorio@fabbricabioenergia.it

Consulenze tecniche di processo ed impiantistiche:

Francesca Malpei (francesca.malpei@polimi.it)
ed Elena Ficara (elena.ficara@polimi.it)

Consulenze autorizzative, economiche, tecnico-normative:

info@fabbricadellabionergia.it

Osservatorio

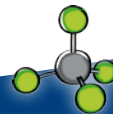
Le attività dell'Osservatorio sono organizzate e condotte dal Dipartimento di Ingegneria Gestionale, allo scopo di recepire i bisogni del territorio, monitorare lo sviluppo del settore e proporre azioni formative mirate ai molteplici soggetti interessati a questo comparto. L'Osservatorio, rivolto ai soggetti pubblici e privati, ha riunito i diversi portatori di interessi ad un unico punto di confronto - il Gruppo degli Esperti, monitorando gli andamenti del settore ed i nuovi trend tecnologici ed economici emergenti, nonché raccogliendo e rendendo disponibili tutte le conoscenze ed esperienze maturate nei diversi ambiti di Fabbrica della Bioenergia, mediante report e percorsi formativi dedicati.

L'attività dell'Osservatorio si è articolata attraverso l'organizzazione di workshops di esperti provenienti da pubbliche istituzioni di tutti i livelli, associazioni di categoria, gruppi di rappresentanza e dal mondo dell'istruzione e della ricerca. La creazione di questi gruppi diventa utile per raccogliere in tempi brevi le necessità emergenti dagli stakeholders coinvolti nel settore delle fonti rinnovabili da biomasse. I risultati, resi pubblici attraverso convegni e pubblicazioni, sono anche stati di indirizzo per le linee strategiche di ricerca e servizio di Fabbrica della Bioenergia.



Sono state sviluppate anche attività di Advisory board e Networking, studi di settori, formazione, fiere ed eventi.

L'Osservatorio è stato quindi il punto di contatto istituzionale tra le attività condotte ed i diversi stakeholder del comparto delle bioenergie e ha permesso di identificare e affrontare le diverse criticità del settore e di attivare delle soluzioni anche in termini di formazione tecnica professionale, di libera fruizione delle aziende locali, seminari tecnici e divulgativi e convegni.



Attività di formazione e divulgazione

Queste attività sono state e sono declinate attraverso:

- **convegni tecnico-scientifici;**
- **corsi di formazione**, organizzati e costruiti ad hoc in funzione delle necessità oppure erogati secondo un calendario annuale
- **pubblicazioni divulgative**, complete ed esaurienti, su temi di larga generalità

Diverse attività sono state realizzate in collaborazione con Servimpresa di Camera di Commercio di Cremona e le Associazioni di Categoria del settore agricolo o con il supporto di fondi del Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013.



Convegni tecnico-scientifici

Sul lato dell'informazione e comunicazione del progetto, numerose sono state le attività svolte per divulgare e diffonderne i risultati e i benefici. Tra queste attività si ricordano i seguenti convegni e seminari:

- **26 febbraio 2015 - Workshop "Integrazione della coltivazione delle microalghe negli impianti a biogas"** - Workshop organizzato all'interno di Bio-Energy Italy, Cremona
- **12 dicembre 2014 - Seminario "Energia in agricoltura: le novità normative e le scelte possibili"** - Si è valutato l'eventuale impatto del Decreto Spalma Incentivi per le fonti rinnovabili non fotovoltaiche sulle installazioni bioenergetiche esistenti. Si sono analizzate le prospettive economiche di altre scelte energetiche rinnovabili, quali i biocombustibili, il biometano, i piccoli impianti in autoconsumo e la produzione di calore
- **7 Aprile 2014 - Seminario "Sicurezza e impianti biogas"** - Obiettivo del Seminario è stato quello di trattare gli aspetti di sicurezza degli impianti di digestione anaerobica, con particolare riferimento



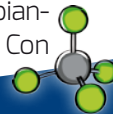
ai rischi legati al biogas ed alla sua gestione. Sono stati analizzati gli aspetti di base della valutazione della sicurezza in ambito industriale, i fattori di rischio in un impianto di digestione anaerobica e i risvolti normativi ed autorizzativi, presentando casi di specie ed esperienze dirette.

- **14 Febbraio 2014 - Convegno su reflui zootecnici, digestato e direttiva nitrati “Quali soluzioni al problema nitrati”** - Partendo dalla normativa sui nitrati e dalla sua applicazione nel territorio regionale, dal considerevole eccesso di azoto e dalla conseguente non conformità alla Direttiva Nitrati, il convegno si è proposto l'obiettivo di condividere prospettive macroeconomiche e tecnologiche che conducano a possibili soluzioni applicabili nel breve periodo per la sostenibilità e la continuità del settore agro-zootecnico in Lombardia.

- **4 Febbraio 2014 - Open Day Fabbrica della Bioenergia** - Ad un anno dall'inaugurazione del Laboratorio A. Rozzi, è stato riproposto l'Open Day per raccontare le attività svolte ed i risultati di ricerca e servizi ottenuti e per discutere delle tematiche legate al mondo del biogas. Durante tutta la giornata è stato possibile visitare il laboratorio, assistere a presentazioni parallele e in sequenza, dialogare con gli esperti. L'incontro è stato aperto e libero agli operatori del comparto del biogas e delle bioenergie, alle aziende, a studenti e cittadini.

- **25 Giugno 2013 - Convegno “La questione energetica e il cambiamento climatico: il caso delle bioenergie”** - Nell'ambito della “Settimana dell'Energia Sostenibile” promossa dall' Unione Europea, in collaborazione con la Camera di Commercio di Cremona, “La Fabbrica della Bioenergia” ha organizzato un evento divulgativo riguardo i temi del cambiamento climatico, implicazioni ambientali dell'uso dell'energia e produzione energetica verde da bioenergie.

- **20 Giugno 2013 - Convegno “Processi biologici innovativi di rimozione dell'azoto dai digestati”** - A conclusione del **progetto di ricerca BRAIN**, finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, è stata organizzata una giornata di presentazione dei risultati e di visita dell'impianto pilota di rimozione dell'azoto dai digestati. Con





l'occasione si è fatto il punto sulla Direttiva Nitrati e la sua applicazione.

- **1 Marzo 2013 - Convegno “Indicazioni tecnico-operative per Biogas e Sottoprodotti”** presso la fiera BioEnergy Italy 2013 - L'utilizzo di sottoprodotti negli impianti bioenergetici evidenzia delle problematiche normative, economiche e tecniche, nonché di reperimento delle matrici stesse. Il convegno ha risposto, in modo concreto e diretto, a queste istanze attraverso le attività svolte sui sottoprodotti dalla Fabbrica della Bioenergia. Provincia di Cremona ha presentato le proprie attività di controllo sugli impianti a biogas.
- **27 Ottobre 2012 - Convegno “Biogas e sottoprodotti: fattibilità normativa e tecnico-economica”** – Dopo un inquadramento normativo sull'utilizzo dei sottoprodotti negli impianti biogas, sono stati esa-

minati gli aspetti tecnico-gestionali nell'utilizzo dei sottoprodotti con considerazioni da parte di rappresentanti della Provincia di Cremona. Nell'occasione si sono messe in evidenza le attività e risultati dell'osservatorio della fabbrica della bioenergia.

- **17 Marzo 2012 - Convegno “Le energie rinnovabili in agricoltura”** - Miglioramento tecnologico, riduzione dei costi, incentivazioni in linea con il sistema agricolo locale, mantenimento del corretto equilibrio tra produzione energetica da rinnovabili e attività agricola sono al centro del dibattito strategico per il futuro del comparto.
- **8 Giugno 2011 - Convegno “Digestione anaerobica di reflui e biomasse”** - Con l'introduzione di forti incentivi alla produzione di energia elettrica da biogas, si sono moltiplicate le iniziative per la realizzazione di impianti di digestione anaerobica. Nell'ambito di questo contesto si è fatto il punto sulle tecnologie più avanzate nella realizzazione degli impianti di digestione anaerobica.
- **23 Maggio 2011 - Convegno “Bioforum”** - Il forum ha avuto l'obiettivo di approfondire sia le opportunità offerte dalle fonti rinnovabili sia le loro criticità. Sono state presentate due iniziative del territorio cremonese: il nuovo progetto “La fabbrica della Bioenergia” e il “Consorzio Distretto Agroenergetico lombardo”.

Corsi di formazione

I corsi di formazione sono proposti secondo un programma formativo annuale o possono essere progettati sulla base di specifiche richieste. I corsi svolti fino ad oggi sono:

● Produzione di energia elettrica e termica da biomasse solide

Questo corso ha offerto gli strumenti necessari per valutare la realizzazione e la gestione di un impianto a biomasse solide ed in particolare le caratteristiche chimico fisiche delle biomasse solide, i processi di combustione e pirolisi-gassificazione, i sistemi di generazione elettrica - termica, gli impianti attualmente disponibili sul mercato, le modalità per valutare i rendimenti di conversione e le scelte d'investimento, attraverso un confronto economico sulla redditività tra diversi scenari. Il corso, di livello avanzato, è stato proposto gratuitamente in due edizioni: 21-28 febbraio e 4 marzo 2014 a Cremona e 12-19-26 febbraio 2014 a Crema.

● Impianti a biogas e biometano

Il corso ha offerto un'occasione di miglioramento delle competenze di gestione degli impianti a biogas

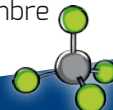
e ha introdotto il tema del biometano, ed in particolare la normativa, l'incentivazione, le tecnologie di upgrading e gli aspetti economici. Si è svolto l'1 e il 2 dicembre 2014 a Cremona, presso la sede del Politecnico.

● Tecnologia e aspetti economici del biometano

Il ciclo di forum ha offerto una panoramica sulle attuali opportunità legate al settore del biometano, descrivendo le principali tecnologie di purificazione, o upgrading, del biogas per trasformarlo in biometano e gli scenari di impiego, in conformità alla normativa in materia, analizzando gli aspetti economici degli impianti a biometano e le possibili configurazioni impiantistiche. Si è svolto in tre edizioni gratuite, il 9 dicembre 2014 a Crema, l'11 dicembre 2014 a Casalmaggiore e il 16 dicembre 2014 a Cremona.

● Impianti di biogas: tipologia e loro conduzione

Si è focalizzato sulle attività di gestione e monitoraggio di impianti biogas, sull'analisi degli strumenti necessari per la valutazione e la realizzazione di un impianto per la produzione di energia da biogas. Il corso è stato proposto a Cremona in diverse edizioni: 21 - 22 febbraio 2013, 14-15 novembre 2013, 7-8 febbraio 2013, 17-18 gennaio 2013, 15-16 novembre 2012.





● **Avviamento e monitoraggio degli impianti a biogas: misure analitiche e valutazioni di processo**

Ha offerto un approfondimento sul tema della gestione e monitoraggio degli impianti a biogas. Sono stati descritti i parametri di processo utili per la gestione dell'impianto, le misure analitiche necessarie per l'avviamento e il monitoraggio convenzionale. Si è svolto il 21 e il 28 gennaio 2014 presso la sede della Camera di Commercio di Cremona, gratuitamente.

Si è inoltre organizzato un forum sul monitoraggio degli impianti a biogas gratuito in tre edizioni: il 29 maggio 2014 a Cremona, il 3 giugno 2014 a Crema e il 19 giugno 2014 a Casalmaggiore.

● **Direttiva nitrati e tecniche di abbattimento dell'azoto da reflui e digestati**

Ha fornito gli elementi tecnici utili a comprendere i principi di funzionamento, le potenzialità, i limiti ed i campi di applicazioni di diverse soluzioni tecnologiche per la rimozione dell'azoto da flussi concentrati, come lo sono i reflui zootecnici e i digestati prodotti in ambito agro-zootecnico. Il corso gratuito è stato proposto in due edizioni il 19-23 aprile 2013 a Cremona e il 18-24 aprile 2013 a Crema.

● **Incentivi e valutazioni delle redditività di impianti di piccola taglia a biogas e biomasse solide**

Ha offerto un approfondimento sui nuovi meccanismi di incentivazione della produzione di energia da biomasse e biogas sulla base delle tariffe e delle regole tecnico-amministrative in vigore, che ne rendono complicata la comprensione e la valutazione. È stata inoltre analizzata la redditività in diverse ipotesi di investimento attraverso l'utilizzo di business plan. Il corso, gratuito, si è svolto in due edizioni il 17-19 dicembre 2013 a Cremona e il 3-5 dicembre 2013 a Crema.

Altre attività

Parallelamente alle attività sopra elencate, nel contesto di Fabbrica della Bioenergia, vengono anche svolti stage, tirocini e elaborate di tesi.

Stage, in collaborazione con le scuole superiori.

Questa tipologia di stage viene svolta sempre presso il Politecnico di Milano, Polo di Cremona, per far conoscere le tecnologie e le procedure tecniche per la produzione di biogas, le modalità di ottimizzazione dei processi mediante l'analisi dei parametri caratteristici, nonché lo studio degli aspetti economici e legali di un impianto di biogas. In particolare lo scopo principale di questa attività è la disseminazione, la promozione culturale e la prima informazione sulle tematiche della bioenergia ed è realizzato grazie alla collaborazione con gli istituti scolastici superiori del territorio cremonese e delle province circostanti. In queste giornate, gli studenti vengono introdotti alle tematiche attraverso prime lezioni frontali, passando poi attraverso modalità interattive in gruppi di lavoro focalizzati a sperimentare simulazioni di analisi, di processo, di valutazioni economiche. Inoltre, gli studenti vengono coinvolti in visite sul campo presso impianti di produzione di energie rinnovabili, in modo da connettere teoria e pratica a vantaggio di una maggiore comprensione,

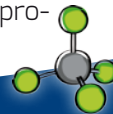
oltreché ospitati in visite guidate presso il Laboratorio A.Rozzi.

Gli argomenti principali trattati negli stage con le scuole superiori sono:

- Digestione anaerobica e tipi di digestori;
- Misura analitica dei parametri di controllo nei digestori tramite Excel;
- Aspetti gestionali e amministrativi;
- Valutazione economica e degli investimenti in impianti a biogas;
- Le tariffe incentivanti;
- Modellizzazione di un impianto a biogas.

Tirocini. Il principale obiettivo dei tirocini è coinvolgere i laureandi e laureati dei corsi di laurea di Politecnico di Milano (principalmente ma non esclusivamente), coinvolgendoli in attività lavorative quotidiane a supporto del centro competenze Fabbrica della Bioenergia. Le attività previste possono essere sia di sviluppo sperimentale oppure più prettamente gestionali, in relazione ad attività di marketing operativo, destinato a promuovere l'area servizi e il consolidamento del centro stesso.

Elaborazione di tesi. I docenti e i ricercatori coinvolti nei gruppi di formazione e ricerca di Fabbrica della Bioenergia sovente assistono la realizzazione di tesi ad opera di laureandi del Politecnico di Milano, provenienti da diverse Facoltà.



Pubblicazioni divulgative

All'interno dell'attività di divulgazione della conoscenza, Fabbrica della Bioenergia ha realizzato diverse pubblicazioni divulgative, disponibili gratuitamente anche in versione PDF scaricabile dal portale online della Fabbrica della Bioenergia, nella sezione Pubblicazioni.

Di seguito vengono elencate le pubblicazioni divulgative prodotte:

- Corbellini V., Insabato G., Malpei F., (2015) "Biometano" ISBN 978-88-97962-42-7
- Ficara E., Marazzi F., Mezzanotte V., (2015) "Le microalghe e la loro integrazione negli impianti di digestione anaerobica" ISBN 978-88-97962-41-0
- Ficara E., Marazzi F., Porqueddu I., Malpei F., (2015) "Introduzione alla digestione anaerobica: il processo e gli impianti"
- Lotti T., Scaglione D., (2015) "Rimozione dell'azoto con il processo anammox" ISBN 978-88-97962-43-4
- Ficara E., Malpei F., Martinucci E., Porqueddu I. (2014) La misura della degradabilità anaerobica. ISBN 978 88 97962 26 7

- Insabato G., Malpei F., Scaglione D. (2014) Aspetti tecnici e normativi dell'utilizzo di sottoprodotti in impianti biogas. ISBN 978 88 97962 23 6

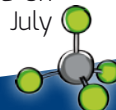
- Insabato G. (2014) Scenari di diffusione di piccoli impianti per la produzione energetica rinnovabile da biomatrici in Lombardia. ISBN 978 88 97962 28 1

- Teli A., Scaglione D., Ficara E. (2014) Il trattamento del digestato. ISBN 978 88 97962 27 4



Pubblicazioni 2011-2015

- Canziani R., Ficara E., Scaglione D., Teli A., Tornotti G., Malpei F. (2012). Autotrophic nitrogen removal from digested agro-wastes. Proceedings of the International Symposium of Sanitary and Environmental Engineering, 9th Ed. - SIDISA 2012 - Sustainable Technology for Environmental Protection, 26 - 29. June, Milan, ISBN 978-88-903557-1-4, International IWA Session on "Autotrophic Nitrogen Removal: from Research to Applications", paper ID 1428, p. 1-8; <http://www.sidisa2012.dreamgest.net/pdf/1428.pdf>. Rollini, M., Sambusiti, C.,
- Casella F., Della Bona A., Ferretti G., Ficara E., Lovera M., Malpei F. (2013) LFT formulation of an anaerobic digestion model for parameters identification. Poster paper. 11th IWA Conference on Instrumentation Control and Automation, 18-20 September 2013, Narbonne, France. p. 1-4.
- Casula A. (2011) Incentivi economici e business plan per la produzione di biogas, in "Biogas da agro-zootecnia e agro-industria". Dario Flaccovio Editore.
- Ferrari S., Ficara E., Teli A., Malpei F., Cocconcetti P.S., Cappa F. (2013). Study and selection of *Clostridium* strains for biohydrogen production from whey. AISSA national conference (Associazione Italiana Società Scientifiche Agrarie), 12-14 Novembre 2013, Piacenza.
- Ficara E., Malpei F., Sambusiti C. (2011) Valorizzazione del siero di caseificazione producendo energia, in "Biogas da agro-zootecnia e agro-industria". Dario Flaccovio Editore
- Ficara E., Malpei F., Vismara R., Salvetti R. (2011) Linee guida e parametri operativi per la gestione di un impianto a biogas per agro-zootecnia, in "Biogas da agro-zootecnia e agro-industria". Dario Flaccovio Editore
- Ficara E., Scaglione D. Caffaz S. (2011) Test di laboratorio per valutare la producibilità di biogas, in "Biogas da agro-zootecnia e agro-industria". Dario Flaccovio Editore.
- Ficara E., Uslenghi A., Basilico D., Mezzanotte V. (2013). Growth of microalgal biomass on supernatant from biosolids dewatering. Platform presentation. Proceedings of international IWA 13th World Congress on Anaerobic Digestion: "Recovering (bio) Resources for the World. Santiago de Compostela (ES) 25-28 June 2013, electronic abstract p. 1-4.
- Ficara E., Uslenghi A., Basilico D., Mezzanotte V. (2014) Growth of microalgal biomass on supernatant from biosolids dewatering. Water Science and technology, 69(4), 896-902. doi: 10.2166/wst.2013.805.
- Hassam S., A. Allegrini, E. Ficara, B. Cherki and J. Harmand (2013) Modified AM2 with the hydrolysis step and the ammonium consideration. Poster paper. Proceedings of international IWA 13th World Congress on Anaerobic Digestion: "Recovering (bio) Resources for the World. Santiago de Compostela (ES) 25-28 June 2013. electronic abstract p. 1-4.
- Hassam S., Cherki B., Ficara E., Harmand J. (2012). Towards a Systematic Approach to Reduce Complex Bioprocess Models - Application to the ADM1. Proceeding of the 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), Barcelona, Spain, July 3-6, 2012, p. 573-578.

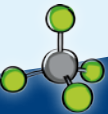


- Lotti T., Scaglione D., Teli A., Canziani R., Ficara E., Malpei F. (2014) Rimozione completamente autotrofa dell'azoto con batteri anammox: passato, presente e futuro. *Ingegneria dell'ambiente* Vol 1, 3-26.
- Malpei F., Fabbri C. (2011) Criteri di dimensionamento, in "Biogas da agro-zootecnia e agro-industria". Dario Flaccovio Editore
- Malpei F., Salvetti R., Canziani R. (2011) Tipologie e configurazioni impiantistiche, in "Biogas da agro-zootecnia e agro-industria". Dario Flaccovio Editore
- Mezzanotte V., Ficara E. (2014). Integration of algal production in WWTP sludge line. In: Proceedings 2nd IWA Specialized International Conference, ecoSTP2014 - EcoTechnologies for Wastewater Treatment, Technical, Environmental & Economic Challenges, Verona, Italy, 23-27 June 2014, p. 138-141.
- Musatti, A., Manzoni, M., Ficara, E., Malpei, F. (2012). Combination of Alkaline and Enzymatic Pre-Treatment to Increase Bio-Methane Production Potential of Sorghum and Wheat Straw. In Proceedings of the 20th European Biomass Conference and Exhibition, 18 -22 June 2012, Milano, Italy. p. 1406-1410, doi: 10.5071/20thEUBCE2012-2DV.3.5, ISBN: 978-88-89407-54-7.
- Porqueddu I., Ficara et al. (2013) Results of an Italian interlaboratory study on Biochemical Methane Potential (BMP) Proc. international IWA 13th World Congress on Anaerobic Digestion: "Recovering (bio) Resources for the World. Santiago de Compostela (ES) 25-28 June 2013) electronic abstract p 1-2.
- Rollini M., Musatti A., Sambusiti C., Ficara E., Manzoni M., Malpei F. (2014) Comparative Performance of Enzymatica Combined Alkaline-Enzymatic Pretreatments on Methane Production from Ensiled Sorghum Forage. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 37:2587-2595.
- Sambusiti C., E. Ficara, M. Rollini, A. Musatti, M. Manzoni and F. Malpei (2013) Enzymatic and metabolic activities in anaerobic sludges and their impact on methane production from ensiles sorghum forage. Platform presentation. Proceedings of international IWA 13th World Congress on Anaerobic Digestion: "Recovering (bio) Resources for the World. Santiago de Compostela (ES) 25-28 June 2013. electronic abstract, p. 1-4.
- Sambusiti C. (2012). Physical, chemical and biological pretreatments to enhance biogas production from lignocellulosic substrates. Tesi di Dottorato, Politecnico di Milano. Supervisor: Prof.ssa Francesca Malpei, Advisor: Ing. Elena Ficara.
- Sambusiti C., Ficara E., Rollini M., Manzoni M., Carrère H., Malpei F. (2012) Comparative study of different pretreatments to increase methane production of ensiled sorghum forage. Proceedings of the International Symposium of Sanitary and Environmental Engineering, 9th Ed. - SIDISA 2012 - Sustainable Technology for Environmental Protection, 26 - 29. June, Milan, Centro Congressi Fondazione CARIPO, ISBN 978-88-903557-1-4, International IWA Session on "Autotrophic Nitrogen Removal: from Research to Applications", paper ID 962, p. 1-8; <http://www.sidisa2012.dreamgest.net/pdf/962.pdf>.
- Sambusiti C., Ficara E., Rollini M., Manzoni M., Malpei F. (2011). Alkaline pretreatment of sorghum and wheat straw for increasing methane production. In: Proceedings of International Symposium on Anaerobic Di-

- gestion of Solid waste and Energy Crops, Vienna, Austria, 28 August – 1 September 2011, Paper #7817R1, pp. 1-8, on CD-ROM.
- Sambusiti C., Ficara E., Rollini M., Manzoni M., Malpei F. (2013). Impact of different types of pretreatment on methane production of two agricultural substrates. Poster paper. Proceedings of international IWA 13th World Congress on Anaerobic Digestion: "Recovering (bio) Resources for the World. Santiago de Compostela (ES) 25-28 June 2013. p. 1-4.
- Sambusiti C., E. Ficara, F. Malpei, J.P. Steyer, H. Carrère (2012), Influence of alkaline pre-treatment conditions on structural features and methane production from ensiled sorghum forage. *Chemical Engineering Journal*, 211-212, p. 488-492. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.09.103>
- Sambusiti C., E. Ficara, M. Rollini, M. Manzoni and F. Malpei (2012). Sodium hydroxide pretreatment of ensiled sorghum forage and wheat straw to increase methane production. *Water Science and Technology*, 66(11), 2447-2452. doi: 10.2166/wst.2012.480
- Sambusiti C., Ficara E., Malpei F., Carrère H., Steyer J.P. (2012). Effect of particle size distribution on alkaline pretreatment and methane production of ensiled sorghum forage. In *Proceeding of the 4th international Conference of Engineering for Waste and Biomass Valorisation*, Porto, Portugal, September 10 – 13, 2012.
- Sambusiti C., Ficara E., Rollini M., Musatti M., Manzoni M., Malpei F. (2013) Enzymatic and metabolic activities in anaerobic sludges and their impact on methane production from ensiles sorghum forage. Platform presentation. Proceedings of international IWA 13th World Congress on Anaerobic Digestion: "Recovering (bio) Resources for the World. Santiago de Compostela (ES) 25-28 June 2013. p. 1-4.
- Sambusiti C., Rollini M., Ficara E., Musatti A., Manzoni M. and Malpei F. (2014) Enzymatic and metabolic activities of four anaerobic sludges and their impact on methane production from ensiled sorghum forage. *Bioresource Technology*, 155, 122-128.
- Sambusiti, C., Ficara, E., Malpei, F., Steyer, J.P., Carrère, H. (2013) Benefit of sodium hydroxide pretreatment of ensiled sorghum forage on the anaerobic reactor stability and methane production. *Bioresource Technology* 144 , pp. 149-155. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.06.095
- Sambusiti, C., Ficara, E., Malpei, F., Steyer, J.P., Carrère, H. (2013) Effect of sodium hydroxide pretreatment on physical, chemical characteristics and methane production of five varieties of sorghum. *Energy*, 55 , pp. 449-456. DOI: 10.1016/j.energy.2013.04.025
- Sambusiti, C., Monlau, F., Ficara, E., Carrère, H., Malpei, F. (2013) A comparison of different pre-treatments to increase methane production from two agricultural substrates. *Applied Energy* 104 , pp. 62-70. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.10.060
- Scaglione D, Tornotti G, Teli A, Ficara E, Canziani R, Malpei F (2013) Advanced bioprocesses for N removal from the liquid fraction of co-digestated piggery/poultry manure and agro-wastes. In: *Proceedings of the 13th World Congress on Anerobic Digestion: Recovering (bio) Resources for the World*, 25-28 June. Santiago de Compostela: IWA.
- Scaglione D., E. Ficara, V. Corbellini, A. Teli, R. Canziani and F. Malpei (2014) Treatability of digested piggery/



- poultry manure by anammox bacteria. In: Proceedings 2nd IWA Specialized International Conference, ecoSTP2014 - EcoTechnologies for Wastewater Treatment, Technical, Environmental & Economic Challenges, Verona, Italy, 23-27 June 2014, p. 61-65.
- Scaglione D., Ficara E., Canziani R., Fabbri C., Piccinini S., (2011) Trattamento del digestato, in "Biogas da agro-zootecnia e agro-industria". Dario Flaccovio Editore.
- Scaglione D., Ficara E., Canziani R., Malpei F. (2012). Trattamento del Digestato e riduzione dell'azoto. In Energia da biogas - Manuale per la progettazione, autorizzazione e gestione tecnico-economica degli impianti. A cura di Francesco Arecco. Edizioni Reteambiente.
- Scaglione D., G. Tornotti, A. Teli, E. Ficara, R. Canziani, F. Malpei (2013). Nuova tecnologia che rimuove l'azoto dal digestato. INFORMATORE AGRARIO, p. 28-32.
- Scaglione D., Ruscaleda M., Ficara E., Balaguer M., Colprim J. (2012) Response to high nitrite concentrations of anammox biomass from two SBR fed on synthetic wastewater and landfill leachate. Chemical Engineering Journal, 209, 62-68.
- Scaglione D., Tornotti G., Ficara E., Canziani R., Malpei F. (2012). Nitrification denitrification via nitrite in a pilot-scale SBR treating the liquid fraction of co-digested piggery/poultry manure and agro-wastes. Proceedings of the International Symposium of Sanitary and Environmental Engineering, 9th Ed. - SIDISA 2012 - Sustainable Technology for Environmental Protection, 26 - 29 June, Milan, ISBN 978-88-903557-1-4, Session Nutrient Removal, paper ID 1134, p. 1-8; <http://www.sidisa2012.dreamgest.net/pdf/1134.pdf>.
- Scaglione, D., Tornotti, G., Teli, A., Lorenzoni, L., Ficara, E., Canziani, R., Malpei, F. (2013) Nitrification denitrification via nitrite in a pilot-scale SBR treating the liquid fraction of co-digested piggery/poultry manure and agro-wastes. Chemical Engineering Journal 228 , pp. 935-943. DOI: 10.1016/j.cej.2013.05.075.
- Teli A., Ficara E., Malpei F. (2013). Bio-hydrogen production from cheese whey by dark fermentation. GITISA Young Conference, Sardinia 2013 – XIV International Waste Management and Sanitary Landfilling Symposium, 30 Settembre – 4 Ottobre 2013, Santa Margherita di Pula (Cagliari).
- Teli A., Ficara E., Malpei F. (2014). Bio-hydrogen Production from Cheese Whey by Dark Fermentation. Chemical Engineering Transactions, 37.
- Teli A., Ficara E., Malpei F. (2014). Bio-hydrogen Production from Cheese Whey by Dark Fermentation. Proceedings of the international conference on biomass (Icon.BM), 4-7 may 2014, Florence (IT).



I Partner del progetto Fabbrica della Bioenergia



**Provincia
di Cremona**



**POLITECNICO
MILANO 1863**

POLO TERRITORIALE
DI CREMONA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE E AMBIENTALE



Cremona
COMUNE DI CREMONA



Camera di Commercio
Cremona



ENTE REGIONALE PER I SERVIZI
ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE



Regione Lombardia

Cofinanziamento di



**fondazione
cariplo**

LA FABBRICA DELLA BIOENERGIA
Centro competenze
per lo sviluppo sostenibile
delle energie rinnovabili

Politecnico di Milano
Polo Territoriale di Cremona
Via Sesto, 41 - 26100 Cremona
Tel. 0372.567767
Mail: info@fabbricabioenergia.it
Web: www.fabbricabioenergia.it