



# AGROENER



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia

MiPAAF DD n 26329 del 1 aprile 2016

### RELAZIONE SINTETICA ATTIVITA' 2° ANNO

Periodo di riferimento: 09/06/2017 – 09/06/2018



## **Indice**

### **Sommario**

WP0: Coordinamento .....	4
WP1: Miglioramento, sviluppo e promozione dell'efficienza energetica delle macchine, delle attrezzature agricole e della meccanizzazione.....	6
Task 1.1 Sistemi avanzati di valutazione sperimentale delle caratteristiche e delle performance dei componenti delle macchine (ad es.: pneumatici, trasmissioni) al fine del miglioramento dell'efficienza energetica e prestazionale delle stesse .....	7
Task 1.2 Trattori ad alimentazione esclusiva o combinata a biometano .....	13
Task 1.3 Meccanizzazione ad elevata automazione per l'efficientamento energetico .....	18
Task 1.4 Sviluppo e testing sperimentale di algoritmi per la stima efficiente dei consumi delle lavorazioni agricole (ettaro-coltura).....	26
Task 1.5 Agricoltura di precisione come tool di efficientamento energetico, ambientale ed economico ..	31
Task 1.6 Risparmio energetico nell'irrigazione anche attraverso sistemi di precisione .....	36
Task 1.7 Sviluppo di un programma di supporto alle decisioni (SSD) per la diagnosi energetica di serre esistenti e la valutazione virtuale di opzioni migliorative .....	42
Task 1.8 Riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento delle serre .....	48
WP2: Sviluppo della filiera delle biomasse solide agroforestali.....	53
Task 2.1 Sistemi di compattamento per biomasse residuali.....	57
Task 2.2 Colture e tecniche innovative per la produzione di bioenergia.....	63
Task 2.3 Valorizzazione delle biomasse lignocellulosiche per la produzione di energia termica.....	71
Task 2.4 Valorizzazione delle biomasse forestali residuali.....	75
Task 2.5 Recupero di residui lignocellulosici da gestione del verde urbano.....	80
Task 2.6 Potenzialità produttiva e servizi ambientali di colture da energia su suoli marginali.....	86
WP3: Produzione di biogas negli allevamenti .....	103
Task 3.1 Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica.....	110
Task 3.2 Produzione d'inoculi per digestori anaerobici .....	116
Task 3.3 Nuovo prototipo di digestore a due stadi.....	120
Task 3.4 Impatto dei biodigestati sulle comunità microbiche sui suoli agrari.....	125



# Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

## Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Task 3.5 Valutazione dell'efficacia agronomica deidigestati anaerobici e loro valorizzazione per l'uso agricolo.....	131
Task 3.6 Utilizzo del pastazzo di agrumi e di altre biomasse residuali tipiche mediterranee come matrici alternative per la produzione di biogas .....	138
WP4: Bioraffinerie integrate in cicli produttivi agroalimentari.....	144
Task 4.1 Idrolizzati enzimatici a basso tenore di azoto e di inibitori da biomassa lignocellulosica per la filiera del biodiesel di II generazione .....	145
Task 4.2 SCO (Single Cell Oils) da scarti agroalimentari per biodiesel e biolubrificanti.....	152
Task 4.3 Valutazione di colture oleaginose non alimentari per l'autoproduzione di biocarburanti e/o lubrificanti nei trattori ed in altri utilizzi agricoli .....	154
Task 4.4 Valutazione sperimentale dell'attitudine di oli "bio-based" all'utilizzo sulle macchine agricole per ridurre l'impatto dei lubrificanti sull'ambiente.....	160
WP5: Realizzazione impianti sperimentali, dimostrazioni e divulgazione.....	165
Task 5.1 Dimostrazione e divulgazione sull'uso della biomassa da piantagioni dedicate e da formazioni forestali di prossimità territoriale.....	167
Task 5.2 Produzione dimostrativa di pellet su piccola scala per la valorizzazione della biomassa di diversa origine. ....	175
Task 5.3 Verifica della fattibilità del recupero di biomasse erbacee per impianti dimostrativi a biogas ..	180
Task 5.4 Sistema innovativo per la valorizzazione agricola del digestato.....	187
Task 5.5 Innovazione, dimostrazione e divulgazione della qualità del pellet .....	192
Task 5.6 Centro dimostrativo CREA-IT: Filiera energetica biomasse biogas/biometano: Utilizzo della biomassa e qualità delle emissioni dei sistemi di combustione nell'utilizzo del biogas/biometano, syngas e della biomassa .....	196
Task 5.7 Sistemi dimostrativi per la produzione di biogas da prodotti derivati contaminati da micotossine .....	204
Task 5.8 Centro dimostrativo per la produzione aziendale di biogas e biometano e l'utilizzo in motorizzazioni sperimentali (gruppi elettrogeni, trattrici) .....	210
Task 5.9 Organizzazione e archiviazione risultati trasferibili. Formazione, trasferimento partecipato delle conoscenze. Focus group. ....	212



## **WP0: Coordinamento**

WP Leader: Paolo Menesatti

### **Abstract**

Il Coordinamento monitora il progetto sia dal punto di vista tecnico-scientifico che amministrativo-finanziario affinché si svolga il programma di lavoro nei tempi stabiliti. L'Ente finanziatore e i vari partecipanti al progetto Agroener (wp leader, task leader e gruppi di ricerca) sono interconnessi tra di loro attraverso l'attività di coordinamento, scambiando informazioni di tipo organizzativo, scientifico, divulgativo e amministrativo - finanziario sia all'interno che all'esterno del progetto. I risultati della ricerca sono stati presentati e divulgati attraverso la partecipazione a convegni, workshop, seminari e incontri. Gli eventi, le attività, i risultati e tutto ciò che riguarda il progetto (documentazione e relativa modulistica) sono a disposizione dei partecipanti sul sito web costantemente aggiornato.

### **1. Attività svolta**

L'attività di coordinamento nel secondo anno, ha condiviso e risolto le diverse problematiche all'interno dei Work package monitorando le varie fasi del progetto (obiettivi, azioni, budget) al fine di ottimizzare i tempi per la realizzazione delle varie linee di ricerca e quindi il raggiungimento dei fini prefissati. Per quanto riguarda le attività di divulgazione e disseminazione il progetto ha avuto un'ampia presentazione a convegni, workshop e altro (FIERAGRICOLA – Verona 1Febbraio 2018; Seminario FORBIO – Cagliari 7 Giugno 2018). Il Coordinatore è sempre a diretto contatto con i WP Leader e i task leader partecipanti al progetto, nonché con l'Ente finanziatore e altri referenti.

### **2. Risultati e deliverable**

Il monitoraggio scientifico e amministrativo interno del progetto è stato ampiamente soddisfatto tramite report interni (mail, note, ecc.). Anche per il monitoraggio esterno da parte dell'ente finanziatore, del Crea ecc., sono stati prodotti rendiconti, relazioni ecc. Infine, l'attività di divulgazione e disseminazione dei risultati è stata realizzata con seminari, workshop, convegni e soprattutto con pubblicazioni scientifiche e divulgative. Inoltre, si prevede a metà durata progetto un evento di particolare rilievo riguardante la presentazione dei risultati in stretta aderenza agli obiettivi perseguiti.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

**3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Nessun particolare ostacolo è stato riscontrato in questo anno di attività di coordinamento. L'organizzazione dei vari WP e relative task hanno relazioni tali da evitare qualsiasi problema disorganizzativo.

**4. Proposte di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Nessuna

**5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Posters divulgativi dei diversi WP del progetto Agroener: Fieragricola – Verona- 1 Febbraio 2018;

Presentazione attività del progetto Agroener: Fieragricola – Verona 1 Febbraio 2018;

Seminario FORBIO – Cagliari 7 Giugno 2018;

Aggiornamento sito web: <http://agroener.crea.gov.it/index.html>

Giornata dimostrativa “Biomassa forestale: da residuo a risorsa” con presentazione dei risultati dell'attività del secondo anno, presso l'azienda Ovile – Via Valle della Quistione 27, Roma (Casalotti) CREA – FL, 10 Ottobre 2018.



## **WP1: Miglioramento, sviluppo e promozione dell'efficienza energetica delle macchine, delle attrezzature agricole e della meccanizzazione**

WP leader: Carlo Bisaglia (CREA-IT)

La crescita delle dimensioni delle macchine agricole e delle potenze delle rispettive motorizzazioni registratesi nell'ultimo decennio sembra aver subito un rallentamento a favore di soluzioni progettuali più efficienti, dove l'incremento prestazionale non si realizza più con l'aumento della "forza" in gioco, ma con l'implementazione del suo controllo. Il crescente ruolo dell'automazione e della digitalizzazione nei processi agricoli ha sicuramente dato un forte impulso al cambiamento di direzione negli orientamenti progettuali dei costruttori. Recenti stime, che allo stato attuale possono sembrare ottimistiche, indicano che le nuove tecnologie afferenti all'agricoltura digitale potranno incrementare del 70% la produzione agricola globale entro il 2050 (Global Future Farming Summit, Wageningen Campus, The Netherlands, 2018). Ovviamente, gli stessi estensori di tali previsioni indicano anche alcuni importanti elementi di criticità che potrebbero ostacolare o rallentare il raggiungimento di tali obiettivi di crescita quali, in particolare, la protezione dei dati attuata da alcuni soggetti della filiera produttiva primaria in assenza di una chiara regolamentazione sulla proprietà e sull'uso degli stessi, la resistenza degli utenti agricoli ad adottare le innovazioni digitali e alcuni limitazioni all'interoperabilità di alcune tecnologie oltre che una ancora non chiara convenienza economica all'adozione delle tecnologie digitali (per lo meno non in tutti i comparti produttivi).

In tale contesto, il WP1 nel 2° anno di attività ha arricchito il contributo di conoscenza con particolare riferimento agli studi sull'efficienza dei trattori agricoli in operazioni di trasporto e lavorazione confermando che la scelta di strategie di efficientamento può contenere le esigenze di potenza, massa e dimensioni dei trattori agricoli. Inoltre, gli sviluppi nella normativa e nella disponibilità di carburanti di ultima generazione, potranno dare un contributo non trascurabile all'aumento di efficienza e sostenibilità in particolare grazie all'autoapprovvigionamento energetico a bassissimo impatto ambientale (ad es.: biometano). Gli studi relativi all'automazione, stanno evidenziando risultati positivi non solo nella riduzione dell'errore umano (con le conseguenti perdite di efficienza), ma anche nella possibilità di eseguire lavorazioni in modo più efficiente (ad es.: raccolta) anche in termini di energia utilizzata. A ciò si sono uniti progressi nello sviluppo di un modello per la stima dei tempi di lavorazione in base a differenti forme di campo ed a molteplici variabili agronomiche (larghezza di lavorazione, velocità, ecc.). Per quanto riguarda, infine, l'agricoltura di precisione, diverse azioni di ricerca hanno riguardato la valutazione della guida semiautomatica nel contenimento dei tempi e dei costi di lavorazione dei terreni, il contenimento energetico nelle pratiche di irrigazione e nella gestione energetica delle colture protette grazie allo sviluppo di metodiche, sensori e applicazioni innovative.



Di seguito vengono riportate nel dettaglio le attività delle otto Tasks afferenti al presente WP.

**Task 1.1 Sistemi avanzati di valutazione sperimentale delle caratteristiche e delle performance dei componenti delle macchine (ad es.: pneumatici, trasmissioni) al fine del miglioramento dell'efficienza energetica e prestazionale delle stesse**

Task leader: Maurizio Cutini (CREA-IT)

**Abstract**

Le attività condotte nella presente task si propongono di ottimizzare, da un punto di vista energetico, un modello di azienda cerealicolo-zootecnica.

L'attività del secondo anno si è incentrata sulla definizione del rendimento energetico di un trattore agricolo. In particolare sono stati affrontati i temi del rendimento della trasmissione e degli pneumatici.

Numerosi studi sono presenti sull'efficienza di un trattore agricolo, ma sono quasi esclusivamente sviluppati sulla valutazione dei consumi in sala prove motori, alla presa di potenza.

Lo sviluppo di nuove trasmissioni in grado di utilizzare sempre il motore ai desiderati regimi di funzionamento richiede invece la valutazione dell'efficienza anche della trasmissione.

Tale parametro risulta particolarmente complesso da definire in quanto dipende dal rapporto inserito, dalla velocità di avanzamento e dallo slittamento degli organi di propulsione del trattore.

Nel secondo anno è continuata l'attività di prova degli pneumatici focalizzata sulla capacità di trazione. La sperimentazione prevede di correlare alcune proprietà geometriche ricavate da impronte degli pneumatici alla forza di trazione degli stessi.

**1. Attività svolta**

La valutazione dell'efficienza della trasmissione di un trattore agricolo, ovvero il rapporto tra la potenza utile (in trasporto o in lavorazione) ed il gasolio consumato risulta particolarmente complessa. Difatti, mentre il consumo alla presa di potenza (condizioni statiche) è un dato specifico ottenuto in determinate condizioni di funzionamento del motore (peraltro standardizzate), il rendimento del trattore in trazione (condizioni dinamiche) dipende da numerosi parametri.

Tale rendimento varia ad ogni marcia del cambio di velocità o ad ogni velocità di avanzamento nel caso di trattori a variazione continua. Inoltre, l'efficienza in trazione è funzione dello slittamento degli pneumatici. Ma lo slittamento degli pneumatici è funzione della potenza, della massa, della forza di trazione e della velocità di avanzamento del trattore, quindi tali parametri risultano correlati. Di conseguenza, si è ritenuto opportuno integrare i dati delle prove condotte presso il CREA-IT di Treviglio con dati di altre stazioni di prova OCSE del mondo al fine di verificare se fosse



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

possibile elaborare un algoritmo che tenesse conto dei parametri elencati e stimasse la potenza realmente utile in trazione al netto delle perdite.

Sulla base del dataset elaborato nel primo anno, i dati di 100 trattori di differente potenza e peso ottenuti secondo lo standard OCSE cod. 2 sono stati analizzati con l'obiettivo di valutare il rendimento in trazione al netto delle perdite della trasmissione e dello slittamento.

Il cod. 2 dell'OCSE indica come misurare le prestazioni di un trattore in termini di potenza e di consumo di combustibile. Le principali grandezze sono rilevate nella prova alla presa di potenza ed in trazione. La prova di trazione è condotta con il motore a massima ammissione di combustibile ed a differenti marce o velocità di avanzamento. Un dispositivo denominato veicolo dinamometrico (fig. 1), o più comunemente carro freno, genera una forza orizzontale al gancio del trattore fino al 15% di slittamento o fino al regime di potenza massima.



Figura 1. Esempio dell'allestimento di una prova di trazione press oil CREA-IT di Treviglio.

La misura della forza e della velocità di avanzamento forniscono la potenza in trazione secondo la formula (1):

$$P_{db}(kW) = F_{db}(kN) \cdot s(m \cdot s^{-1}) \quad (1)$$

dove:

- $P_{db}$ : Potenza alla barra di traino;
- $F_{db}$ : forza misurata alla barra alle diverse velocità di avanzamento;
- $s$ : velocità di avanzamento del trattore.

Il database contiene anche i dati di consumo di gasolio nelle varie prove. Sono state considerate tutte le prove condotte in condizione di potenza massima, ovvero con slittamento inferiore al 15%. Con tali premesse il database si compone di 100 trattori e 584 osservazioni.

Come accennato risultava necessario considerare lo slittamento come variabile, di conseguenza si è proceduto a verificare che risultasse correlato alla forza di trazione ed alla massa del trattore





secondo la funzione (2):

$$Slip(\%) = f[D(daN)/W(kg)] \quad (2)$$

dove:

- D è la forza di trazione;
- W è la massa del trattore.

Il calcolo dell'efficienza della trasmissione e della potenza in trazione è stato effettuato con l'ipotesi che la potenza misurata in sala prove motori, cioè alla pdp fosse la massima disponibile.

La potenza perduta è stata considerata la somma delle seguenti:

- rendimento della trasmissione;
- potenza usata per l'autodislocamento del trattore;
- potenza perduta per slittamento

Con tali ipotesi è stato possibile elaborare un algoritmo che tenesse conto della potenza persa alla trasmissione e per slittamento.

Nel secondo anno è continuata l'attività di prova degli pneumatici focalizzata sulla capacità di trazione. Attualmente la letteratura tende a semplificare la metodica per definire il rendimento in trazione assumendo che ogni punto percentuale di slittamento in più equivalga ad un punto percentuale di potenza persa. Sebbene nell'ambito del progetto Agroener investigheremo con maggior dettaglio tale relazione, è evidente l'importanza dello slittamento nell'ambito dell'efficienza energetica.

La sperimentazione prevede di correlare alcune proprietà geometriche ricavate da impronte degli pneumatici alla forza di trazione degli stessi. Anche in questo caso è necessario un veicolo dinamometrico capace di generare uno sforzo al gancio del trattore in prova per il rilievo della forza di trazione.

Lo studio ha evidenziato, oltre all'importanza dello slittamento, anche la necessità d'investigare i parametri di resistenza al rotolamento su pista e su campo.

## 2. Risultati e deliverable

Sulla base di quanto descritto, l'algoritmo atteso avrebbe dovuto presentarsi come in Eq.3:

$$P_{db}(kW) = \alpha \cdot P_{PTO}(kW) - \beta \cdot P_{vd}(kW) - P_s(kW) \quad (3)$$

dove:

- $P_{db}$  è la potenza alla barra di traino (misurata);
- $P_{PTO}$  è la massima potenza alla presa di potenza (misurata);
- $P_{vd}$  è la potenza persa per autodislocamento (calcolata come prodotto di massa per velocità);



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

- $P_s$  è la potenza persa per slittamento.
- $\beta$  è un coefficiente di resistenza al rotolamento, atteso  $\approx 0.04$  come riportato nello standard ASAE D497.7 Mar 2011
- $\alpha$  è l'efficienza della trasmissione, un'indicazione è data dallo standard ASAE D497.7, come 0.88 su superficie di cemento e per trattori 4WD.

Il database è stato analizzato tramite un'analisi di regressione lineare.

Le variabili considerate sono state:

- Potenza massima alla pdp;
- massa del trattore;
- potenza alla barra di traino;
- forza di trazione;
- velocità di avanzamento;
- slittamento;
- forza di trazione massima;
- coefficiente d'attrito della superficie (ottenuto come massima forza di trazione/peso del trattore).

La verifica di una correlazione tra slittamento, forza di trazione e peso del trattore ha riportato l'equazione (4).

$$Slip = -0.000634 \cdot D + 13.634 \cdot D/W \quad (4)$$

che presenta  $R\text{-sq}=86.99$  e  $R\text{-sq (adj)}=86.94$ , con sia  $D$  che  $D/W$  che presentano  $p\text{-value}=0$ .

Risulta interessante anche una forma semplificata della eq. (4) che tiene in considerazione il solo rapporto  $D/W$ . Il risultato è riportato in eq (5).

$$Slip = 9.285 \cdot D/W \quad (5)$$

che presenta  $R\text{-sq}=82.51$  and  $R\text{-sq (adj)} = 82.48$ .

Come accennato, la Potenza persa per slittamento è stata calcolata indirettamente.

La potenza alla barra è misurata, quindi è stata assunta come variabile dipendente. Le altre variabili sono state assunte come indipendenti e quindi assunte nell'analisi di regressione.

L'equazione di regressione è stata sviluppata su 50 trattori scelti casualmente a formare il "training set" per la definizione dei coefficienti. Il modello ottenuto è stato testato sui restanti 50 "test set".

L'equazione di regressione è riportata in eq. (6):

$$P_{ab} = 0.9395 \cdot P_{PTO} - 0.04579 \cdot P_{vd} - 0.02124 \cdot P_{PTO} \cdot Slip + 0.00938 \cdot P_{vd} \cdot Slip \quad (6)$$

che presenta sia  $R\text{-sq}$  che  $R\text{-sq (adj)}$  uguali a 99.78, con tutti i coefficienti risultanti significativi ( $p < 0.05$ ).

Durante la fase di validazione, il coefficiente di correlazione e l' $R^2$  sono risultati 0.99, l'RMSE presenta il valore di 5.25 kW ed il PBIAS era 1.5%, indicando un buon livello di predizione con una

leggera sottostima nei trattori di alta potenza (Figure 2). L'NSE index di questo set di dati è risultato essere 1.0 a supporto della bontà dell'equazione ottenuta.

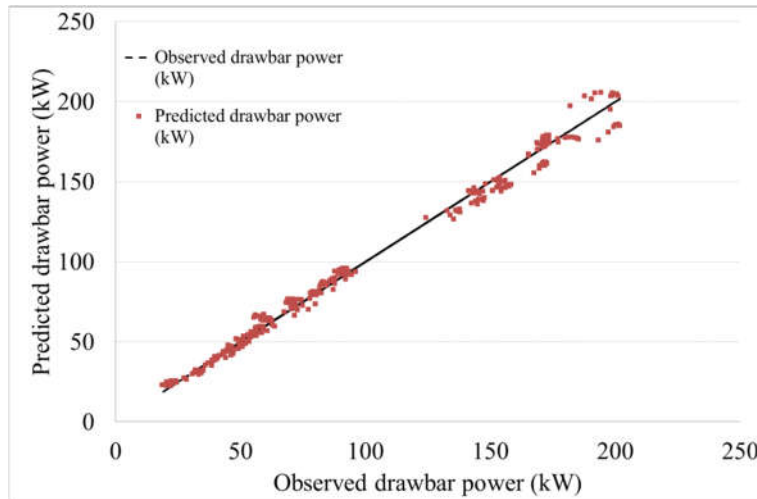


Figura2. Scatterplot rappresentante I valori predetti di Potenza alla barra versus I misurati riportati nel test set. La linea completa è il riferimento 1:1.

L'equazione mostra anche l'effetto dell'andamento della potenza alla barra la quale inizialmente aumenta con la velocità fino a raggiungere un massimo per poi decrescere. Ciò consente di considerare l'effetto della potenza perduta per autodislocamento del veicolo che aumenta con la velocità del veicolo e della Potenza persa per slittamento che invece diminuisce all'aumentare della velocità.

L'esistenza di un massimo individuata dall'algoritmo consente di confermare la possibilità di condurre analisi di sensibilità sui parametri considerati al fine di ottimizzare il rendimento del trattore non solo dal punto di vista di consumo specifico del motore ma anche come settaggio ed utilizzo.

Le considerazioni svolte sino ad ora sui bilanci di potenza sono immediatamente trasferibili in consumi di gasolio, già inseriti nel database, ed attualmente in fase di analisi.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Allo stato di avanzamento del progetto non sono previsti scostamenti con quanto pianificato.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Non sono previste attività integrative od aggiuntive

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Non è stata effettuata attività di formazione, divulgazione e disseminazione



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

### 6. Elenco pubblicazioni

Cutini, M.; Brambilla, M.; Bisaglia, C. 2018. Tractor Drive Line Efficiency Evaluation taking into account Power Lost in Slippage. AgEng conference July 8–12, 2018, Wageningen, the Netherlands



## **Task 1.2 Trattori ad alimentazione esclusiva o combinata a biometano**

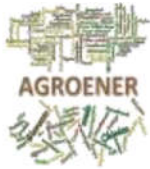
Task leader: Carlo Bisaglia

### **Abstract**

E' stata effettuata un'attività sperimentale tesa a comparare, in condizioni di laboratorio, due trattori di cui uno alimentato a biometano ed uno a gasolio. Successivamente, il trattore a metano è stato utilizzato, in condizioni di campo e con quattro operatrici, al fine di valutarne le prestazioni e l'autonomia in operazioni aventi un diverso livello di intensità. Le condizioni di laboratorio hanno fatto riferimento ai Codici dell'OCSE, in particolare il n. 2, per la misura del baricentro e la valutazione delle prestazioni alla presa di potenza e in pista; ai codici OCSE è stato aggiunto anche uno standard dedicato alle macchine movimento terra per la determinazione delle aree di visibilità per l'operatore in quanto si era ipotizzata un'influenza negativa del posizionamento delle bombole sulla visibilità in alcune operazioni. Le condizioni di campo hanno, invece, previsto di utilizzare il trattore a biometano in un'azienda commerciale ad indirizzo cerealicolo-zootecnico in abbinamento a tre macchine operatrici (rimorchio, ripuntatore, erpice) aventi richieste diversificate in termini di prestazioni del trattore. I risultati hanno messo in luce la sostanziale equivalenza nelle prestazioni tra i due combustibili, mentre l'autonomia del trattore a metano, attualmente ridotta, potrà essere migliorata con nuovi materiali e una nuova progettazione del layout del trattore.

### **1. Attività svolta**

Per lo sviluppo del progetto è stato identificato un trattore commerciale multifunzionale di media potenza a quattro ruote motrici (New Holland T6.140, Basildon, Regno Unito). Questa tipologia di trattori è generalmente soggetta ad un'alta frequenza di utilizzo con un'ampia gamma di operazioni e con un elevato interscambio di attrezzi. Il trattore scelto è stato adattato espressamente alla sede CNH Industrial di Modena, in Italia, per ricevere un motore a metano con potenza nominale di 100 kW di potenza e le relative bombole di gas. Le prestazioni del prototipo sviluppato sono state testate con l'obiettivo di confrontare il trattore alimentato a metano con un trattore diesel standard appartenente alla stessa categoria in termini di potenza, dimensioni, impostazioni e utilizzo (NH T6050 Elite, Basildon, Regno Unito). In particolare, la potenza nominale del trattore diesel confrontato era di 93,2 kW mentre la potenza massima di 101,4 kW. I test sono stati effettuati sia in laboratorio che in campo. Considerando che, in Italia, all'epoca della sperimentazione non erano ancora state rilasciate specifiche ufficiali per la produzione, la distribuzione e l'uso di biometano, è



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

stato utilizzato il metano comune delle normali stazioni di servizio. I test di laboratorio miravano a valutare la potenza massima del motore e la coppia disponibile alla presa di potenza (pdp) e alla barra, il baricentro del trattore e il campo visivo dell'operatore. La potenza e la coppia misurate alla pdp forniscono i valori effettivamente disponibili all'utente finale e forniscono dati facilmente confrontabili tra i trattori. I test sono stati eseguiti seguendo il codice OCSE n. 2 (OCSE, 2013) collegando i trattori, tramite la presa di potenza, ad un freno dinamometrico a correnti parassite Zollner B500A (Kiel, Germania) per ottenere curve motore "potenza vs giri" e "coppia vs giri" senza correzione per perdite nella trasmissione di potenza tra la presa di potenza e il banco dinamometrico. I trattori sono stati azionati dopo un periodo di riscaldamento sufficientemente lungo perché la potenza si stabilizzasse, quindi i comandi del regolatore sono stati impostati per la massima potenza. La potenza massima riportata è stata la media di sei letture effettuate durante il periodo di prova con una variazione di potenza inferiore al 2% rispetto alla media. Il test di potenza alla barra fornisce la massima forza di trazione disponibile per il trattore in ogni marcia o velocità. Il test è stato eseguito azionando i trattori a diverse velocità su una superficie di asfalto pulita, orizzontale e asciutta senza giunture, mentre un veicolo dinamometrico collegato alla parte posteriore del trattore ha frenato applicando carichi crescenti. Durante tutti i test di trazione, il controllo dell'acceleratore è stato impostato alla massima potenza. Per ogni impostazione delle marce (alla velocità e alla trazione corrispondenti alla massima potenza in ogni specifica marcia), sono stati misurati il regime del motore, la potenza, la trazione alla barra, la velocità e lo slittamento delle ruote. Sono stati registrati solo i valori fino al 15% dello slittamento medio della ruota. Entrambi i trattori erano equipaggiati con pneumatici nuovi delle stesse dimensioni, modello e pressione di gonfiaggio (1,6 bar). Poiché la posizione del baricentro influisce sulla stabilità laterale e longitudinale, considerando anche la massa e la posizione delle bombole del gas - con particolare riferimento a quelle installate in una posizione elevata sul lato posteriore della cabina - potrebbe influire sull'assetto del trattore, è stata determinata la posizione del baricentro. Questa misura è stata fatta in conformità con la norma ISO 789-6: 1982 (confermata nel 2014) - Parte 6 e la sua modifica Am 1: 1996. A tale scopo sono stati utilizzati apparecchi di prova costituiti da quattro piattaforme digitali portatili per la pesatura delle singole ruote di veicoli pesanti collegate a un registratore di dati a quattro canali (Dini Argeo, Modena, Italia); le dimensioni delle piattaforme erano 700 x 450 x 58 mm ciascuna con una portata massimadi 10.000 kg. Per misurare l'inclinazione del trattore, è stato installato un inclinometro digitale EN 17 Fisco Solatronic (The Solar Design Company, Machynlleth, Regno Unito) con una risoluzione di 0,1 °. Il trattore era stato inclinato a 20 ° per mezzo di una gru a ponte di 16t di capacità. Entrambi i trattori erano pieni di carburante, con un peso extra di 75 kg sul sedile per simulare la presenza di un conducente; tutti i pneumatici sono stati gonfiati a 1,6 bar. Il campo di visione dell'operatore rappresenta un elemento ergonomico legato alla visibilità: attualmente, la valutazione normativa prevista dalla direttiva 74/347 / CEE del Consiglio tiene conto solo della vista dell'emiciclo anteriore; alla luce della particolare posizione





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

delle bombole di metano (posizionate all'esterno dei montanti posteriori della cabina) in questo studio la visibilità è stata determinata applicando gli standard ISO 5006-1 e 5006-2 (1991, 1993) che considera il campo visivo a 360°. Il test aveva lo scopo di valutare gli "effetti di mascheramento" dei componenti strutturali del trattore che limitano la visione dell'operatore, misurando le ombre proiettate su un cerchio a terra ad una distanza di 12 m. Per valutare le prestazioni del trattore durante le più comuni operazioni agricole, è stata effettuata la prova del trattore presso l'azienda agricola "La Bellotta" (situata nella pianura nord-est di Torino, nei comuni di Venaria Reale e Robassomero, Italia 45 ° 10.160 'N, 7 ° 36.661'E, 298 m slm) dove il terreno è caratterizzato da superfici piane, fertili e irrigue. I test sono stati eseguiti con l'obiettivo di ottenere la capacità di lavoro, seguendo il metodo proposto da Reboul (1964, CIOSTA - Commissione Internazionale per l'Organizzazione Scientifica del Lavoro in Agricoltura), e i parametri di prestazione (potenza del motore, velocità e consumo di carburante), registrando i dati rilevanti dalla centralina elettronica del motore (ECU). In questi test i pneumatici del trattore alimentati a metano sono stati gonfiati a 0,8 bar sia sull'asse anteriore che su quello posteriore. Le operatrici usate erano un erpice a dischi a due file combinato con denti a molla e un rullo cestello tandem (Lemken, Germania) con una larghezza di lavoro di 4,0 m. Il peso dell'attrezzo era di 1727 kg; un dissodatore a 5 denti (Pegoraro, Italia) con una larghezza di lavoro di 2,5 m e profondità di lavoro di 400/500 mm. Il peso dell'attrezzo era di 1100 kg.; un rimorchio a due assi (Crosetto, Italia) largo 2.0 m e lungo 5.0 m. Durante queste attività, grazie ai dati sulle prestazioni del trattore acquisiti in continuo alla velocità di 0,1 Hz tramite il CAN-bus del trattore (Controller Area Network), è stato possibile valutare i seguenti parametri operativi: consumo di carburante; regime del motore; coppia del motore; velocità; potenza del trattore; capacità di lavoro. I risultati relativi alla potenza del motore richiesta per il trattore alimentato a metano sono stati calcolati in conformità allo standard AS49E EP496.3 (SAE, 2006).

## **2. Risultati e deliverable**

Il prototipo sviluppato era la prima generazione di trattoriche usano il metano come combustibile, grazie a una recente evoluzione della legislazione europea. In condizioni controllate, il prototipo di trattore a metano ha mostrato prestazioni simili ad un modello comparabile ma azionato da motore diesel (Fig.1).

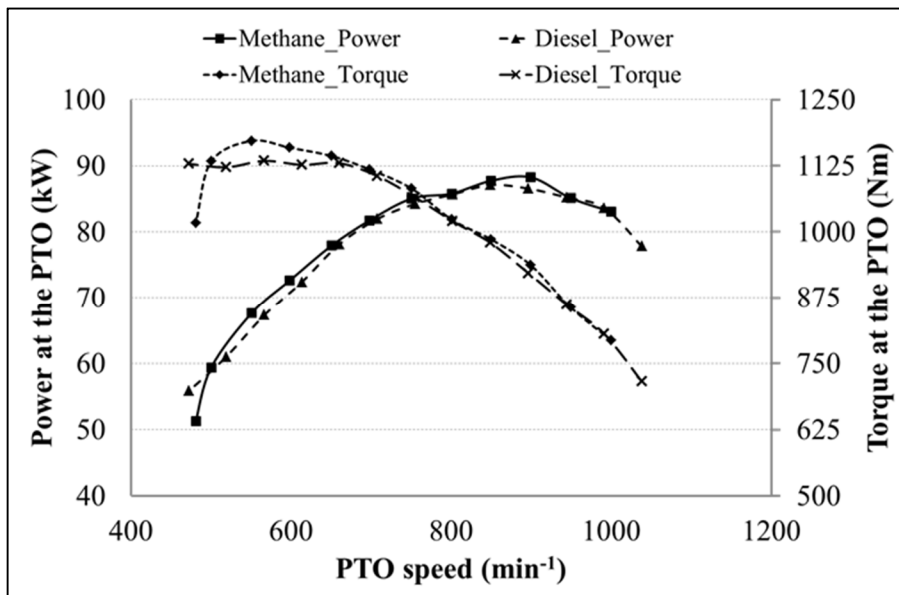


Figura 1. Le prestazioni di coppia e potenza sono equivalenti tra le due alimentazioni (metano e diesel)

In condizioni di campo, il problema principale è l'autonomia che attualmente rappresenta il 40% di un trattore standard comparabile. Questo potrebbe non essere un problema se l'azienda agricola produce in proprio il bio-metano o se si trova vicino a una stazione di rifornimento o se i compiti assegnati al trattore a metano all'interno della flotta aziendale sono focalizzati su un uso a bassa intensità di energia. In questi casi l'unico limite potrebbe essere quello di evitare attività che richiedono di essere lontani dalla sede aziendale. I risultati leggermente sfavorevoli ottenuti sui trattori a metano considerando il campo visivo del guidatore e la posizione del baricentro sono dovuti principalmente alle bombole di gas utilizzate in questo progetto che erano quelle disponibili sul mercato; i futuri sviluppi nei materiali, tuttavia, prevedono nuove forme e pesi, con nuove possibilità di layout per i trattori a metano. Il prototipo di trattore alimentato a metano ha dimostrato di essere un'idea che, per aziende opportunamente organizzate, è sicuramente di interesse sia per quanto riguarda le tipologie di utilizzo che le problematiche ambientali.

### 3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

I trattori a metano oggi rappresentano una popolazione estremamente ridotta di mezzi per lo più prototipali (in Italia ci sono circa quattro esemplari di due costruttori diversi, in continuo movimento presso le varie sedi di prova, anche all'estero). Risulta pertanto estremamente difficoltoso riuscire ad ottenere, dai costruttori, tali esemplari in prova per il proseguo dell'attività. Si stanno tuttavia stipulando accordi in tal senso in analogia con quanto fatto per le attività oggetto della presente relazione.



#### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Nessuna

#### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Il 13 ottobre 2017, si è partecipato all'organizzazione di una giornata dimostrativa in campo (Farm Innovation Lab - Innovazione in campo) in concomitanza con il G7 Agricoltura di Bergamo durante la quale è stata eseguita una dimostrazione operativa del funzionamento del trattore a metano. Di tale giornata è stata anche trasmessa una sintesi dal 1° canale televisivo della RAI, nella rubrica di economia. Nei giorni successivi (13 pomeriggio e 14 ottobre 2017), tale trattore è stato esposto, in modalità statica, nelle vicinanze dell'area di svolgimento del G7 Agricoltura come esempio pratico di tecnologia in grado di abbattere le emissioni di gas climalteranti e di poter operare con combustibili di seconda generazione autoproducibili anche dalle stesse aziende zootecniche mediante l'integrazione all'impianto di produzione del biogas di sistemi di purificazione (upgrading) del biogas a metano.

#### **6. Elenco pubblicazioni**

Bisaglia C., Brambilla M., Cutini M., Fiorati S., Howell M. 2018. Bi-fuel methane/gasoline engine as powersource for standard agriculture tractors: development and testing activities. Applied Engineering in Agriculture 34(2): 365-375. DOI:<http://doi.org/10.13031/aea.12262>. ISSN 0883-8542. (I.F. 2016/2017 = 0.505).



**Task 1.3 Meccanizzazione ad elevata automazione per l'efficientamento energetico**

Task leader: Alberto Assirelli

**Linea 2 di attività: Progettazione e sviluppo di cantieri mirati all'efficienza energetica ed al contenimento dei costi**

Referente: Alberto Assirelli

**Abstract**

Nell'ambito delle attività svolte nel primo anno di attività sono stati approfonditi studi sul diradamento di fiori e frutti su colture arboree e di automazione in zootecnica. In particolare è stato approfondito l'aspetto relativo all'efficienza di alcune soluzioni adottate valutando le forze di distacco di frutti di pesco che hanno presentato nei rilievi effettuati finestre operative molto limitate con immediata perdita di efficienza delle soluzioni di diradamento meccanico disponibili.

I dati relativi alla prima attività sono appena stati pubblicati e sono in corso di elaborazione finale quelli relativi all'applicazione di diradatrici meccaniche in grado di ridurre notevolmente il fabbisogno di manodopera in questo contesto.

Per quanto riguarda il settore zootecnico è stata pianificata con l'Università di Milano una attività di monitoraggio per valutazione degli aspetti energetici ed economici relativi all'applicazione di robot di mungitura e sistemi di automazione dell'alimentazione e pulizia in stalla. Al momento è stata identificata l'azienda e si è in corso di monitoraggio dei sistemi sottoposti ad analisi.



## **1. Attività svolta**

Per quanto riguarda le attività monitorate per l'individuazione di quelle che maggiormente possono avvantaggiarsi di innovazione sono stati eseguiti rilievi su campioni minimi di 5 aziende per diverse attività di coltivazioni vegetali e produzioni animali. Quelle relative a produzioni vegetali sono state ripartite per colture erbacee ed arboree e quelle zootecniche in produzione latte e carne, entrambe in stabulazione libera, sono stati individuati i principali fabbisogni in ore lavorative per tipologia colturale e livello di meccanizzazione riscontrato. Sono stati separati i soli impegni di ore lavoro macchine senza individuare un determinato livelli di meccanizzazione e le realtà monitorate risultano situate in Emilia-Romagna e Lombardia. I dati ottenuti sull'impiego di macchine del settore zootecnico non hanno portato a risultati confrontabili per marcata differenza della disponibilità tecnologica e percorso gestionale per cui nel settore zootecnico ci si è limitati a ai soli impegni di ore uomo. Come analisi finale i dati ottenuti sia per le produzioni vegetali sia per il settore zootecnico sono stati anche confrontati con quelli utilizzati per il programma di sviluppo rurale e pubblicati su Bollettino Ufficiale Regione Emilia-Romagna n. 98 del 29/07/2010 da cui si possono evincere diverse sinergie.

Dai dati ottenuti e dalle considerazioni emerse si sono individuati i cicli produttivi che richiedono i maggiori quantitativi di lavoro su cui concentrare le attività per lo sviluppo di linee di meccanizzazione/automazione. Per quanto riguarda le produzioni vegetali ci si è concentrati sulle colture arboree risultate, ad eccezione di altre particolarmente specialistiche (es. orticole da riproduzione), come richiedenti i maggiori apporti di lavoro quindi in grado di avere i migliori benefici da interventi volti ad incrementare il livello di meccanizzazione attuale anche se in molti casi esaminati non sarebbero proprio ancora definibili di automazione.

Relativamente al settore zootecnico altra attività ha interessato l'automazione degli allevamenti in cui in collaborazione con l'Università di Milano si è avviata una attività di valutazione dell'applicazione delle più moderne tecnologie robotiche disponibili per le attività di mungitura, alimentazione e pulizia degli allevamenti.

Nell'ambito delle attività monitorate per le colture arboree quelle richiedenti i maggiori impegni di lavoro e macchine sono risultate alcune drupacee fra le quali albicocche e pesche ove il diradamento dei fiori e frutti è risultato quello richiedente importanti apporti di manodopera spesso fortemente incidenti sui costi di produzione. Alcune iniziali esperienze erano state condotte da CREA-ING e CREA-FRF fin dal 2016 e nel 2017 avevano visto anche l'impiego di alcune macchine per il diradamento florale e fruttifero su quelle specie. Mentre i risultati su albicocche non avevano mostrato particolari criticità portando alla riduzione significativa dei tempi di lavoro anche comprensivi delle operazioni di finissaggio manuale post-impiego macchina, nel caso del diradamento frutti di pesco si sono evidenziate forti cadute di efficienza del sistema di diradamento



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

meccanico innovativo valutato. Sistema a rotore folle su asse verticale con elementi di diradamento radiali elastici e con terminale in gomma. Allo scopo di individuare le cause di tali problematiche sono stati effettuati dei test con dinamometro per l'individuazione delle forze di distacco dei frutti e quindi poter definire con maggior precisione i momenti idonei per l'impiego della macchina diradatrice. I test svolti in diversi contesti e periodi avevano evidenziato scarsa o scarsissima efficienza di diradamento prevalentemente legata alla varietà, alle dimensioni dei frutti ed al momento di intervento. Durante la pianificazione dei protocolli di prova infatti si era fatto esclusivamente riferimento ai criteri comunemente adottati per gli interventi manuali in cui frequentemente si attende la conclusione della prima cascola post-allegagione. L'impiego della macchina con frutti di dimensioni superiori ai circa 3 cm aveva sortito effetti molto limitati. Per l'esperienza sono stati eseguiti rilievi su diverse varietà di pesco variando il punto di applicazione della forza e quindi valutando come questa vari a seconda della linea di azione applicata. I risultati ottenuti sono in corso di pubblicazione su rivista internazionale per gli interessanti aspetti emersi da cui sono individuabili finestre applicative del diradamento meccanico molto limitate e definite.

Per quanto riguarda il settore zootecnico è stata svolta un'approfondita ricerca bibliografica sulle soluzioni robotiche disponibili ed attualmente commercializzate in Italia ed è stata individuata un'azienda che riunisse le diverse soluzioni per la mungitura, alimentazione e pulizia su un allevamento di dimensioni tali da rappresentare il contesto zootecnico locale.

In collaborazione con i Colleghi dell'Università è stato redatto un protocollo di prova per identificare i parametri da monitorare e le modalità di installazione dei sistemi di acquisizione di concerto con il servizio tecnico del costruttore sia del robot di mungitura, sia del sistema di alimentazione e pulizia dell'allevamento.

Scopo dell'attività riguarda il confronto fra le soluzioni tradizionalmente seguite per la gestione di un allevamento da latte di oltre 100 capi con meccanizzazione tradizionale rappresentata da alimentazione con carro unifeed, sala di mungitura e sistema di allontanamento deiezioni a raschiatore e sistema completamente automatizzato tramite tre robot di cui due dedicati alla mungitura ed uno alla preparazione della razione con caratteristiche estremamente specifiche delle necessità anche individuale dei capi a seconda dello specifico stato in allevamento. Il sistema di alimentazione è rappresentato da un carro miscelatore di modesta capienza che viene caricato autonomamente da una cucina dedicata ove i singoli alimenti (fieni, paglie, insilati, integratori, ecc.) sono mantenuti perfettamente separati ed in perfetta pulizia, quest'ultimo aspetto sembra rimasto una delle poche incombenze cui l'allevatore deve rispondere con la massima attenzione.

Il sistema autonomo consente anche il controllo pressochè in continuo dei principali parametri fisiologici e qualitativi dell'animale relativamente al suo stato sanitario e di regolare





## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

alimentazione/mungitura e del latte prodotto con pronta segnalazione di ogni anomalia all'allevatore per un immediato soddisfacimento degli adempimenti richiesti.

Alla data odierna sono terminate le fasi di raccolta dati anche energetici per il periodo invernale, nel quale sono stati monitorati specifici periodi lavorativi individuando il funzionamento consecutivo o simultaneo di diversi sistemi e macchine. Alla luce della fase conclusa si è in via di pianificazione dei rilievi estivi per valutare come la stagionalità possa influenzare ed in che misura tutti gli aspetti tipici di un allevamento che ha subito una così marcata svolta gestionale. L'obbiettivo finale è rappresentato dal poter mettere a confronto le due modalità per un periodo sufficientemente lungo od almeno tale da caratterizzare le specifiche periodicità annuali.

Le prime impressioni risultano molto favorevoli anche sul piano dell'accettazione da parte degli animali della libera movimentazione delle macchine (robot) soprattutto durante la fase di alimentazione e riallineamento cibo in mangiatoria, anche durante la fase di mungitura, grazie all'impegno dell'allevatore nelle prime fasi il livello di accettazione da parte degli animali verso il robot di mungitura sembra molto elevato e gli animali accedono volontariamente e senza problemi al sistema automatico di mungitura.

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

**2. Risultati e deliverable**

La valutazione delle necessità di alcuni percorsi produttivi ha portato alla quantificazione delle esigenze lavorative ove possibile separando le ore complessive da quelle relative all'impiego delle macchine. In tabella 1 sono riportati i valori medi e deviazione per le realtà esaminate.

Tabella 1 - Principali cicli produttivi esaminati con monte ore uomo e macchina ripartite per ettaro nel caso delle produzioni vegetali e capo allevato produttivo (vacca/vitellone) per il settore zootecnico

Fabbisogno ore Lavorative				
Produzioni vegetali	uomo		macchina	
	h		h	
Erbece	media	dev.st	media	dev.st
Granella	38	1.41	4	0.71
Fruento	55	0.71	5.3	0.49
Mais da granella	50	1.41	5.9	1.48
Mais ceroso	45	2.12	5.1	0.07
Girasole	46	1.41	5.1	0.42
Sorgo	41	0.71	4.8	0.28
Soia				
<b>Riproduzione</b>				
Barbabietola	130	1.41	19.5	1.06
Carota	115	3.54	6	1.41
Cavolo	235	3.54	8.5	1.06
Cipolla	207	4.95	24	1.41
<b>Arboree</b>				
Albicocco	476	2.83	19.5	1.06
Melo	435	3.54	37.5	1.06
Noce	170	1.41	21	0.71
Pero	438	1.41	34	0.71
Pesco	515	3.54	31.5	1.06
Susino	432	5.66	19	1.41
<b>Allevamento bovino</b>				
Latte stab. libera	30	1.41		
Carne stab. libera	17	2.12		

L'approfondimento non ha più riguardato colture erbacee da granella per il già contenuto fabbisogno riscontrato quindi scarsamente passibile di ampi margini di intervento ed il settore erbaceo da riproduzione riscontrato molto specifico e con campioni molto diversificati in superfici



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

e tecnologie applicate. Nell'ambito delle colture arboree i maggiori fabbisogni sono risultati per albicocche e pesche per le quali il diradamento, anche per esperienze già condotte in ambito CREA rappresenta una voce importante di spesa del ciclo produttivo. Per quanto riguarda il settore zootecnico ci si è orientato nella produzione di latte per le quali sono stati effettuati notevoli introduzioni di tecnologie innovative nel ciclo produttivo.

Per quanto riguarda le colture arboree, alla luce delle esperienze precedenti sono stati effettuati approfondimenti su 4 colture di pesco su cui sono stati effettuati rilievi di forze di distacco in periodi ben definiti dalla data di fioritura.

Nella tabella 2 sono indicate le varietà su cui sono stati fatti i rilievi e le principali date di intervento.

Table2 - Phenological information of evaluated varieties and days between thinning and full blooming and thinning and harvest time.

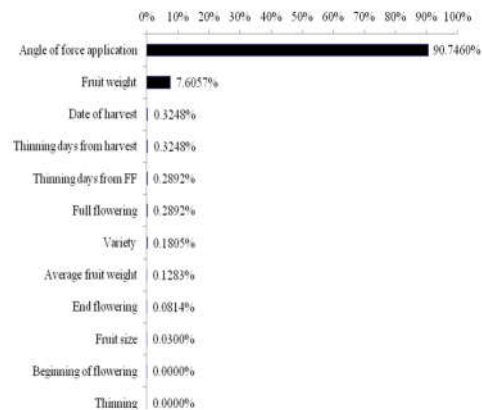
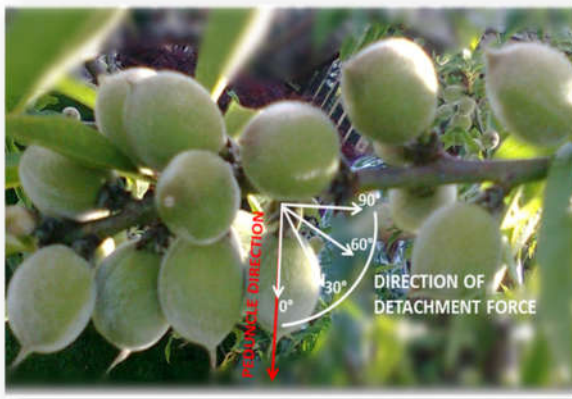
Varieties	Fruit size at Harvest*	Blooming Start (BB)	Full Blooming (FB)	End Blooming	Days After full blooming (DAFB)	Harvest Date	Days before Harvest
IFF 813	B	13-Mar	20-Mar	26-Mar	52	15-Jul	65
Ghiaccio1	A	19-Mar	24-Mar	28-Mar	48	12-Jul	62
Suncrest	AA	05-Mar	10-Mar	15-Mar	62	23-Jul	73
Nectaross	A	14-Mar	20-Mar	25-Mar	52	01-Aug	82

\* AA:  $73 \text{ mm} \leq \varnothing < 80 \text{ mm}$ ; A:  $67 \text{ mm} \leq \varnothing < 73 \text{ mm}$ ; B:  $61 \text{ mm} \leq \varnothing < 67 \text{ mm}$

Lo schema di applicazione del dinamometro è rappresentato in figura 1.

Figura 1a e b - Angoli di applicazione per il rilievo delle forze di distacco e analisi delle variabili secondo General Regression Neural Network (GRNN) Model.

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018



Come evidenziato dall'analisi delle variabili (figura 1b) l'angolo di applicazione e molto in minor misura il peso del frutto sono influiscono direttamente sulla capacità di distacco e quindi il sistema di diradamento adottato non può prescindere da questi aspetti per la coltura pesco.

Per quanto riguarda il settore zootecnico sono stati eseguiti i rilievi invernali e si stanno approntando quelli estivi per poter coprire le principali variabili del ciclo produttivo. I dati raccolti sono in fase di elaborazione e le immagini sottoriportate rappresentano il sistema di alimentazione robotizzato durante le fasi di installazione dei sistemi di monitoraggio degli aspetti energetici.



**3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Nessuno

**4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Nessuna

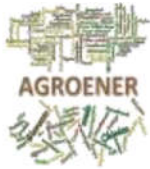
### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

17-20 luglio 2017 11a Conferenza Europea Agricoltura di Precisione (ECPA) John McIntyre Centre, Università di Edimburgo (UK)

### **6. Elenco pubblicazioni**

Faugno Salvatore; Cacchi Mattia; Sirri Sandro; Caracciolo Giuseppina; Giovannini Daniela; Quacquarelli Irene; Civitarese Vincenzo; Assirelli, Alberto Mechanical thinning of apricot fruitlet Chemical Engineering Transaction 2017 Vol.58, 259-264

Assirelli, A.; Caracciolo, G.; Cacchi, M.; Sirri, S.; Pallottino, F.; Costa, C. Evaluation of the Detachment Force Needed for Mechanical Thinning of Green Peach Fruits. *Sustainability* 2018, 10, 2291.



**Task 1.4 Sviluppo e testing sperimentale di algoritmi per la stima efficiente dei consumi delle lavorazioni agricole (ettaro-coltura)**

Task leader: Dr Corrado Costa

**Linea 1 di attività: Acquisizione dati relativi ai parametri tecnici, energetici ed economici inerenti le operazioni colturali agricole e le operazioni forestali**

Referenti: Marco Fedrizzi, Giulio Sperandio, Daniele Pochi, Roberto Fanigliuolo

**Linea 2 di attività: Sviluppo dei modelli matematici multivariati**

Referente: Corrado Costa

**Linea 3 di attività: Sviluppo del software ed integrazione sul sito internet**

Referente: Corrado Costa

**Abstract**

Per quanto riguarda lo sviluppo e testing sperimentale di algoritmi per la stima efficiente dei consumi delle lavorazioni agricole (ettaro-coltura) è stata condotta una ricerca bibliografica inerente le metodologie multivariate, ed è in corso la raccolta dati inerenti le operazioni colturali agricole e quelli inerenti le operazioni forestali che saranno sottoposti a modellistica multivariata. Su parte di questi dati raccolti sono stati elaborati dei modelli pubblicati su una rivista internazionale con Impact Factor. È stato sviluppato un modello per la stima dei tempi di lavorazione in base a differenti forme di campo ed a molteplici variabili agronomiche (larghezza di lavorazione, velocità, ecc.); tali risultati sono stati inviati ad una rivista internazionale con Impact Factor. La parte client dell'infrastruttura software è stata realizzata.

**1. Attività svolta**

Linea 1 di attività: Acquisizione dati relativi ai parametri tecnici, energetici ed economici inerenti le operazioni colturali agricole e le operazioni forestali

Sulla linea 1 è stata condotta una ricerca bibliografica inerente le metodologie multivariate, i dati inerenti le operazioni colturali agricole e quelli inerenti le operazioni forestali. I dati inerenti le operazioni colturali agricole e quelli inerenti le operazioni forestali sono in corso di acquisizione da differenti fonti.





Linea 2 di attività: Sviluppo dei modelli matematici multivariati

Su un set di dati è stata sviluppata una modellistica previsionale per la stima di costi e dei consumi su 6 operazioni colturali (226 osservazioni; Aratura, Concimazione, Diserbo, Erpicatura, Semina, Trinciatura residui) basata su modelli di regressione multivariata PartialLeastSquares (PLS). Come dati in input sono stati utilizzati: il tempo per unità di superficie, la potenza del motore/Potenza richiesta, il costo di acquisto della macchina motrice o semovente, il costo di acquisto della macchina operatrice. I Risultati sono stati pubblicati su una rivista internazionale con Impact Factor.

È stato sviluppato un modello per la stima dei tempi di lavorazione in base a differenti forme di campo ed a molteplici variabili agronomiche: (area del campo, lunghezza e larghezza del campo, larghezza di lavorazione, velocità, ecc.). Il modello è stato testato su 47 differenti casi di studio reale ed ha riportato eccellenti capacità di stima (maggiori dettagli non sono riportabili in quanto il lavoro è in corso di pubblicazione); tali risultati sono stati inviati ad una rivista internazionale con Impact Factor.

Linea 3 di attività: Sviluppo del software ed integrazione sul sito internet

L'infrastruttura software che verrà implementata su internet è stata predisposta. Verrà utilizzata un'architettura software di riferimento di tipo two-tier (client – server) per la possibilità di combinare sul server i livelli di logica dell'applicazione e di gestione delle risorse che consente di mantenere una certa efficienza. La parte client dell'infrastruttura software è stata realizzata ed è costituita da un modulo di input data (in figura) in cui l'operatore inserisce tramite browser i dati necessari all'utilizzo del modello di stima di tempi, consumi e costi. In dettaglio è stato implementato un form (html5) che invia i dati al server su cui verranno implementati gli algoritmi di elaborazione restituendo l'output con i parametri di ettaro-coltura visualizzati sul client. In questa fase di sviluppo quanto realizzato è in funzione su server locale in quanto a seguito della riorganizzazione web dell'ente l'attuale portale del progetto non è accessibile per modifiche.

## **2. Risultati e deliverable**

D.1.4.1: Ricerca bibliografica inerente le metodologie multivariate.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

È stata effettuata una ricerca bibliografica al fine di conoscere a livello internazionale quali modelli vengono applicati per la ettarocoltura. Parte di questa ricerca è inclusa nella pubblicazione allegata (Guerrieri et al., 2016).

D.1.4.2: Ricerca bibliografica dei dati inerenti le operazioni colturali agricole.

È stata effettuata una ricerca bibliografica al fine di conoscere a livello internazionale su quali operazioni colturali principali vengono applicati modelli per la ettarocoltura. Parte di questa ricerca è inclusa nella pubblicazione allegata (Guerrieri et al., 2016).

D.1.4.3: Ricerca bibliografica dei dati inerenti le operazioni forestali.

È in corso di svolgimento la ricerca bibliografica al fine di conoscere a livello internazionale come vengono applicati modelli per la ettarocoltura nel settore forestale.

D.1.4.4: Sviluppo dei modelli matematici multivariati.

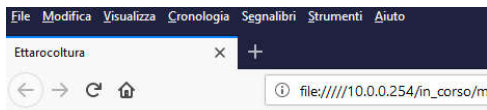
I modelli fin qui sviluppati sono inclusi nella pubblicazione allegata (Guerrieri et al., 2016) e sono stati inviati ad una rivista internazionale con Impact Factor.

D.1.4.5: Sviluppo del software ed integrazione sul sito internet.

La parte client dell'infrastruttura software è stata realizzata.



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018



## Progetto AGROENER

### Ettarocoltura calculator

**Step 1: Dati Lavorazione**

Tipologia

Fuori tempera

Ritorno a vuoto

**Step 2: Dati Agronomici**

Tempo per unità di superficie (h/ha)

**Step 3: Dati Meccanici**

Potenza del motore/potenza richiesta (kW)

**Step 4: Dati Economici**

Costo d'acquisto della macchina motrice o semovente (€)

Costo d'acquisto della macchina operatrice (attrezzatura) (€)

**CALCOLA**

D.1.4.6: Pubblicazioni su rivista scientifica, attività di divulgazione a convegni, attività di formazione. Valutazioni di eventuali varianti dell'impianto sperimentale

Pubblicazione internazionale con Impact Factor (Guerrieri et al., 2016) in allegato.

### 3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Il primo e più importante degli ostacoli è il reperimento dei dati sui quali costruire i modelli multivariati. Nelle riunioni del 3 Febbraio 2017 e del 10 Aprile 2017 si è deciso di operare affidando la responsabilità nel reperimento dati essenzialmente a 3 gruppi di lavoro:

Gruppo 1: reperimento dati nel settore agricolo su bollettini e pubblicazioni (D. Pochi, G. Sperandio, R. Fanigliulo)



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Gruppo 2: reperimento dati nel settore agricolo da contoterzisti (ENAMA + R. Guidotti)

Gruppo 3: reperimento dati nel settore forestale (R. Spinelli, G. Sperandio)

Altri dati per i settori agricolo e zootecnico verranno forniti dai colleghi C. Bisaglia e A. Assirelli.

#### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

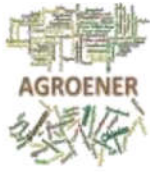
È stato proposto dal Direttore del CREA-IT e coordinatore del progetto AGROENER, Dr Paolo Menesatti, di integrare anche un modello per la stima delle emissioni per le differenti lavorazioni (in corso di elaborazione).

#### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Con i dati preliminari elaborati è stata realizzata una pubblicazione su rivista internazionale con Impact Factor ed un'altra è stata sottoposta a valutazione.

#### **6. Elenco pubblicazioni**

Guerrieri M, Fedrizzi M, Antonucci F, Pallottino F, Sperandio G, Pagano M, Figorilli S, Menesatti P, Costa C, 2016. An innovative multivariate tool for fuel consumption and costs estimation of agricultural operations. SPANISH JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH, 14(4): e0209.



**Task 1.5 Agricoltura di precisione come tool di efficientamento energetico, ambientale ed economico**

Task leader: Carlo Bisaglia

**Linea 1 di attività: Valutazione delle principali tecnologie di AP disponibili nei comparti cerealicolo, frutticolo, orticolo e zootecnico con particolare riferimento ai sistemi di guida automatici.**

Referente: Alberto Assirelli, Carlo Bisaglia, Elio Romano

**Linea 2 di attività: Valutazione del contributo delle macchine operatrici all'AP**

Referente: Daniele Pochi, Maurizio Cutini

**Linea 3 di attività: Valutazione dei risparmi in termini energetici ottenibili in tali comparti con l'applicazione delle tecnologie di AP disponibili**

Referente: Maurizio Cutini, Daniele Pochi

**Linea 4 di attività: Valutazione economica su larga scala dell'impiego di sensoristica di agricoltura di precisione utilizzata per le principali operazioni colturali**

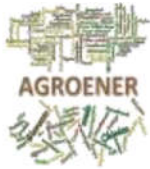
Referente: Corrado Costa

**Linea 5 di attività: Azioni di dimostrazione e di divulgazione dei risultati**

Referente: Carlo Bisaglia, Corrado Costa, Alberto Assirelli, Maurizio Cutini, Federico Pallottino, Elio Romano

**Abstract**

Sono state effettuate ricerche bibliografiche sulla diffusione e impatto dell'AP sia a livello aziendale che a livello di ricerca; in quest'ultimo caso si è indagata la presenza ed evoluzione di articoli scientifici dedicati all'AP con l'obiettivo di individuare anche le tematiche maggiormente trattate ed emergenti. Si è, inoltre, indagato il ruolo dell'AP nel settore frutticolo con particolare riferimento alla raccolta ed alla sua meccanizzazione con criteri di precisione. È stato dotato un trattore di gamma alta con ricevitore satellitare, interfaccia uomo-macchina di tipo tattile e volante elettrico per implementare sperimentazioni basate sull'uso della guida automatica. Infine, sono state attivate soluzioni basate sull'analisi d'immagine (stereovisione) per l'utilizzo su macchine operatrici per il controllo delle erbe infestanti. Alcune delle linee di attività previste hanno già prodotto pubblicazioni scientifiche (riportate nell'apposito paragrafo), mentre alcune azioni divulgative e



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

formative sono state intraprese in occasione del G7 Agricoltura e del Master di I livello su AdP organizzato dall'Università di Teramo, in collaborazione con l'Università della Tuscia, l'Università di Padova, il CREA e il CNR.

### **1. Attività svolta**

Linea 1 di attività: Valutazione delle principali tecnologie di AP disponibili nei comparti cerealicolo, frutticolo, orticolo e zootecnico con particolare riferimento ai sistemi di guida automatici.

Sono state effettuate ricerche bibliografiche sulla diffusione dell'AP sia nel settore aziendale sia nel settore della ricerca indagando le tematiche maggiormente trattate ed emergenti

È stato dotato un trattore di alta gamma di proprietà del CREA-IT di un sistema avanzato per la guida automatica con precisione centimetrica.

Sono state avviate attività sperimentali per individuare gli aspetti funzionali legati all'utilizzo di un trattore a guida automatica

Linea 2 di attività: Valutazione del contributo delle macchine operatrici all'AP

Sono state eseguite sperimentazioni sul contributo di macchine per la raccolta e macchine per il controllo delle erbe infestanti mediante sistemi di raccolta automatici e video camere a stereovisione per il controllo delle erbe infestanti su colture a file.

Linea 3 di attività: Valutazione dei risparmi in termini energetici ottenibili in tali comparti con l'applicazione delle tecnologie di AP disponibili

Sono state eseguite prime azioni sperimentali rivolte alla valutazione non solo dei risparmi ottenibili in termini energetici, ma anche delle potenzialità offerte dai sistemi elettronici per AP a registrare dati sulle lavorazioni al fine di poter effettuare valutazioni gestionali per i futuri interventi.

Linea 4 di attività: Valutazione economica su larga scala dell'impiego di sensoristica di agricoltura di precisione utilizzata per le principali operazioni colturali

Linea 5 di attività: Azioni di dimostrazione e di divulgazione dei risultati

Vedi successivi paragrafi 5 e 6



## 2. Risultati e deliverable

3.D.1.5.1. Reperimento tecnologie di AP nei quattro comparti individuati (ceralicolo, frutticolo, orticolo, zootecnico)

È stata effettuata una ricerca bibliografica e realizzato un manoscritto inviato per accettazione alla rivista Precision Agriculture.

4.D.1.5.2. Classificazione operazioni interessate dall'AP, macchine operatrici e sistemi di controllo della loro esecuzione

Sono stati realizzati diversi Moduli didattici in cui sono state classificate alcune operazioni interessate dall'AP (guida automatica, distribuzione di fitofarmaci, lavorazioni del terreno, sensoristica per zootecnia di precisione, concimazione) e i relativi sistemi di controllo (standard ISOBUS per il controllo delle macchine operatrici da trattore).

4.D.1.5.3. Test di confronto tra metodi tradizionali e agricoltura di precisione.

È stata eseguita una prima serie di prove utilizzando il trattore dotato del sistema di guida automatica acquistato nell'ambito di AGROENER (Fig. 1).



Figura 1. Volante elettrico comandato da ricevitore satellitare a doppia frequenza con precisione centimetrica, centralina ISOBUS con monitor da 10" acquistati grazie al Progetto AGROENER ed installati su un trattore di alta gamma del CREA-IT, sede di Treviglio.

Tali prove hanno consentito di confermare quanto già presente in alcune pubblicazioni scientifiche circa la maggior capacità di lavoro consentita dai sistemi di guida automatica grazie alla maggior velocità consentita, ai minori tempi di lavorazione all'assenza di sovrapposizioni tra passaggi contigui e alla conseguente riduzione di consumi e compattamento. La Fig. 2 consente di apprezzare le differenze in velocità di lavorazione (dissodamento con ripuntatore ad ancore) ottenute con il trattore AGROENER a guida manuale (in alto in figura), assistita (in centro) e automatica (in basso).

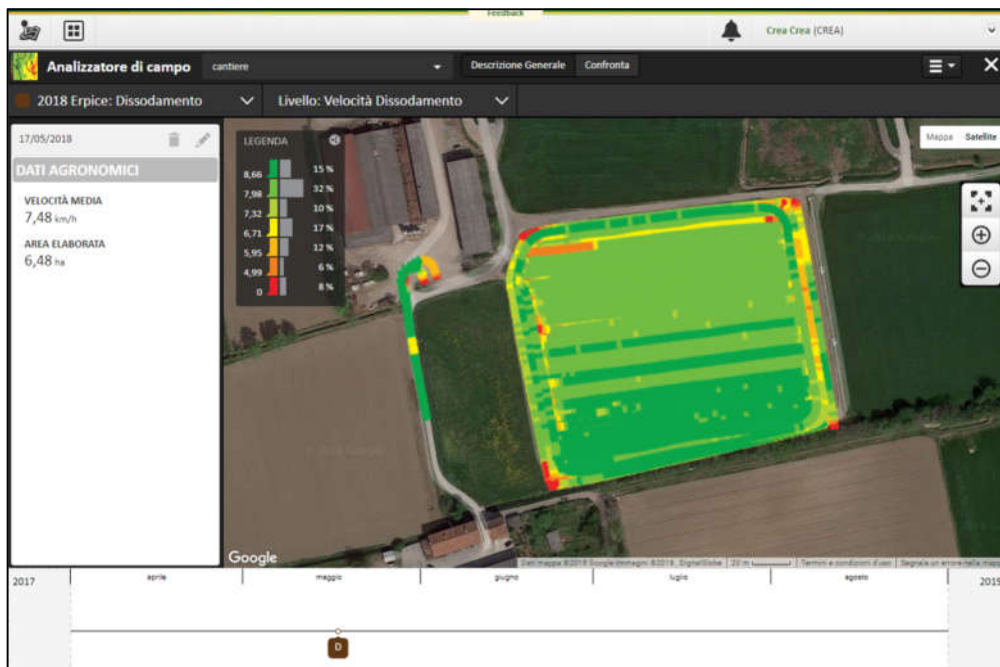


Figura 2. Analisi della velocità di lavoro adottata con guida automatica disinserita (in alto), con guida assistita (in centro) e con guida automatica inserita (in basso)

La velocità di avanzamento del trattore a parità di tutte le altre condizioni è indice di aumentata efficienza del sistema.

### 3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Nessuno

### 4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna

### 5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Il CREA è tra gli organizzatori del Master di I livello in Agricoltura di Precisione nell'ambito del quale alcuni moduli sono stati affidati non solo al Coordinatore del Progetto AGROENER, ma anche a numerosi ricercatori coinvolti nel progetto stesso.



## **6. Elenco pubblicazioni**

Pallottino F, Biocca M, Nardi P, Figorilli S, Menesatti P, Costa C, IN PRESS. Science mapping approach to analyze the research evolution on precision agriculture: world, EU and Italian situation. IN PRESS ON PRECISION AGRICULTURE DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9569-2>

Costa C, Biocca M, Pallottino F, Nardi P, Figorilli S, 2017. Structure of the precision agriculture research in Italy from 2000 to 2016: a term mapping approach. CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, 58: 643-648. DOI: <http://www.aidic.it/cet/17/58/108.pdf>

Assirelli A, Caracciolo G, Cacchi M, Sirri S, Pallottino F, Costa C, 2018. Evaluation of the detachment force needed for mechanical thinning of green peach fruits. SUSTAINABILITY, 10(7): 2291. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10072291>

Pallottino F, Menesatti P, Figorilli S, Antonucci F, Tomasone R, Colantoni A, Costa C, 2018. Machine vision retrofit system for mechanical weed control in precision agriculture applications. SUSTAINABILITY, 10(7): 2209. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10072209>



### **Task 1.6 Risparmio energetico nell'irrigazione anche attraverso sistemi di precisione**

Task leader: dott. Roberto TOMASONE

#### **Linea 1 di attività: Ricerca, analisi e studio di nuovi mezzi e/o macchine e strumenti impiegabili nella moderna tecnica irrigua**

Referente: Roberto Tomasone; Mauro Pagano

#### **Linea 2 di attività: Messa a punto, nell'ambito dell'agricoltura di precisione, di un sistema sperimentale di sensori per migliorare l'efficiamento dell'irrigazione nel campo di applicazione agricolo.**

Referente: Giulio Sperandio, Roberto Tomasone; Mauro Pagano, Marco Bascietto

#### **Linea 3 di attività: miglioramento della permeabilità del suolo mediante impiego della tecnica della *ripuntatura localizzata* del terreno per ottimizzare le risorse per conseguire risparmio energetico**

Referente: Alberto Assirelli, Roberto Tomasone; Mauro Pagano

#### **Linea 4 di attività: Linea 4: Trasferimento e divulgazione del complesso di conoscenze, presso ditte agromeccaniche, aziende agroforestali e comunità scientifica**

Referente: Roberto Tomasone; Mauro Pagano, Giulio Sperandio, Alberto Assirelli

#### **Abstract**

Relativamente alla **Linea 1** è stata attivata una collaborazione tecnico-scientifica con la società TORO-IRRITROL, finalizzata all'analisi di scelte progettuali nei sistemi di microirrigazione, volte al conseguimento di un "risparmio energetico". Pertanto, è stato avviato uno studio sui singoli elementi che compongono l'impianto d'irrigazione, per valutare l'effetto di scelte tra soluzioni diverse sul risparmio economico ed energetico. In particolare, lo studio intende analizzare gli effetti ottenuti da una diversa combinazione degli elementi dell'impianto (durata dell'irrigazione, spaziatura e portata dei gocciolatori, lunghezza e diametro dei tubi, pressione di esercizio). I primi risultati dello studio verranno utilizzati per sviluppare pratici applicativi utili per analizzare le soluzioni adottate nel progetto dell'impianto irriguo.

L'attività sviluppata nella **Linea 2**, ha riguardato in primo luogo la realizzazione di un impianto sperimentale di bamboo, con la messa a dimora delle piante a fine settembre e la conduzione delle cure colturali dell'impianto. A causa di condizioni climatiche sfavorevoli, verificatesi dopo il trapianto, si sono riscontrate numerose fallanze che sono state rimpiazzate ad inizio primavera. È



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

stato installato un impianto di microirrigazione, dotato di una centralina per la programmazione irrigua e la gestione automatizzata di quattro tesi irrigue sperimentali, controllabile in remoto tramite portale dedicato.

In riferimento alla **Linea 3** è stata espletata la procedura per l'acquisizione della macchina operatrice innovativa denominata 'Ripuntatore a piede vibrante', in modo da poter effettuare le prove di lavorazione nei campi sperimentali allestiti presso il CREA-IT Mon, nell'ambito dell'attività del progetto (task 1.6; task 5.1), quando il terreno si troverà nella condizione idonea alla lavorazione.

### **1. Attività svolta**

In riferimento alla **Linea 1** è stata avviata una collaborazione a carattere tecnico-scientifico con la nota multinazionale TORO-IRRITROL. In particolare, grazie alla disponibilità del dott. Piero Santelli (Technical Supervisor presso la ditta per il settore agricoltura) è stata avviata uno studio volto all'analisi delle soluzioni attuabili, nella moderna irrigazione aziendale, per conseguire il "risparmio energetico" nell'irrigazione, congiuntamente ad un uso efficiente della risorsa idrica. In particolare è stata approfondita l'analisi e lo studio sul risparmio energetico conseguibile nei sistemi di microirrigazione. Al fine di acquisire conoscenze specifiche sulla materia, il personale ricercatore coinvolto nelle attività della task ha partecipato ad un corso di formazione sulla "Irrigazione a goccia delle colture agrarie", tenutosi presso l'Università di Bologna (ex Facoltà di Agraria – docente del corso dott. P. Santelli). In seguito, sono stati organizzati una serie di incontri tecnici insieme al Technical Supervisor Toro, per approfondire l'analisi sulle possibili soluzioni da adottare nella progettazione degli impianti irrigui. L'analisi ha preso in considerazione la possibilità di proporre alcune scelte progettuali volte ad ottimizzare gli impianti irrigui, con il fine di conseguire un risparmio energetico ed economico. Sono stati analizzati i diversi componenti dell'impianto irriguo, per valutare l'implicazione di scelte alternative riguardo ai materiali ed ai dispositivi, relativamente agli aspetti energetici ed economici. Lo studio ha portato alla ideazione e alla progettazione di pratici applicativi (fogli di calcolo) da utilizzare in fase di progettazione: uno per la scelta del dispositivo di filtrazione dell'acqua; l'altro per la scelta del diametro della tubazione (ala gocciolante). L'applicativo è finalizzato a individuare, per un progetto specifico, la scelta più vantaggiosa al fine di conseguire un risparmio nell'irrigazione.

In merito alla richiesta di collaborazione inoltrata alla ditta IRRILAND, non si è avuto un riscontro positivo da parte della ditta. La proposta di collaborazione riguardava lo studio del risparmio energetico conseguibile sulle macchine irrigue semoventi (rotoloni o naspi), relativamente alle innovazioni messe a punto dalla ditta stessa. In particolare le due innovazioni da provare riguardavano: il riavvolgimento del naspo con motore elettrico alimentato con impianto fotovoltaico dedicato; l'impiego di nastro di scorrimento per ridurre lo sforzo di trazione nel riavvolgimento della tubazione.



Relativamente alla **Linea 2**, presso il Centro CREA -IT Mon., è stato allestito a scopo dimostrativo-sperimentale un impianto di microirrigazione (su piccola scala), per gestire l'irrigazione del campo in modo 'intelligente', integrando i dati delle variabili irrigue acquisiti nel campo con sensori di umidità del terreno e con centralina meteo dedicata. Per realizzare il campo è stato scelto di impiegare la coltura del bambù gigante ad uso agroalimentare. Il bambuseto sperimentale è stato realizzato con un sesto d'impianto di metri 3x3, realizzando quattro filari su una superficie complessivi di 600 m<sup>2</sup>. Per il campo è stato adottato un disegno sperimentale randomizzato, per il confronto di 4 tesi irrigue, con 4 ripetizioni, per un totale di 64 piante. Le tesi si diversificano in funzione della quantità di acqua da somministrare alle piantine. Lo scopo finale è quello di verificare/valutare, a piantagione matura, il risultato produttivo (produzione di culmi di diverso diametro per uso agricolo/industriale, produzione di germogli ad uso alimentare) in funzione della quantità di acqua somministrata nelle diverse tesi irrigue. Le tesi sperimentali prevedono 4 livelli di ad acquamento, in funzione di prestabiliti livelli di umidità del terreno: 1) livello alla massima capacità di campo; 2) livello a media capacità di campo; 3) livello a bassa capacità di campo; 4) livello alla minima di capacità di campo (irrigazione di solo soccorso). La centralina elettronica 'Idrosat' consente di gestire l'irrigazione dei vari settori in automatico, utilizzando i dati acquisiti dai quattro sensori di umidità del terreno (un sensore per ogni tesi), interrati ad una profondità di 30 cm nella zona esplorata dalle radici delle piante di bambù. Il programma utilizza anche i dati climatici rilevati dalla centralina meteo dedicata (piovosità, temperatura, umidità relativa e velocità del vento). I sensori e le elettrovalvole dell'impianto irriguo sono alimentati tramite un pannello solare fotovoltaico dedicato. I volumi di acqua erogati per le diverse tesi vengono acquisiti dal sistema mediante contatore volumetrico ad impulsi, i dati sono trasmessi via radio e catalogati in un database. Le impostazioni dei vari programmi irrigui possono essere controllate in remoto dal portale dedicato. Attualmente, l'installazione dell'impianto irriguo è stata completata ed è in fase di collaudo, per il controllo del funzionamento ed il rilievo di eventuali anomalie tecniche.

Il bambuseto è stato realizzato in collaborazione con la soc. Bamboo Life srl, con la quale è stato sottoscritto un apposito accordo di collaborazione ad attività di ricerca e sperimentazione. La ditta ha provveduto alla fornitura del materiale di propagazione, costituito da piantine in vaso di bamboo gigante (*Phyllostakys pubescens*) cv. "Moso". Con il consulente agronomo della ditta si è avviato un confronto continuo circa la tecnica colturale ed il monitoraggio dello sviluppo della coltura. Nel corso di questo secondo anno di attività, a causa delle avverse condizioni climatiche verificatesi nella scorsa estate (alte temperature e siccità prolungata) e nell'inverno appena trascorso, caratterizzato da precipitazioni nevose e bassissime temperature (-7°C ÷ -10°C), vi è stata una accentuata mortalità delle giovani piantine, che ha determinato fallanze per un 46% del totale. Di conseguenza, si è reso necessario procedere alla sostituzione (in tarda primavera) delle piantine morte, con nuovo materiale vivaistico fornito dalla società Bamboo Life.





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

In riferimento alla **Linea 3** è stata espletata la procedura necessaria per avere la possibilità di disporre della macchina operatrice, denominata “ripuntatore a piede vibrante”, per un periodo di 24 mesi. La disponibilità del ripuntatore consentirà di effettuare le prove di lavorazione del suolo (ripuntatura), negli interfilari dei campi sperimentali allestiti nell’ambito dell’attività del progetto (task 1.6; task 5.1), presso l’azienda sperimentale del CREA-IT Mon. Le lavorazioni sperimentali verranno effettuate nel periodo estivo-autunnale, quando si verificano le condizioni di campo idonee alla lavorazione di ripuntatura.

## **2. Risultati e deliverable**

### D1.6.3. Organizzazione/partecipazione workshop tematico

In riferimento alla sopraindicata Deliverable, non è stato possibile procedere poiché le attività sperimentali hanno subito dei ritardi rispetto all’avvio preventivato.

### D1.6.5. Svolgimento attività II anno

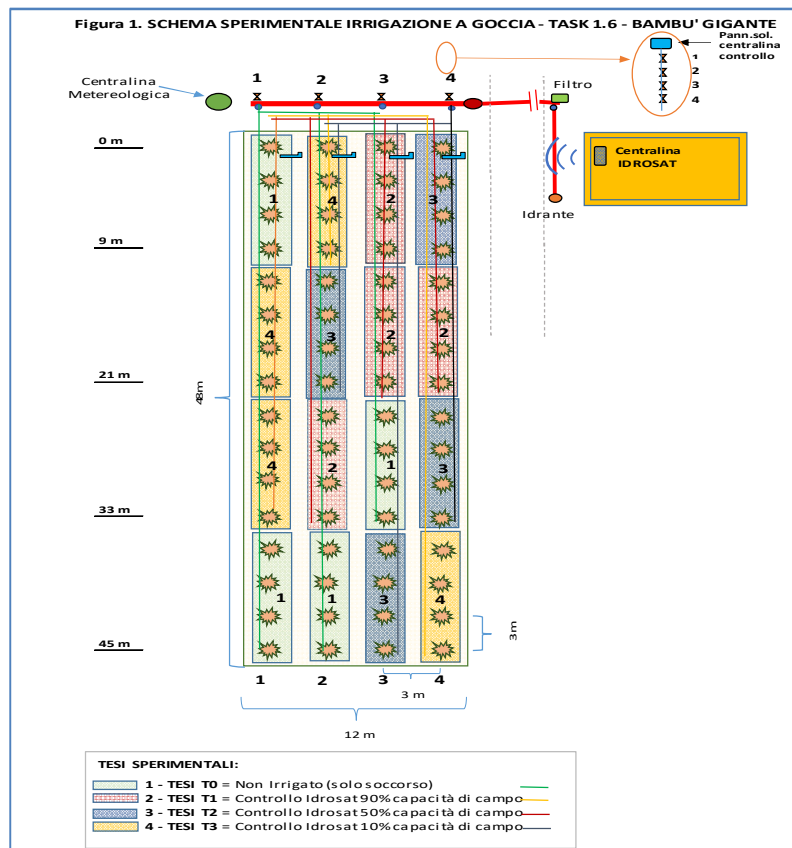
Nell’ambito della **Linea 1**, è stata attivata la collaborazione con il Technical Supervisor della società Toro-Irritrol con sede in Fiano Romano (RM). La collaborazione ha permesso di confrontare soluzioni diverse (materiali e dispositivi), scelte in fase di progettazione dell’impianto di microirrigazione, valutandone gli effetti in termini economici ed energetici, in particolare per impianti poliennali di irrigazione delle colture arboree.

Nell’ambito della **Linea 2**, con la ditta Bamboo Life Srl è stato firmato un accordo di collaborazione, prot. n° 0036394 del 18/09/2017, per la realizzazione del campo di bamboo sperimentale necessario all’attività di sperimentazione. A seguito del perfezionamento dell’accordo la società si è impegnata a fornire le piante di bamboo per la realizzazione dell’impianto e a fornire la consulenza sulla tecnica colturale.

Inoltre, nell’ambito della **Linea 2** è stato definito l’Accordo di collaborazione con Idrobit, prot. n° 0042089 del 23/10/2017. In seguito alla firma dell’accordo è stato possibile avviare la fornitura dei materiali e l’installazione dell’impianto di irrigazione nel campo sperimentale. Inoltre la Idrobit ha fornito la consulenza per la programmazione degli interventi irrigui, per l’utilizzo in remoto del portale per la gestione del programma, la consultazione dei dati irrigui, l’elaborazione di report periodici di irrigazione. La realizzazione dell’impianto d’irrigazione sperimentale del bambusetto è avvenuta secondo quanto previsto dallo schema sperimentale adottato, che comprende le 4 tesi sperimentali completamente randomizzate per i 4 diversi livelli di adacquamento. Lo schema sperimentale dell’impianto di bambù impiantato al CREA-IT è riportato in Figura 1.



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018



Nell'ambito della **Linea 3**, è stato attivato un contratto con la ditta ONG s.n.c. di Naldoni Domenico & C. (Prot. n° 0043681 del 03/11/2017) per l'affidamento di un servizio di consulenza e fornitura di una attrezzatura innovativa per effettuare le prove di ripuntatura localizzata dinamica. Il 'Ripuntatore a piede vibrante' sarà disponibile presso il CREA-IT per un biennio e verrà impiegato nelle prove di campo per affrontare la problematica del compattamento del terreno e le sue implicazioni sugli aspetti fisico-idrologici del suolo.

D1.6.6. Attività di monitoraggio ed analisi dei rilievi di campo

Nell'ambito della **Linea 2** è necessario segnalare che la realizzazione dell'impianto sperimentale ha subito uno slittamento rispetto alla data prevista di realizzazione (*vedi note riportate al punto 3 - difficoltà incontrate*). È stato possibile procedere al trapianto delle piantine di bambù solo a fine estate e, a causa delle fallanze subite, procedere al reimpianto delle stesse solo nella primavera del 2018. Anche l'installazione dell'impianto di microirrigazione è slittato, potendo procedere all'attività dalla primavera del 2018. Questi ritardi hanno comportato uno slittamento dell'attività, pertanto i relativi dati di campo potranno essere acquisiti a partire dal terzo anno di attività.



### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Con la relazione del primo anno di attività, presentata nel luglio del 2017, si è fatta richiesta di apportare alcune importanti varianti tecnico-scientifiche rispetto a quanto inizialmente previsto in fase di stesura della task. Contestualmente è stata presentata la richiesta di variazione tecnico-economica al budget della task. Ad oggi le richieste presentate sono in attesa di essere valutate per l'approvazione.

Alcune attività pianificate per il primo quadrimestre del 2° anno di progetto, specificamente la realizzazione dell'impianto sperimentale, con la messa a dimora delle piante, e l'installazione dell'impianto di microirrigazione, hanno subito uno slittamento nella effettiva data di realizzazione. Per l'impianto è stato possibile preparare il campo e procedere con il trapianto solamente dopo l'estate, a causa di problemi legati all'esecuzione delle lavorazioni pre-impianto e al ritardo nella disponibilità del materiale di propagazione. L'impianto di irrigazione inoltre ha richiesto la conclusione della procedura di attivazione dell'accordo di collaborazione con la ditta Idrobit srl, che si è potuto definitivamente firmare nel mese di ottobre. Questi ritardi comportano uno slittamento dell'attività *pianificata*, che consentirà di raccogliere i relativi dati di campo a partire dal terzo anno di attività.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Nel secondo anno, valutata l'opportunità di approfondire alcune attività sulla Task1.6, è stata presentata la richiesta di inserimento nella Task del collega dott. Marco Bascietto. La richiesta è scaturita dall'esigenza tecnico-scientifica di integrare la sperimentazione avviata nel bambusetto con uno studio finalizzato all'impiego di tecnologie di 'imaging multispettrale' per l'elaborazione di indici vegetazionali specifici per la coltura del bamboo, finalizzati allo studio degli effetti dei diversi trattamenti irrigui previsti dal disegno sperimentale adottato nella realizzazione del campo sperimentale-dimostrativo di bamboo. Lo studio, avvalendosi di tecniche di remote e/o proximal sensing, potrà essere utilizzato per caratterizzare su mappa le risposte della coltura alle diverse tesi di apporto idrico, attraverso l'analisi d'immagine delle parcelle sperimentali.

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Partecipazione al corso di formazione "Irrigazione a goccia delle colture agrarie", tenutosi presso l'Università di Bologna, 24-26 gennaio 2018.

### **6. Elenco pubblicazioni**

Pagano M., Tomasone R., Cedrola C., Sperandio G., Fedrizzi M., Assirelli A., Pochi D., Fanigliulo R., 2018. "RIPUNTATURA: IL PIEDE VIBRANTE, MIGLIORA LE PRESTAZIONI DEL SUOLO". L'Informatore Agrario 37/2018: p.68-71



**Task 1.7 Sviluppo di un programma di supporto alle decisioni (SSD) per la diagnosi energetica di serre esistenti e la valutazione virtuale di opzioni migliorative**

Task leader: Elio Romano

**Linea 1 di attività: Stato dell'arte delle strutture per la produzione orto-floricola in ambiente protetto.**

Referente: Elio Romano e Massimo Brambilla

**Linea 2 di attività: Indagine per la scelta di serre su cui effettuare la sperimentazione in base al livello di input tecnologico utilizzato per la loro costruzione.**

Referente: Elio Romano e Massimo Brambilla

**Linea 3 di attività: Predisposizione di un sistema dinamico di simulazione che permetta di individuare, nel tempo, le variabili che maggiormente influiscono sul bilancio energetico della struttura produttiva.**

Referente: Elio Romano e Massimo Brambilla

**Linea 4 di attività: Predisposizione di un software che in base alle caratteristiche costruttive e gestionali dell'impianto, sarà di supporto alle decisioni finalizzate all'ottimizzazione energetica della struttura.**

Referente: Elio Romano e Massimo Brambilla

**Linea 5 di attività: Valutazione delle possibili vie di implementazione del software di supporto alle decisioni per la messa a punto di un'applicazione informatica (App) di facile utilizzo (e con la possibilità di essere collegata a strumenti per la realtà aumentata) che possa essere consultata su dispositivi mobili come smartphone e tablet di ultima generazione.**

Referente: Elio Romano e Massimo Brambilla

**Abstract**

Nel secondo anno di attività del progetto AGROENER, relativo allo sviluppo di un programma di supporto alle decisioni (SSD) per la diagnosi energetica di serre esistenti e la valutazione virtuale di opzioni migliorative, sono state principalmente condotte azioni di studio e ricerca nei confronti: i) della sensoristica, basata sui microprocessori Arduino o Arduino-compatibili per la predisposizione del sistema di acquisizione di parametri necessari al monitoraggio dell'ambiente interno ed esterno



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

alla serra sperimentale, e ii) della predisposizione degli algoritmi per la costruzione del modello previsionale delle dinamiche energetiche in serra.

In particolare le attività di ricerca su questi ultimi aspetti hanno permesso la produzione di un articolo scientifico per una Conferenza Internazionale che si terrà a Wageningen a luglio. Nello stesso convegno verranno anche presentati i risultati delle attività del precedente anno di studi, relativi allo stato dell'arte e della diffusione della serricoltura in Italia con uno studio della distribuzione spaziale delle aziende orto-floricole italiane.

### **1. Attività svolta**

Le attività del secondo anno di sviluppo del progetto AGROENER, relativamente alla Task 1.7 del Work Package 1, hanno riguardato principalmente la linea di attività 3, relativa alla predisposizione di un sistema dinamico di simulazione che permetta di individuare, nel tempo, le variabili che maggiormente influiscono sul bilancio energetico della struttura produttiva. Lo studio è stato dedicato alla messa a punto di algoritmi presenti in bibliografia ed alla loro interconnessione in un sistema previsionale, per l'ottenimento di scenari diversificati in funzione delle scelte organizzative o strutturali di un apprestamento di protezione.

Una parte dello studio ha riguardato la valutazione dell'analisi di sensitività di un'equazione modificata per la valutazione della perdita di calore dalla serra che tiene conto del contributo della radiazione solare al bilancio energetico generale durante l'inverno.

In questi studi le variabili, studiate nel precedente avanzamento dello sviluppo progettuale, necessarie per la valutazione della perdita di calore sono state valutate in conformità con ASAE D271.2 / 99 e ASAE EP 460/01.

Sono state eseguite valutazioni multiple, attraverso analisi Monte Carlo, per determinare sia gli scostamenti delle previsioni delle equazioni sia la valutazione dell'importanza di ciascuna variabile di input mediante coefficienti standardizzati.

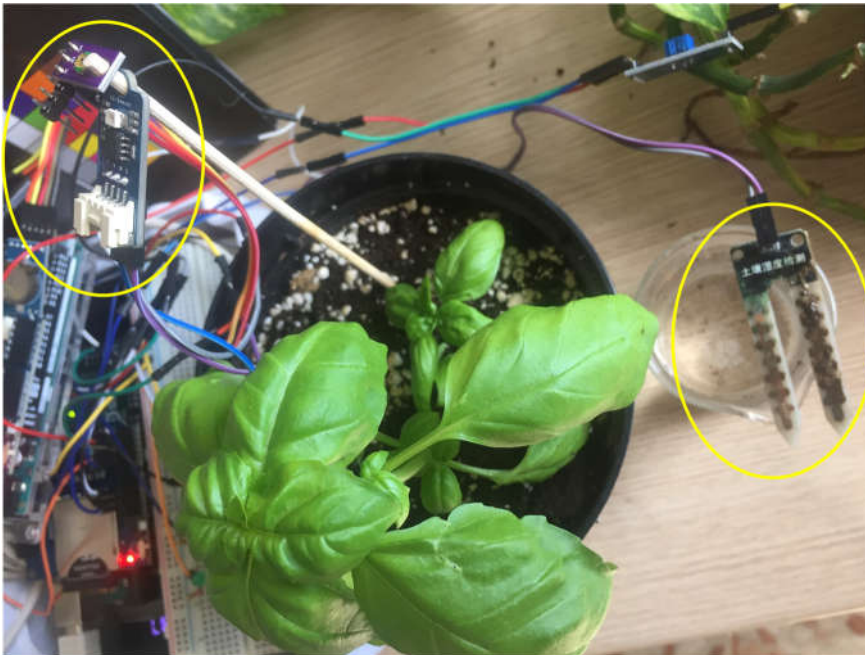
I coefficienti di regressione standardizzati hanno mostrato che nello scenario considerato le variabili che agiscono maggiormente sulla perdita di calore dalla serra sono il coefficiente di trasferimento globale, la superficie della copertura e la temperatura esterna che suggeriscono che nella fase di progettazione, la copertura ed il materiale di costruzione giocano un ruolo decisivo. Ulteriori approfondimenti su questi aspetti sono comunque necessari per focalizzare meglio i test dei modelli al fine di soddisfare le esigenze del settore e per aumentare la sostenibilità della catena di produzione.

Contestualmente altri studi sono stati rivolti all'utilizzo di sensori a basso costo basati sui sistemi di acquisizione Arduino e Arduino-simili (Fig. 1), per poter predisporre un sistema di

---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

monitoraggio consistente in una fitta rete di punti di acquisizione, per informare il protocollo di simulazione, implementarlo e verificarlo.



**Figura 1: Sistema di acquisizione basata su microprocessore Arduino. In evidenza i sensori di umidità del terreno e luminosità ambientale e UV.**

Particolare attenzione è stata posta nei confronti dei sensori di luce per provvedere alla loro calibrazione e taratura. Pertanto, sono state sviluppate serie di prove su untarget ColorChecker, ponendo a confronto diversi sensori dello stesso tipo.

Sono state pertanto ricercati i modelli lineari che meglio potessero adattarsi alla capacità di lettura dei sensori in studio e tali equazioni sono state verificate nella rispondenza dei valori ottenuti (Rfit, Gfit e Bfit) con i valori di RGB codificati (Fig. 2, 3 e 4).

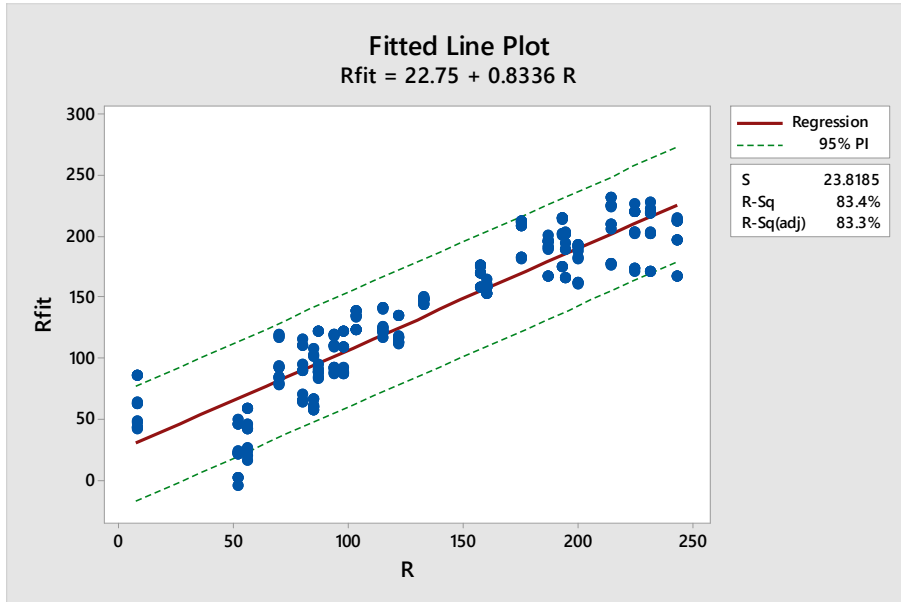


Figura 2: scatter plot e linea di tendenza dei valori predetti di R vs. i valori codificati

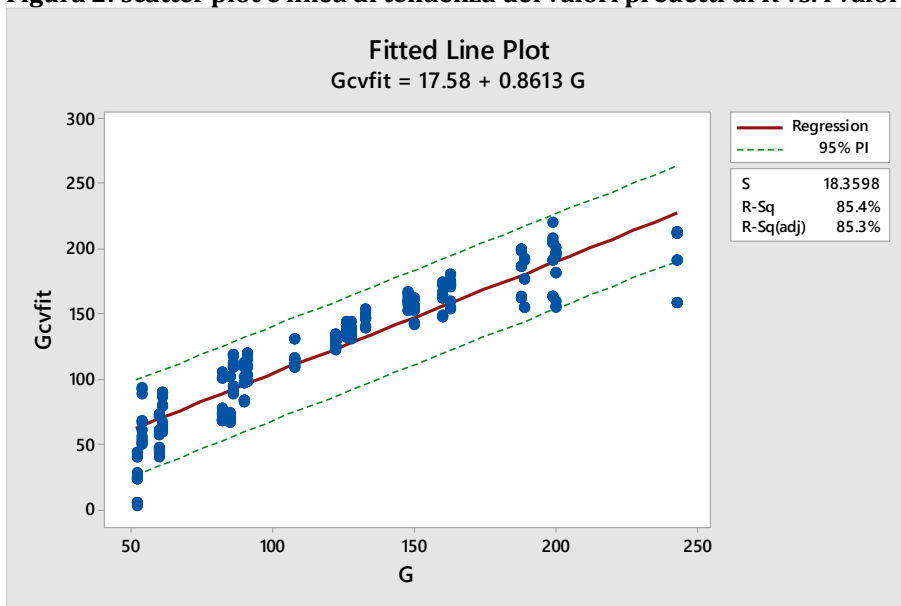


Figura 3: scatter plot e linea di tendenza dei valori predetti di R vs. i valori codificati



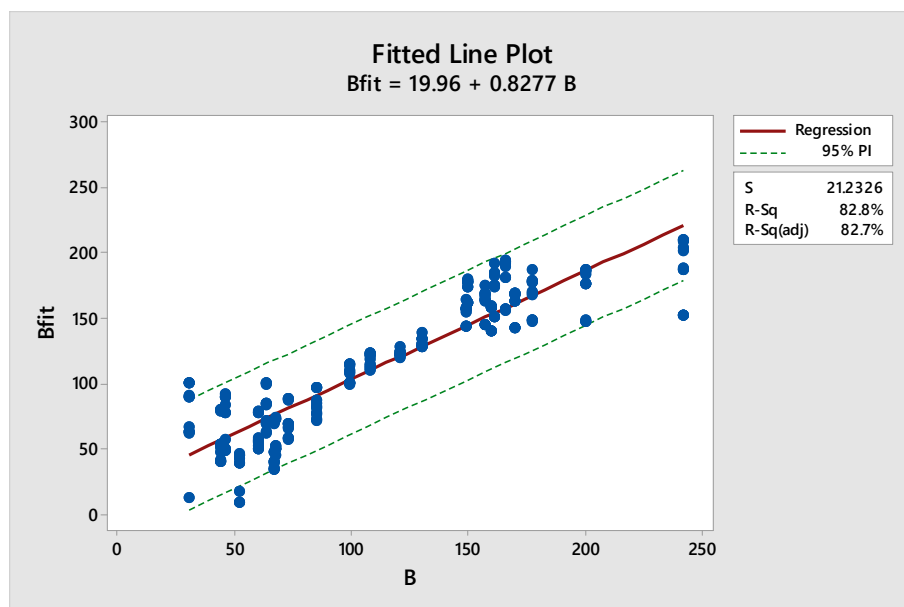


Figura 4: scatter plot e linea di tendenza dei valori predetti di R vs. i valori codificati

Lo studio proseguirà con la calibrazione degli altri sensori al fine di ottenere un sistema di monitoraggio capace di rappresentare le condizioni ambientali e di contribuire alle informazioni necessarie per il bilancio energetico.

L'attività di studio del bilancio energetico ha previsto, in questo anno, anche attività sviluppate in comune con la Task n. 1.8, relativa alla *Riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento delle serre*, attraverso uno studio in una serra sperimentale attrezzata con un innovativo sistema di riscaldamento a basso impatto energetico, sottoposto a monitoraggio.

## 2. Risultati e deliverable

L'attività svolta nella linea di ricerca 3 e l'esito delle ricerche condotte nel precedente stato di avanzamento hanno permesso di produrre due pubblicazioni scientifiche inviate alla conferenza Internazionale EurAgEng 2018, che si svolgerà dal 8 al 12 Luglio 2018, in Olanda, a Wageningen, dal titolo "New engineering concepts for a valued agriculture", con un articolo "Spatial Distribution of Mechanization Levels in Italian Greenhouses", riguardante la distribuzione spaziale delle aziende di produzione orto-floricola in serra e l'eventuale influenza circa l'appartenenza ad un distretto di aziende analoghe, ed un altro articolo "Sensitivity Analysis of a Modified Equation for Greenhouse Energy Demand Assessment" circa l'esposizione dell'analisi di sensitività relativa all'equazione energetica in studio.





## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

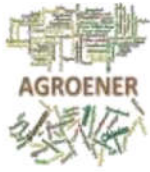
### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Anche l'attività condotta in comune col Task n. 1.8 relativa allo studio sulla Riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento delle serre, ha esitato in un articolo presentato alla stessa conferenza Internazionale sopra menzionata, dal titolo "Effect of BenchHeating on Growing Medium Temperature and HeatLoss From a Greenhouse in Wintertime".

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

La fase di messa a punto del sistema di acquisizione necessita ancora verifiche ed implementazioni, pertanto richiederà un maggior tempo per poter essere in grado di consegnare i dati al sistema previsionale, rallentandone quindi la strutturazione. È possibile che si possano incontrare problemi legati all'ottenimento dei dati grezzi per potere poi procedere all'elaborazione per l'estrapolazione dell'anno tipo.

Per valutare la rispondenza dei dati estrapolati si troveranno accordi per l'acquisizione di dati da impianti in produzione dotati di sistemi automatici di monitoraggio dell'ambiente interno ed esterno alla serra.



### **Task 1.8** Riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento delle serre

**Task leader:** Dott. Marco Fedrizzi

**Linea 1 di attività:** sistemi integrati per il condizionamento termico invernale del substrato di coltivazione di specie florovivaistiche, tecnologie innovative di scambio termico e a pompa di calore.

**Referente:** Dott. Marco Fedrizzi

**Linea 2 di attività:** validazione tecnica, energetica, ed economica dell'impatto delle tecnologie suddette nel settore agricolo della produzione di materiale vivaistico di specie florovivaistiche.

**Referente:** Dott. Marco Fedrizzi

#### **Abstract**

Nel corso del secondo anno di attività del progetto sono state condotte due prove di valutazione del sistema di riscaldamento basale di tipo innovativo installato nella serra in dotazione a CREA-OF, sede di Pescia. La prima prova ha riguardato la valutazione qualitativa dell'andamento delle temperature di un substrato riscaldato con tubazioni coassiali collocate a diverse profondità all'interno di bancali di coltivazione. I risultati delle prove (non ancora pubblicati) mostrano che la migliore diffusione del calore nel terreno si ottiene con le tubazioni posizionate al centro dello strato di substrato da riscaldare. È stata inoltre condotta una seconda prova finalizzata alla valutazione degli effetti, in termini di produzione, dell'impiego di due differenti modalità di riscaldamento dell'ambiente serra per la coltivazione di una specie dalla canopy contenuta come il basilico. Sono stati monitorati e rilevati dati termoigrometrici dell'aria all'interno della serra, del substrato di coltivazione e di irraggiamento solare. Al termine della prova sono state condotte analisi specifiche per confrontare la produzione ottenuta con i due sistemi in termini quantitativi e qualitativi nonché per la valutazione dei consumi tramite un coefficiente di utilizzo dell'energia (EUE=Energy Use Efficiency) espresso in grammi di peso fresco prodotto per caloria fornita al sistema. L'analisi dei dati è attualmente in corso.

#### **1. Attività svolta**

Nel primo anno del progetto AGROENER la serra del CREA-OF, sede di Pescia, destinata alle prove è stata dotata di due impianti di riscaldamento a pompa di calore collegati a due distinte reti idrauliche destinate al riscaldamento basale su bancali di coltivazione.

Nell'inverno 2017-2018 è stata impostata una prova di riscaldamento basale mirata alla valutazione qualitativa dell'andamento delle temperature all'interno di un substrato di coltivazione all'interno



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

di bancali. Nello specifico è stato impiegato un substrato costituito da una miscela di torba e perlite in rapporto 50:50 V/V. Nella realtà operativa osservata preliminarmente alla realizzazione della suddetta prova, è emerso che gli orto-floricoltori utilizzano le tubazioni per il riscaldamento basale, posizionandole direttamente sul fondo dei bancali di coltivazione.

La finalità della prova era quella di studiare quale fosse la posizione ottimale per le tubazioni all'interno del substrato, per poter garantire una maggiore diffusione e omogeneità di temperatura. A tale scopo è stata creata una griglia costituita da 14 datalogger, disposti a distanza regolare in larghezza e profondità, ed inserita all'interno del substrato. In questo modo è stato possibile rilevare dati di temperatura in più punti all'interno di una sezione di substrato. I rilievi sono stati ripetuti disponendo la tubazione scaldante in tre diverse posizioni: sulla superficie del substrato, al centro della sezione del substrato e sul fondo del bancale.

L'impianto di riscaldamento basale è stato testato in coltivazioni per le quali solitamente questo sistema non viene impiegato valutando gli effetti sulla produzione. In particolare:

- 1) è stata valutata la possibilità di coltivare una specie dalla canopy contenuta come il basilico riscaldando soltanto l'aria in prossimità della canopy invece che l'intero volume della serra;
- 2) è stata valutata la possibilità di ottenere produzioni comparabili in termini quantitativi e qualitativi a quelle che si otterrebbero riscaldando l'intera serra;
- 3) sono stati confrontati i consumi dei due sistemi di riscaldamento mettendo a confronto il prodotto fresco ottenuto per caloria fornita dal sistema.

Per poter confrontare i due diversi sistemi di riscaldamento, la serra, dove è stata condotta la prova, è stata suddivisa, mediante teli in polietilene, in due parti uguali per volume e superficie.

Una parte il cui volume è stato riscaldato interamente utilizzando un sistema ad aria costituito da un bruciatore di tipo tradizionale alimentato a gasolio; l'altra in cui è stata riscaldata solo l'aria della canopy utilizzando un riscaldamento ad acqua costituito da tubazioni in polietilene semplicemente appoggiate sulla superficie del substrato. Le due linee di tubazioni ad acqua calda sono state alimentate una con caldaia a condensazione alimentata a GPL, l'altra con pompa di calore aria-acqua alimentata elettricamente. La coltivazione di basilico è stata effettuata su bancali impiegando come substrato colturale un substrato torba: perlite 50:50 V/V, e gestendo la nutrizione delle piante in fertirrigazione (soluzione nutritiva standard). L'impianto di fertirrigazione è stato realizzato con linee gocciolanti autocompensanti, con fori distanziati 20 cm e portata 2 l/h; gli interventi irrigui sono stati gestiti in funzione dell'andamento climatico, mantenendo il substrato a capacità di campo.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Entrambe le parti in cui è stata suddivisa la serra sono state attrezzate con datalogger per il rilievo dei parametri termoigrometrici dell'aria in serra e nella canopy, del substrato nei bancali e dell'irraggiamento solare.

Quotidianamente sono stati monitorati i dati climatici e i consumi dei tre diversi generatori di calore; settimanalmente sono stati condotti rilievi sulle altezze delle piante e sull'indice SPAD. Prima dell'ultimo sfalcio, avvenuto nei primi giorni di aprile, sono state condotte analisi sugli scambi gassosi e sulla florescenza.

Al termine della prova, sono state condotte analisi per quantificare la produzione ottenuta, analisi fisiologiche e dei tessuti per verificare la qualità della produzione ottenuta con i due diversi metodi di riscaldamento (intero volume serra vs canopy), valutazione ed analisi dei consumi di ciascuno dei tre generatori di calore impiegati. Si è deciso di esprimere il consumo tramite un indice di efficienza energetica (EUE: Energy Use Efficiency) che esprime il numero di grammi di peso fresco di prodotto ottenuto per energia fornita dal sistema. Infatti affinché un intervento possa essere considerato un reale intervento di efficienza energetica non è solo sufficiente consumare meno energia, ma è necessario consumare meno energia continuando a fornire, come nel caso sopra trattato, la stessa produzione in termini quantitativi e qualitativi a quella che si sarebbe ottenuta senza aver effettuato l'intervento di efficientamento.

## 2. Risultati e deliverable

Per quanto riguarda la prova condotta per la valutazione qualitativa dell'andamento della temperatura all'interno del substrato di coltivazione al variare della posizione delle tubazioni nella profondità del bancale, da una elaborazione statistica dei dati, è emerso che la maggiore uniformità di temperatura del substrato si ottiene disponendo la tubazione al centro della sezione (Fig. 1).

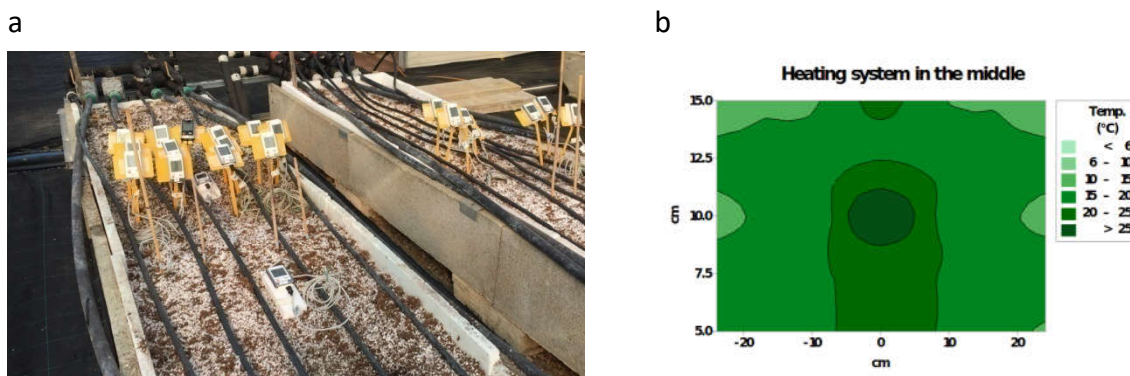


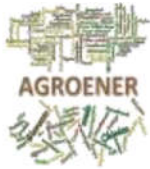
Figura 1. a. Posizionamento dei datalogger all'interno del bancale

b. Andamento delle temperature nel substrato con tubazione posta al centro del bancale

Per quanto riguarda la prova di confronto tra i due diversi sistemi di riscaldamento per la coltivazione del basilico, i dati relativi ai consumi dei tre diversi generatori di calore impiegati, sono in fase di elaborazione.

Per quanto riguarda invece i dati relativi alla produzione nei soli termini quantitativi al momento, dai primi risultati ottenuti, è emerso quanto segue:

in termini di biomassa totale prodotta, l'impianto con riscaldamento della sola canopy, alimentato sia con caldaia che con pompa di calore ha significativamente prodotto un numero maggiore di grammi di biomassa totale per m<sup>2</sup> di superficie coltivata. Questo è stato un dato importante perché ha risposto al primo degli obiettivi precedentemente esposti, ovvero quello di ottenere con il riscaldamento della sola canopy, una produzione quantomeno comparabile a quella che si sarebbe ottenuta riscaldando tradizionalmente l'intero volume. Non ci sono state invece significative differenze in termini di biomassa totale prodotta per m<sup>2</sup> di superficie coltivata tra i due sistemi di riscaldamento della canopy alimentati da caldaia a GPL e pompa di calore. Quest'ultimo risultato è stato una conferma poiché gli impianti sono identici in tutto tranne che nel generatore di calore quindi per questi due sistemi il confronto significativo sarà quello relativo ai consumi e non alla produzione che evidentemente è la stessa.



### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Al momento non si prevedono ostacoli nell'avanzamento del progetto

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Non sono previste varianti alla programmazione dell'attività.

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

In data 01/12/2018 presso la sede CREA-OF di Pescia (PT) si è svolta una giornata divulgativa denominata *“Open-Day Progetto AGROENER: Soluzioni innovative per la gestione della temperatura nelle colture protette ai fini del risparmio energetico”* finalizzata alla divulgazione degli obiettivi della task 1.8 del progetto, nonché alla presentazione delle strutture utilizzate, alla quale hanno partecipato operatori ed addetti del settore ortofloricolo locale.

In data 21/06/2018 durante le *“XII Giornate Scientifiche SOI 2018”* tenutesi presso la Scuola di Agraria di Bologna, è stato presentato il lavoro dal titolo *“Valutazione di un sistema innovativo di riscaldamento basale per la coltivazione invernale in serra di piante orticole”* pubblicato negli atti del convegno.

### **6. Elenco pubblicazioni**

Brambilla M., Romano E., Cutini M., Fedrizzi M., Pagano M., Burchi G., Cacini S., Massa D., Terrosi C., Bisaglia C. 2018. Effect of Bench Heating on Growing Medium Temperature and Heat Loss From a Greenhouse in Wintertime accepted for AgEng conference July 8–12, 2018, Wageningen, the Netherlands

Brambilla M., Romano E., Cutini M., Fedrizzi M., Pagano M., Burchi G., Cacini S., Massa D., Terrosi C., Bisaglia C. 2018. Sensitivity Analysis of a Modified Equation for Greenhouse Energy Demand Assessment accepted for AgEng conference July 8–12, 2018, Wageningen, the Netherlands

Terrosi C., Cacini S., Massa D., Fedrizzi M., Costa C., Cutini M., Brambilla M., Burchi G. 2018. Valutazione di un sistema innovativo di riscaldamento basale per la coltivazione invernale in serra di piante orticole, Acta ItalyHortus, XII giornate scientifiche SOI. Bologna 19-22 giugno 2018.



## **WP2: Sviluppo della filiera delle biomasse solide agroforestali**

WP leader: Dott. Enrico Ceotto (CREA-AA)

### **Abstract**

Il WP2 comprende una serie di studi riguardanti la filiera delle biomasse solide agroforestali, che afferiscono a due distinti settori di ricerca. In particolare, i Task 2.1, 2.3, 2.4 e 2.5 ricadono nel settore 07/C1 (Ingegneria agraria, forestale e dei biosistemi) mentre i task 2.2 e 2.6 rientrano invece nel settore 07/B1 (Agronomia e Sistemi colturali erbacei ed ortofloricoli).

Per il Task 2.1 (Sistemi di compattamento per biomasse residuali), nel secondo anno di attività sono stati presi a riferimento cantieri di espianco di colture arboree seguendo diverse metodologie applicative in funzione della logistica di conferimento della biomassa e del prodotto finale. In particolare, sono state condotte prove su espianco di pesco a diversi livelli di meccanizzazione confrontando linee di lavoro industriali in grado di operare a pianta intera e/o solo parte aerea con/senza processi di compattamento. Dette prove di compattamento sono state eseguite con attrezzature di derivazione non agricola ed i risultati hanno permesso di individuare percorsi applicativi in grado di ridurre il numero di interventi necessari per giungere all'impianto con un prodotto qualitativamente valido.

Il Task 2.2 (Colture e tecniche innovative per la produzione di bioenergia) è articolato su due linee di ricerca: Linea 1 canna comune (*Arundodonax*) e Linea 2 cardo mariano (*Silibummarianum*). Per la Linea 1 è stato condotto, per il secondo anno consecutivo, un esperimento che mette a confronto tre strategie di raccolta della canna comune (due doppie raccolte ed una raccolta unica a fine estate). I dati raccolti forniscono le seguenti indicazioni: i) le raccolte estive hanno determinato una riduzione della produzione totale di sostanza secca rispetto alla raccolta unica a fine settembre; ii) I valori osservati della concentrazione di azoto (N) nella biomassa indicano che i tagli estivi avvengono in momenti di elevata concentrazione di N della biomassa; iii) nonostante la minore produzione, le raccolte estive hanno determinato un incrementato delle quantità di azoto asportato. Poiché la riduzione di produzione determinata dai trattamenti con tagli estivi è stata più sensibile nel 2017 rispetto all'anno precedente, i dati fin qui raccolti suggeriscono un progressivo declino della produttività del canneto con l'anticipo del taglio estivo.

Per la linea 2, nel secondo anno di attività, è stata effettuata la valutazione agronomica di 2 genotipi di cardo mariano in confronto con colza. Date le condizioni climatiche non favorevoli la semina è stata ripetuta 2 volte. Nel secondo anno la coltura di cardo mariano, come quella della colza, non ha avuto un buon sviluppo e, al contrario dell'annata precedente, l'emergenza della coltura è risultata disomogenea. Sono state effettuate le analisi qualitative della biomassa dei 2 genotipi di cardo mariano in studio.





---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Per il task 2.3 (Valorizzazione delle biomasse lignocellulosiche per la produzione di energia termica), nel secondo anno di attività, sono state avviate presso il CREA-IT di Monterotondo tre distinte prove di stoccaggio di eucalipto giunto a fine turno (5° anno) del ciclo di rotazione Medium Rotation Forestry (MRF). Le prove sono finalizzate alla valutazione del comportamento della biomassa, in diverse pezzature (tronchi interi, pezzato, cippato) e modalità di conservazione, durante il periodo di stoccaggio. Nello stoccaggio in piante intere, la presenza delle ramaglie con foglie sembra aver accelerato il processo di disidratazione rispetto alla tesi piante senza rami. Nello stoccaggio dei tronchetti in sacchi di rete, nei primi mesi di stoccaggio la copertura ha influenzato significativamente ed in maniera positiva la velocità di disidratazione. Ci si attende una inversione di tendenza nei mesi estivi dovuta all'irradiazione solare diretta più elevata all'esterno. Nello stoccaggio del cippato in cumuli, il comportamento di entrambe le tesi è in linea con le esperienze pregresse sul pioppo (innalzamento immediato della temperatura subito dopo la formazione del cumulo per processi fermentativi, seguito da un graduale calo delle temperature ancora in corso).

Il task 2.4 (valorizzazione delle biomasse forestali residuali), è articolato su due linee di ricerca: Linea 1 (Utilizzazioni forestali) e Linea 2 (Analisi della sostenibilità economica) tra loro strettamente interconnesse. Per il secondo anno è stato effettuato un confronto, in termini di produttività di lavoro e costi, di due sistemi di lavoro, quello del legno corto *Short Wood System* - SWS) e quello dell'albero intero *Whole Tree System* (WTS) impiegati per la produzione di legna da ardere, nel taglio di un ceduo di eucalipto governato a turno medio Medium Rotation Coppice (MRC). Durante l'utilizzazione sono stati rilevati i tempi di lavoro, base per il calcolo successivo delle produttività e dei costi; la metodologia impiegata nel rilievo è stata quella del 2° livello "rilievo separato dei tempi delle fasi di lavoro" secondo quanto proposto da Berti *et al.* (1989). L'analisi economica è stata svolta tenendo conto dei costi orari delle macchine, delle attrezzature e del personale impiegato. Il calcolo dei costi di esercizio è stato condotto seguendo la metodologia analitica di Sperandio (2010).

Il Task 2.5 (Recupero di residui lignocellulosici da gestione del verde urbano) è articolato in due linee di attività: linea 1 (Studio di cantieri rappresentativi) e linea 2 (Caratterizzazione quali-quantitativa del materiale legnoso). Nel secondo anno ha riguardato l'analisi dei tempi di lavoro di cantieri di abbattimento e potatura del verde urbano. Sono state confrontati cantieri di lavoro classificabili in base due metodologie: "tree-climber" in arrampicata, e con piattaforma elevabile. Per tutti i cantieri sono stati rilevati i tempi di lavoro e valutate le prestazioni operative delle macchine e del personale impegnato, è stata quantificata la biomassa prodotta e sono stati raccolti dei campioni di materiale legnoso analizzati per la caratterizzazione qualitativa. Nei cantieri con piattaforma elevabile, i tempi morti evitabili ed i tempi di preparazione del cantiere sono elevati rispetto al tempo totale di lavoro. Nei cantieri con *tree climber* i tempi di preparazione si dilatano in quanto comprendenti numerose fasi, quali: trasporto delle attrezzature in giardini difficilmente raggiungibili se non a piedi, vestizione con imbracatura, ancoraggio delle funi per la salita e, non ultima, distanza da percorrere per allontanare il materiale tagliato fino ai luoghi di imposto dai quali viene caricata (in media 25 m).



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Il Task 2.6 (Potenzialità produttiva e servizi ambientali di colture da energia su suoli marginali) comprende una serie ampia di attività e si articola su 4 linee di ricerca: Linea 1 (Dataset), Linea 2 (Strumenti software e modellazione), Linea 3 (Simulazione di sistemi colturali per colture da bioenergia), Linea 4 (Indicatori di servizi ambientali e di impatto).

Per la linea 1, nel secondo anno, è stata consolidata la base dai relativi valori di parametri colturali per descrivere la fenologia e la produttività delle colture di interesse e da utilizzare nelle successive fasi di calibrazione e applicazione delle soluzioni di modellazione (MS) a scala nazionale. Dopo aver recuperato e armonizzato l'informazione pedologica (variabili target a distribuzione clusterizzata) e tematica (covariate ambientali a elevata densità) sono state effettuate le spazializzazioni per il territorio nazionale, tramite l'uso di modelli statistici. Sono stati prodotti layers in forma di grid a 500 m per: profondità del suolo, carbonio organico, pH, tessitura dell'orizzonte superficiale minerale e organico. Si è inoltre prodotta la carta nazionale del carbonio stoccato nel suolo, a pixel di 1 km. È stata effettuata l'analisi di *suitability* per sette colture bioenergetiche sulla base di un approccio multicriteriale in ambiente GIS, legato alle peculiarità ecologiche (pedoclimatiche) delle varie specie. Sono state prodotte mappe a scala nazionale di *landsuitability* (250m di risoluzione) per ciascuna specie, ed espresse in termini adimensionali da 0 (non suitable) a 1 (maximum suitability), predisponendo un ranking delle stesse in funzione della produttività. Le mappe derivanti sono state incrociate con una mappa di *landavailability* per individuare i terreni marginali potenzialmente disponibili per l'impianto delle diverse colture bioenergetiche.

Per la linea 2, nel secondo anno le attività sono state focalizzate sull'adattamento/sviluppo delle Soluzioni di modellazione (MS) disponibili per simulare le produzioni delle colture di interesse in risposta alla disponibilità idrica nel suolo. In particolare sono state messe a punto tre MS, basate rispettivamente sui modelli colturali CropSyst (per la simulazione di sorgo, panico e miscanto), ArunGro (specifica per *ArundoDonax* e crotalaria) e ESRC (per la simulazione delle Short Rotation Coppice di pioppo e salice). È stata inoltre sviluppata una versione beta di webservice che permette agli utenti ed all'applicazione che gestisce le simulazioni territoriali (Bioma-Spatial) l'accesso alle serie di dati meteo (clima attuale e futuro) a copertura nazionale prodotte nell'ambito del progetto Europeo PESETA.

Per la Linea 3, nel secondo anno le attività hanno riguardato l'acquisizione, mediante sperimentazione in campo, di dati misurati utili per effettuare la calibrazione e validazione delle MS sviluppate. I set di dati collezionati hanno compreso misure di crescita (e.g. valori di biomassa aerea e fogliare, indice di area fogliare, numero di foglie, altezza della pianta, diametro del fusto all'altezza di petto), rilievi fenologici e dati relativi alla gestione colturale (date di semina, tecniche e volumi di irrigui). Per ciascun set di dati sono stati reperti anche i valori delle variabili meteorologiche necessarie in input ai modelli. È stata infine eseguita la calibrazione e validazione dei modelli colturali WOFOST e CropSyst (già presenti nella piattaforma BioMA) utilizzando dati sperimentali raccolti per sorgo da biomassa e barbabietola da zucchero in località di Rutigliano (BA) e Trinitapoli



## **Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)**

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### **Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

(FO) nel periodo 2012-2014. I risultati ottenuti hanno rivelato un'elevata accuratezza dei modelli utilizzati nel simulare le dinamiche stagionali dell'accumulo di biomassa aerea e del contenuto idrico volumetrico del suolo per entrambe le colture e località; risultati più incerti sono stati invece ottenuti per la simulazione dell'indice di area fogliare. Il completamento della attività delle linee 1, 2, 3 e 4 è prodromico per le attività della linea 4.



## **Task 2.1 Sistemi di compattamento per biomasse residuali**

Task leader: Dott. Alberto Assirelli (CREA-IT)

**Linea 2 di attività: Valutazione di diversi sistemi di trattamento/compattamento a densità regolabile, anche scarrabile**

Referente: Dott. Alberto Assirelli

### **Abstract**

Nel secondo anno di attività sono stati presi a riferimento cantieri di espianto di colture arboree seguendo diverse metodologie applicative soprattutto in funzione della logistica di conferimento della biomassa e del prodotto finale e della sua valorizzazione.

Sono state condotte prove su espianti di pesco a diversi livelli di meccanizzazione confrontando linee di lavoro industriali in grado di operare a pianta intera e/o solo parte aerea con/senza processi di compattamento. Sono state valutati i percorsi operativi tradizionalmente seguiti per gli espianti affiancati a soluzioni innovative in valutazione in areali ove la presenza di impianti attivi determina una concreta domanda di biomassa a volumi crescenti.

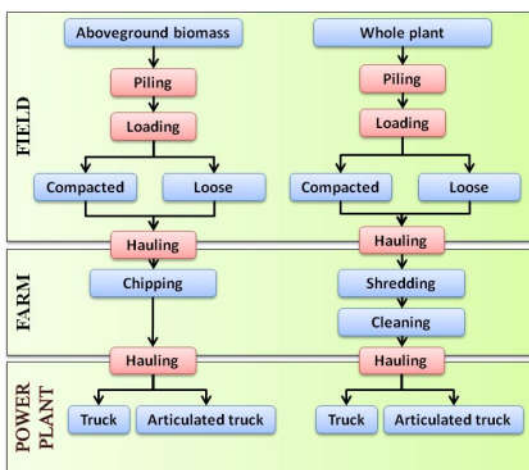
Le prove di compattamento sono state eseguite con attrezzature non prettamente di derivazione agricola ed i risultati hanno permesso di individuare percorsi applicativi in grado di ridurre il numero di interventi necessari per giungere all'impianto con un prodotto qualitativamente valido. Quest'ultimo aspetto risulta particolarmente importante non tanto per una premialità prettamente economica, quanto per l'indisponibilità degli impianti attivi a ricevere biomassa con marcati inquinamenti esterni soprattutto terra ed elementi estranei.

### **1. Attività svolta**

L'attività della Linea 2 nel secondo anno di progetto ha riguardato la valutazione di diverse linee di espianto di frutteti a fine carriera seguiti tramite diversi percorsi applicativi con l'intento di evidenziare vantaggi e criticità legati all'applicazione di tecnologie industriali e non prettamente agricole come fino ad oggi venivano ordinariamente applicate. La ormai messa a regime di diversi impianti di termovalorizzazione ha causato un marcato incremento della domanda di biomassa termovalorizzabile che ha determinato la nascita e sviluppo di imprese specifiche dedicate al reperimento di tale prodotto sul territorio rivolgendosi con interesse al settore delle produzioni vegetali in particolare arboree. Inizialmente sono stati monitorate le linee tradizionali rappresentate

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

dall'espianto manuale con motosega, spesso eseguito direttamente dall'agricoltore, seguito dall'espianto degli apparati radicali. Successivamente sono stati valutati due percorsi a diverso livello di implementazione rappresentati da abbattimento manuale della parte aerea, accumulo a bordo campo, carico ed eventuale compattamento, cippatura e conferimento, confrontato con altra linea rappresentata da espianto pianta intera, compresa di apparato radicale, accumulo a bordo campo, carico con o senza compattamento, scarico in piazzale, premacinatura, selezione corpi estranei, conferimento del premacinato o ulteriore cippatura fino a conferimento all'impianto. Questa successione di operazioni può essere sintetizzata nello schema 1 sottoriportato.



Per l'abbattimento manuale è stata monitorata una linea professionale ma di basso livello per cercare di rappresentare le procedure attualmente più diffuse nel settore agricolo. Per l'accatastamento sono state utilizzate pale cingolate a cui è stata modificata/sostituita la lama anteriore con lo scopo di ridurre la movimentazione di terra principale inquinante della biomassa prodotta. E' in corso di valutazione l'efficienza delle lame anteriori modificate per valutare gli aspetti prestazionali della macchina e qualitativi sulla biomassa movimentata. A partire dal cumulo bordo campo non sono più state utilizzate macchine specificatamente agricole ma ci si è orientati su soluzioni industriali per la gestione di sottoprodotti/rifiuti opportunamente settate. Questo aspetto, legato anche all'ingombro ed alle masse in gioco ha di fatto limitato la possibilità di dislocazione dei cantieri obbligando all'approntamento di aree specifiche pavimentate di adeguata portata. Le successive operazioni di premacinatura, selezione e cippatura sono infatti state eseguite sempre in tali areali presso il centro aziendale ove anche le comuni dotazioni di mezzi per la movimentazione rappresentati da pale gommate ed escavatori con pinza di presa potevano agevolmente muoversi. Nell'attività sono inoltre stati valutati anche diverse forme di trasporto sempre facendo riferimento agli ordinari mezzi disponibili per il settore dell'autotrasporto rappresentati da autotreno ed autoarticolato. Per la valutazione del compattamento è sempre stata necessario utilizzare la

---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

tecnologia di cassoni metallici rinforzati scarrabili per sopperire alle maggiori sollecitazioni trasmesse durante la fase del compattamento. In funzione di questa specifica esigenza si è scelto di utilizzare tale tecnologia anche per il prodotto non compattato per rendere anche meglio comparabili i risultati. In figura 1a e b sono mostrate la fase di caricamento in campo dei cumuli di biomassa aerea nella linea priva di apparato radicale e nella figura 1b la fase di scaricamento di un cassone compattato di cui si può vedere il mantenimento della forma della pila di biomassa legnosa dopo deposizione a terra.

Figura 1 a e b - caricamento in campo e scaricamento biomassa compattata presso il centro aziendale.



Successivamente alla deposizione in piazzale sono state effettuate e monitorate le operazioni di premacinatura e pulizia per ridurre l'inquinamento da terra mediante vaglio rotativo a maglie regolabili per la linea pianta intera, mentre per la linea solo parte aerea si è proceduto direttamente alla cippatura per conferimento in stabilimento.

Di ogni fase (estirpo, andatura, accumulo bordo campo, carico, trasporto, ecc.) e di ogni linea di raccolta (pianta intera, sezionata, con/senza compattamento, ecc.), sono stati monitorati tempi consumi e prestazioni per la successiva fase di analisi economica. I primi dati sono appena stati pubblicati, altri sono in elaborazione per successiva pubblicazione.

## 2. Risultati e deliverable

Il confronto delle linee di raccolta esaminate ha permesso di evidenziare aspetti legati alla produttività dei cantieri ed agli aspetti qualitativi del prodotto finale ottenuto.

I primi rilievi sono stati condotti secondo le linee tradizionali manuali con motosega dalla quale si è evidenziata una produttività piuttosto limitata pari a ca 17 h/ha circa 2 minuti a pianta per la sola





Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

fase di abbattimento entro l'interfila di coltura. Tale operazione sarà successivamente eseguita meccanicamente a cesoia idraulica applicata su escavatore idraulico. Il successivo accumulo a bordo campo tramite pala cingolata non ha evidenziato criticità particolari ed è rimasto contenuto entro le 2.5 h/ha.

Per quanto riguarda il carico nella maggior parte dei casi è stato eseguito con il dispositivo idraulico installato sul camion e dotato di sistema a ragno utilizzato per la maggior parte delle operazioni di movimentazione autonoma. Il compattamento è stato eseguito con il medesimo dispositivo eseguendo due interventi a carico con corpo addizionale abbinato al braccio e passato su tutta la superficie del cassone di carico. Nella tabella 1 sono indicati i tempi di carico relativi all'autotreno da 55 m<sup>3</sup> dai quali emerge una differenza fra le due tipologie di poco superiore ai 6 minuti per carico.

Tabella 1 - Tempi di carico di tre autotreni con e senza fase di compattamento

Tempi di carico (minuti) pianta intera autotreno 55

Non compattato

Compattato

Mezzo	1	2	3	Media	1	2	3	Media
I	14	18	16	16,00	21	23	25	23,00
II	13	16	15	14,67	22	20	19	20,33
III	16	12	18	15,33	24	22	20	22,00
Media				15,33				21,78

Differenza 6,44

La linea che prevede la separazione della parte aerea da quella radicale oltre a permettere la produzione di una biomassa subito in grado di soddisfare i requisiti dell'impianto di trasformazione ha presentato anche una riduzione dei trattamenti intermedi in quanto non richiedendo la pulizia permette di evitare anche lo stadio di premacinazione per cui il prodotto raccolto può direttamente essere cippato e trasportato all'impianto di termovalorizzazione.

Le macchine utilizzate per i trattamenti intermedi (premacinatura-pulizia-cippatura) hanno mostrato produttività piuttosto elevate e tali per cui validano la scelta di evitare l'impiego di campo ove risulterebbe difficoltoso garantire una linea di approvvigionamento adeguata al livello di produttività per cui sono state dimensionate.

Nei rilievi effettuati il campo di espianto era collocato a meno di 20 km dal centro aziendale per cui la fase di trasporto non incide significativamente sul totale delle operazioni indipendentemente dalla linea di raccolta seguita. Particolare da non sottovalutare riguarda lo scarico dei cassoni compattati in cui anche dopo la fuoriuscita dal cassone il cumulo di biomassa manteneva la forma impressa per cui ne veniva avvantaggiata la logistica dello scarico e successivo trattamento con le specifiche attrezzature.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

L'effetto del compattamento sull'incremento di densità non è stato particolarmente marcato (ca 50 kg/m<sup>3</sup>) anche se il limitato tempo registrato per il trattamento e la successiva logistica sul piazzale sembrano mantenere vantaggi complessivi positivi che saranno confermati o meno dalla completa analisi dei risultati attualmente ancora in elaborazione.

La premacinatura rappresenta un'operazione che si è visto consentire un marcato distacco dei corpi estranei soprattutto particelle terrose che rimangono altrimenti aderenti soprattutto agli apparati radicali; la successiva fase di separazione con vaglio rotativo consente un pronto allontanamento della terra. A conclusione di questa linea però è emerso come sarebbe importante che la termovalorizzazione potesse intervenire positivamente già con premacinato evitando l'ulteriore fase di cippatura che rappresenta comunque un ulteriore aggravio di costi.

Nella figura 2a e b sono rappresentati il premacinatore e separatore rotativo utilizzato



I dati di performance sono ancora in fase di elaborazione per la valutazione anche degli aspetti economici e relativi confronti fra le diverse linee di espianto visionate.

**3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Nessuno

**4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Nessuna



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

### 5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

- Workshop "Tecnologie per il risparmio energetico e la produzione di bioenergie in agricoltura (Progetto MiPAAF - AGROENER) del 01/02/2018 presso ente Fiera di Verona
- 26 European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE) 14-17 may 2018 Copenhagen Denmark
- European Society for Agricultural Engineers AgEng 2018 Conference Wageningen NL 8-11/07/2018

### 6. Elenco pubblicazioni

- Alberto Assirelli, Enrico Santangelo. An extractor for unloading the wet biomass stored in silo-bag. *Industrial Crop and Product* 123 (2018). 128-134
- Alberto Assirelli, Enrico Santangelo, Giuseppina Caracciolo, Massimo Brambilla, Carlo Bisaglia, Raffaele Spinelli. TECHNIQUES FOR WHOLE-PLANT REMOVAL IN PEACH ORCHARD FOR ENERGY PURPOSE. *Proceedings 26th European Biomass conference and Exhibition 14-17 may 2018 Copenhagen Denmark*
- Mauro Pagano, Enrico Santangelo, Andrea Acampora, Mirko Guerrieri, Carla Cedrola, Giulio Sperandio, Roberto Tomasone, Francesco Gallucci, Giuseppina Caracciolo, Alberto Assirelli. EXPLOITATION OF PRUNING RESIDUES ALONG WITH BIOLOGICAL CONTROL: A CASE STUDY FOR SWEET CHESTNUT (*Castaneasativa*, MILL.) ORCHARDS IN CENTRAL ITALY. *Proceedings 26th European Biomass conference and Exhibition 14-17 may 2018 Copenhagen Denmark*



## **Task 2.2** Colture e tecniche innovative per la produzione di bioenergia

Task leader: Enrico Ceotto

### **Linea 1 di attività: Canna comune (*Arundodonax*L.)**

Referente: Enrico Ceotto

### **Linea 2 di attività: *Silybummarianum* come coltura da bioenergia**

Referente: Tommaso Martinelli

### **Abstract**

Linea 1: Nel 2017 è stata condotta per il secondo anno consecutivo la prova poliennale su coltura di Arundo. L'obiettivo dello studio era valutare l'effetto di tre trattamenti di raccolta (due doppie raccolte ed una raccolta unica a fine estate). Sono state misurate la produzione di sostanza secca ed i contenuti di azoto della biomassa, che hanno permesso di quantificare le asportazioni di azoto. I dati raccolti suggeriscono le seguenti conclusioni: i) le raccolte estive hanno determinato una riduzione della produzione totale di sostanza secca rispetto alla raccolta unica a fine settembre; ii) I valori osservati della concentrazione di azoto (N) nella biomassa indicano che il primo taglio ed il secondo taglio dei trattamenti R1 ed R2 avviene in momenti di elevata concentrazione di N della biomassa; iii) nonostante la minore produzione, le raccolte estive hanno determinato un incremento delle quantità di azoto asportato. Poiché la riduzione di produzione determinata dai trattamenti R1 ed R2 è stata più sensibile nel 2017 rispetto all'anno precedente, i nostri dati suggeriscono un progressivo declino della produttività del canneto con l'anticipo del taglio estivo.

Linea 2: Nell'annata 2017-2018 è stato allestito un campo sperimentale in località Budrio (BO) per la valutazione agronomica di 2 genotipi di cardo mariano in confronto con colza. Date le condizioni climatiche non favorevoli la semina è stata ripetuta 2 volte. La coltura di cardo mariano, come quella della colza, non ha avuto un buon sviluppo e, al contrario dell'annata 2016-2017, l'emergenza della coltura è risultata disomogenea. Sono state effettuate le analisi qualitative della biomassa erbacea dei 2 genotipi di *S. marianum* in studio.



## **1. Attività svolta**

Linea 1: Nell'azienda sperimentale Cà Rossa del CREA di Bologna, in località Anzola dell'Emilia, è in corso di svolgimento una prova sperimentale poliennale su coltura di Arundo. Sono stati messi a confronto tre trattamenti di raccolta (due doppie raccolte ed una raccolta unica a fine estate). Poiché trattasi di specie poliennale a propagazione vegetativa che attraversa una fase giovanile non eliminabile, l'impianto è stato realizzato nel 2015, ed i trattamenti applicati negli anni 2016 e 2017. I trattamenti sono: i) primo taglio a fine giugno + secondo taglio a fine settembre (R1); ii) primo taglio a fine luglio e secondo taglio a fine settembre (R2); iii) taglio unico a fine settembre (R3). I tre trattamenti di raccolta sono stati valutati con due dosi di fertilizzazione azotata: 250 kg N ha<sup>-1</sup> ed un controllo non concimato (N0). I campioni di biomassa prelevati in occasione delle raccolte sono stati essiccati, macinati, e sottoposti ad analisi del contenuto di azoto con lo strumento Truspec CHN. I contenuti di azoto delle biomasse raccolte hanno permesso di determinare le asportazioni di azoto della coltura per i trattamenti a confronto. Lo schema sperimentale è uno strip-split-plot con 4 ripetizioni, con un totale di 24 parcelle (3 trattamenti x 2 dosi di azoto X 4 ripetizioni). Nel 2017 sono stati condotti campionamenti n.8 periodici di biomassa alle 12 parcelle delle tesi fertilizzate allo scopo di valutare sia il tasso giornaliero di accrescimento sia la variazione dei contenuti di azoto della biomassa nel corso del ciclo della coltura, anche in risposta ai tagli effettuati durante la stagione vegetativa. In campionamenti del 2017 sono stati effettuati nelle date: 2/05, 18/05, 6/06, 27/06, 15/07, 1/08, 1/09 e 5/10.



La foto mostra (in primo piano) la ricrescita, dopo a 30 giorni dalla raccolta, di una parcella del trattamento R2, raccolta a fine luglio, a confronto con una parcella del trattamento R3 (sullo sfondo), con raccolta unica a fine settembre.

Linea 2: Presso l'azienda sperimentale di Budrio (BO) è stato allestito un campo sperimentale per il confronto della produttività di 2 genotipi di cardo mariano usando una varietà commerciale di colza come testimone. Per il cardo mariano sono stati testati i genotipi. Il G20 di origine centro europea e il genotipo G23 di origine italiana. Per ciascuno di questi è stato applicato uno schema sperimentale con 2 diverse densità di semina (4 e 8 piante m<sup>-2</sup>) e 2 livelli di concimazione azotata (0 e 100 U) con tre repliche. La semina è stata effettuata in data 27 settembre 2017. A causa di una forte grandinata avvenuta in ottobre le plantule in sviluppo sono state fortemente danneggiate ed è stato necessario ripetere una seconda semina.

La qualità della biomassa erbacea dei genotipi G20 e G23 è stata analizzata con metodologia NREL e sono stati inoltre misurati il potere calorifico superiore ed inferiore.



## 2. Risultati e deliverable

Linea 1: I dati raccolti nell'anno 2017 vengono di seguito riportati nelle figure 1, 2 e 3.

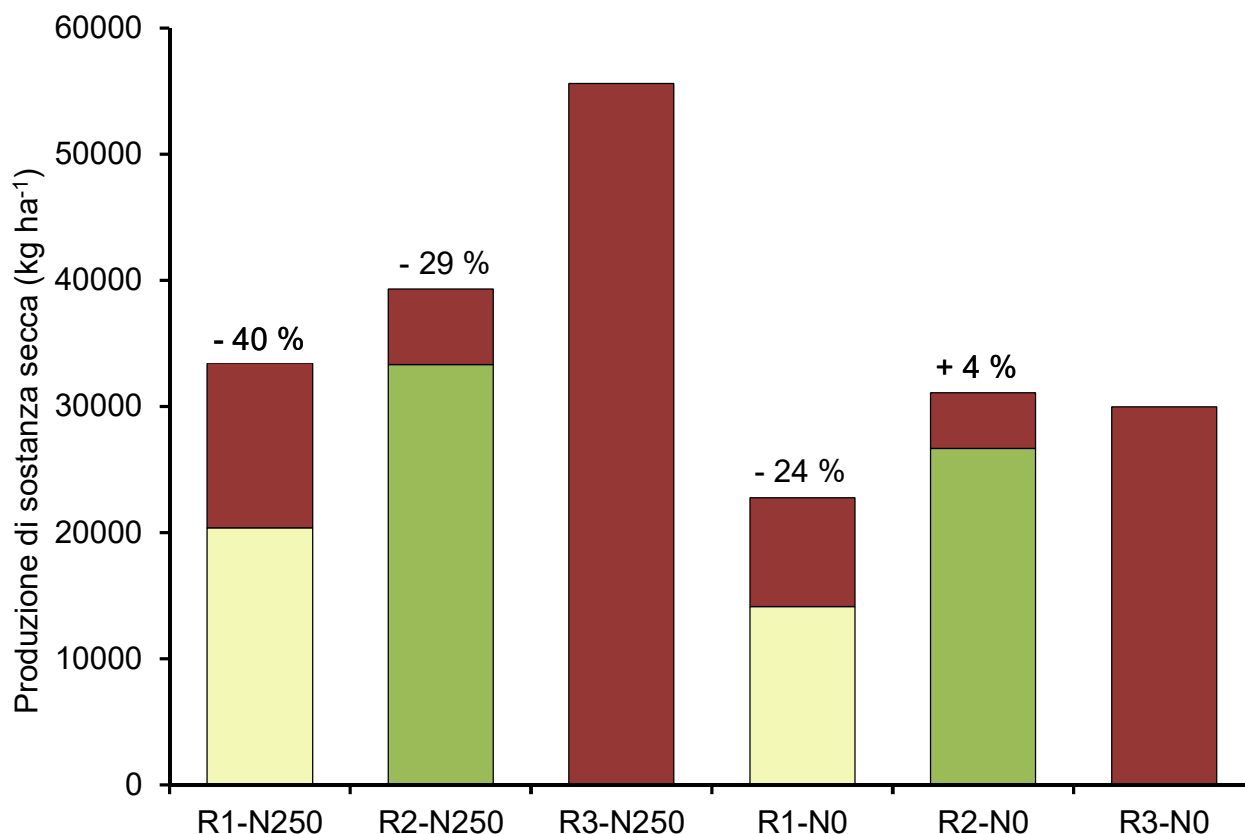


Figura 1. Produzioni di sostanza secca dei tre trattamenti di raccolta in combinazione con le due dosi di fertilizzazione (250 kg ha<sup>-1</sup> e controllo non concimato N0). I trattamenti sono: i) primo taglio a fine giugno + secondo taglio a fine settembre (R1); ii) primo taglio a fine giugno e secondo taglio a fine settembre (R2); iii) taglio unico a fine settembre (R3). Il colore giallo si riferisce alla raccolta di fine giugno, il colore verde alla raccolta di fine luglio, ed il colore rosso alla raccolta di fine settembre.

I dati raccolti nel secondo anno di prova forniscono le seguenti indicazioni: i) rispetto al taglio unico a fine stagione (R3), l'anticipo della data di raccolta ha determinato una marcata riduzione della produzione totale di sostanza secca, del 40% per R1 e del 29% per R2 (figura 1). Poiché la riduzione di produzione determinata dai trattamenti R1 ed R2 è stata più sensibile nel 2017 rispetto all'anno precedente, i nostri dati suggeriscono un progressivo declino della produttività del canneto con l'anticipo del taglio estivo.

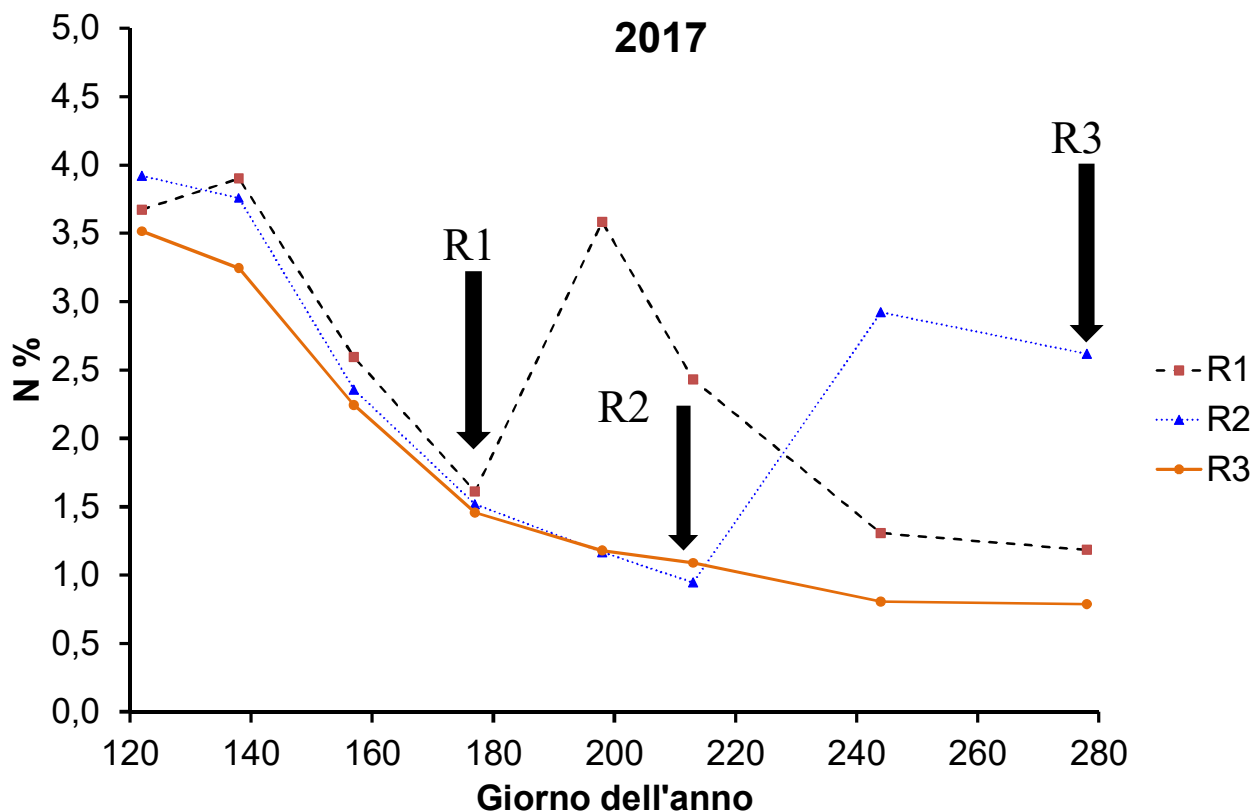


Figura 2. Andamento temporale delle concentrazioni di azoto nella biomassa epigea di Arundo con i diversi trattamenti. Le frecce indicano le date di raccolta. I trattamenti sono: i) primo taglio a fine giugno + secondo taglio a fine settembre (R1); ii) primo taglio a fine giugno e secondo taglio a fine settembre (R2); iii) taglio unico a fine settembre (R3). I dati si riferiscono ai trattamenti fertilizzati annualmente con  $250 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

I valori osservati della concentrazione di azoto (N) nella biomassa indicano chiaramente il primo taglio dei trattamenti R1 ed R2 avviene in due momenti di elevata concentrazione di N della biomassa (figura 2). Come conseguenza del ricaccio della coltura, anche le concentrazioni di N del secondo taglio per R1 ed R2 sono più elevate rispetto al taglio unico R3. I dati osservati nel 2017 sono del tutto coerenti con quelli osservati nell'anno precedente.

La maggiore concentrazione di N alla raccolta ha determinato un incremento delle asportazioni di N della coltura per R1 ed R2, nonostante la minore produttività di biomassa (figura 3). Dette asportazioni sono comunque più contenute rispetto a quelle osservate nel primo anno di prova.



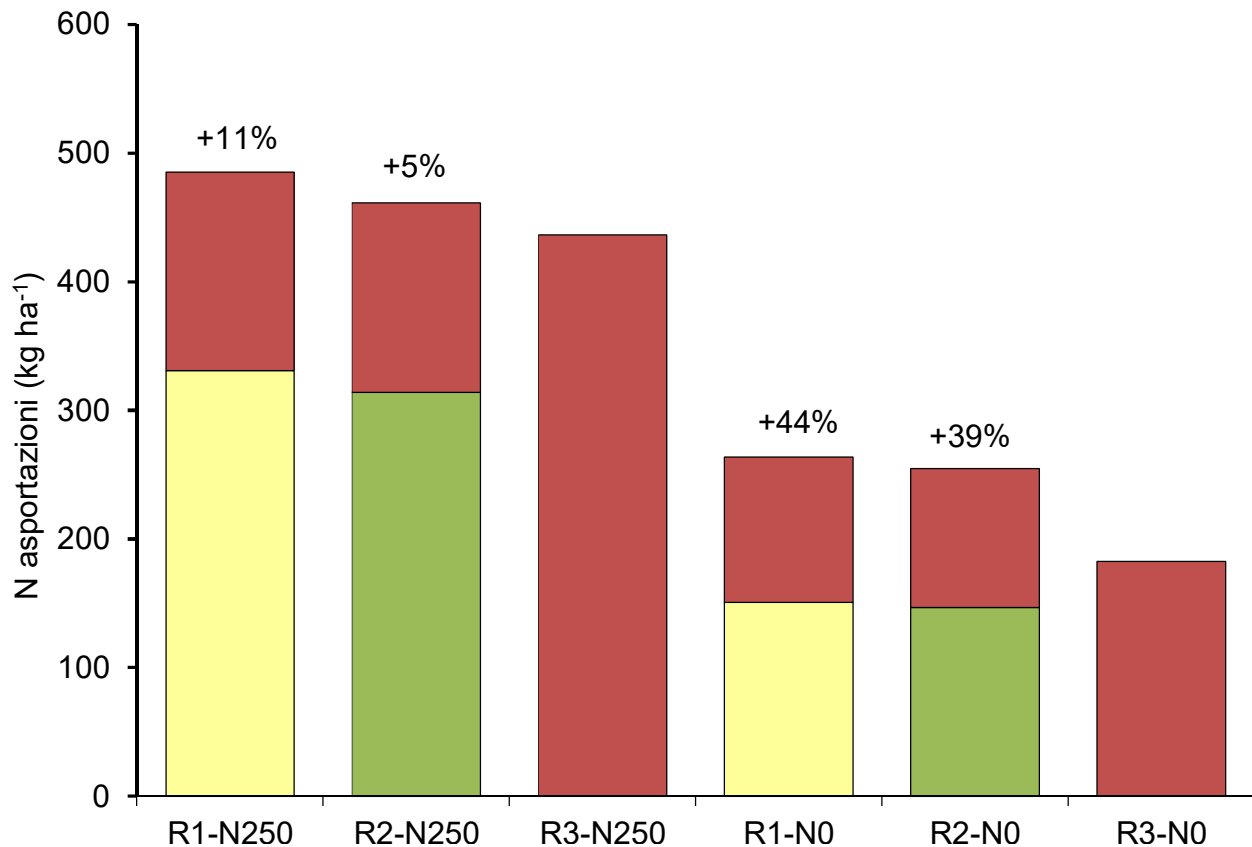


Figura 3. Asportazioni di azoto con i tre trattamenti di raccolta. I trattamenti sono: i) primo taglio a fine giugno + secondo taglio a fine settembre (R1); ii) primo taglio a fine giugno e secondo taglio a fine settembre (R2); iii) taglio unico a fine settembre (R3). I dati si riferiscono ai trattamenti fertilizzati annualmente con 250 kg N ha<sup>-1</sup>.

Linea 2: La produttività di granella *S. marianum* si è attestata intorno alle 2,59 ±0,13 t/ha (±ES, n= 3) contro le 2,57 ±0,13 t/ha misurate in colza. In cardo mariano la massima produttività di granella (3,1 ±0,04 t/ha) si è ottenuta utilizzando il genotipo G20 seminato alla densità maggiore (8 piante m<sup>-2</sup>) e utilizzando 100 U di azoto per la concimazione. Questo genotipo ha mostrato una buona produttività in granella anche quando non concimato (2,7 ±0,13 t/ha). In generale il genotipo G23 ha mostrato una minore produttività in granella rispetto al genotipo G20 (mediamente - 16%). A conferma della buona plasticità morfologica di *S. marianum* non si sono misurate differenze significative per quello che concerne le 2 differenti densità di semina testate. Per quello che concerne la produttività in biomassa erbacea si è misurata una differenza evidente tra *S. marianum* e colza. In cardo mariano la produttività in biomassa erbacea è risultata mediamente di 9,28 ±0,55 t/ha. Al contrario in colza



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

la produzione di biomassa erbacea è stata di  $3,17 \pm 0,15$  t/ha. Anche in questo caso la maggior produttività è stata osservata utilizzando il genotipo G20 seminato alla densità maggiore (8 piante  $m^{-2}$ ) e utilizzando 100 U di azoto per la concimazione ( $11,73 \pm 0,33$  t granella/ha) e mediamente il genotipo G20 si è mostrato più produttivo rispetto al genotipo G23. Lo studio della qualità della biomassa erbacea di cardo mariano secondo la metodologia NREL è stato effettuato per la prima volta. L'analisi ha mostrato un contenuto medio di estrattivi del  $13,14 \pm 0,31$  % ( $\pm ES$ ,  $n=3$ ), di ceneri del  $6,62 \pm 0,27$  %, di azoto totale del  $0,31 \pm 0,03$  %, di lignina insolubile del  $17,69 \pm 0,37$  %. La frazione cellulosa è risultata composta per il  $33,67 \pm 0,50$  % da glucani e per il  $12,42 \pm 0,28$  % da xilani. Il potere calorifico superiore e inferiore sono risultati rispettivamente di  $18105 \pm 107$  e  $16915 \pm 106$  J/g PS. Le maggiori differenze tra i 2 genotipi in studio sono risultate a carico del contenuto di ceneri, lignina insolubile e azoto totale che sono risultati lievemente superiori nel genotipo G23 rispetto al G20.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Linea 1: Non è stata incontrata alcuna difficoltà nello svolgimento del secondo anno della ricerca.

Linea 2: A causa di una forte grandinata avvenuta in ottobre le plantule in sviluppo sono state fortemente danneggiate ed è stato necessario ripetere la semina effettuata in data 27 settembre. La seconda semina è stata effettuata in data 13 ottobre 2018. A causa della formazione di una spessa crosta superficiale, anche a seguito di questa seconda semina, l'emergenza della coltura è risultata molto disomogenea.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Nessuna

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Il responsabile della Task 2.2 ha partecipato, in qualità di Topic Organizer, al Conference Committee Meeting della conferenza EUBCE 2018, tenutasi a Bruxelles (Belgio) il 12 dicembre 2018.

Il responsabile della Task 2.2 ha partecipato, in qualità di WP2 leader, al Convegno di presentazione dei risultati del progetto AGROENER tenutosi in data 1 febbraio 2018 presso la Fiera Agricola di Verona.

Il responsabile del Task 2.2 ha partecipato alla 26° conferenza European Biomass Conference and Exhibition, tenutasi a Copenhagen dal 14 al 17 maggio 2018.

In occasione della conferenza ha presentato i seguenti contributi, realizzati con i dati raccolti nell'ambito del progetto AGROENER:



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Nella sessione 1CO.9 – Energy crops production: challenges and opportunities, tenuta mercoledì 16 maggio, ha presentato la comunicazione orale dal titolo: Summerharvestsgreatlyincrease the nitrogenuptake of the energygrassgiantreed, autori E. Ceotto, S. Cianchetta, S. Galletti;

Nella sessione 3DV.4 – Pretreatment, enzymatic hydrolysis and fermentation for bio-alcohols production, tenuta giovedì 17 maggio, ha presentato la visualpresentation (poster+5 minuti presentazione orale) dal titolo: Giantreed and milkthistle sugar yieldafteralkalinepre-treatment and enzymatic hydrolysis in comparison with standard wheatstraw, autori S. Cianchetta, E. Ceotto, S. Galletti;

Il responsabile del Task 2.2 è stato inoltre chairperson della sessione 1BO.5 – Biomassfeestock, residues and by-products, tenuta martedì 15 maggio.

#### 6. Elenco pubblicazioni

1) Ceotto E., Castelli F. (2017), Response of the Energy Grass Giant Reed to Three Harvest Strategies: Crop Growth Rate and Dry Matter Yield. Proceedings of 25th European Biomass Conference and Exhibition 2017, 283-285. DOI: 10.5071/25thEUBCE2017-1DV.2.22. ISBN: 978-88-89407-17-2.

2) Ceotto E., Cianchetta S., Galletti S. Summer Harvests Greatly Increase the Nitrogen Uptake of the Energy Grass Giant Reed. In stampa (Proceedings of 26th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2018).

3) Cianchetta S. Galletti S. Ceotto E. Giant Reed and Milk Thistle Sugar Yield After Alkaline Pre-Treatment and Enzymatic Hydrolysis in Comparison with Standard Wheat Straw. In stampa (Proceedings of 26th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2018).



## **Task 2.3** Valorizzazione delle biomasse lignocellulosiche per la produzione di energia termica

Task leader: CREA-IT Luigi Pari

### **Abstract**

Il largo consumo del legno nelle varie forme (legna da ardere, cippato e pellet), è principalmente motivato dalla convenienza economica di tale combustibile nei confronti di quelli fossili. A seguito della diffusione di moderne attrezzature domestiche per la produzione di energia termica, si sono delineati nuovi scenari per la differenziazione e la commercializzazione di combustibili legnosi con la possibilità di valorizzare le biomasse lignocellulosiche ad un prezzo nettamente più interessante. La Task proposta intende valorizzare al massimo le produzioni di specie arboree allevate a MRF attraverso la meccanizzazione delle operazioni di raccolta e sezionamento delle piante ed il successivo confezionamento in idonei sacchi di rete. Tale studio consentirà di disporre di un prodotto già confezionato, idoneo per essere stoccato e successivamente per essere avviato alla commercializzazione.

### **1. Attività svolta**

Nel periodo di riferimento, sono state avviate presso il CREA-IT di Monterotondo tre distinte prove di stoccaggio di eucalipto giunto a fine turno (5° anno) del ciclo di rotazione MRF. Le prove sono finalizzate alla valutazione del comportamento della biomassa, in diverse forme (tronchi interi, pezzato, cippato) e modalità di conservazione, durante il periodo di stoccaggio, secondo le seguenti tesi:

- A. Stoccaggio di eucalipto in piante intere accatastate
  - con rami e foglie
  - senza rami
- B. Stoccaggio di eucalipto in tronchetti confezionati in sacchi di rete
  - sotto tettoia
  - allo scoperto
- C. Stoccaggio di eucalipto cippato in cumuli
  - coperti con telo geotex traspirante
  - scoperti



A

B

C

Figura 1. Allestimento prove di stoccaggio di Eucalipto in piante intere accatastate (A), in tronchetti confezionati in sacchi di rete (B) e in cumuli di cippato (C)

Le tre prove seguono altrettanti protocolli sperimentali che verranno presentati nel dettaglio in allegato al Deliverable D.2.3.2, previsto a Settembre 2019.

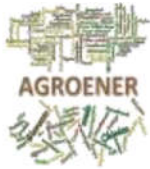
- Lo stoccaggio di eucalipto in piante intere ha interessato due file di piante, per un totale di 63 piante (32 con rami, 31 senza).

Le piante sono state abbattute il 15/02/2018 da un operatore con motosega, trasportate a bordo campo con trattore munito di forca e accatastate in 4 cumuli (due repliche per tesi). Un campione di 12 piante abbattute è stato caratterizzato in altezza e diametro a 50 cm dalla base.

Al momento della formazione dei cumuli e, successivamente con cadenza mensile, le piante di ciascun cumulo vengono legate e sollevate mediante il sollevatore frontale di una trattrice per essere pesate con dinametro digitale da 1000 kg. Contestualmente, campioni legnosi sono prelevati in diverse porzioni del fusto per la determinazione del contenuto di umidità. La fine dello stoccaggio è previsto per fine estate/ inizio autunno 2018.

- Per la prova di stoccaggio in tronchetti, il 15/03/2018 sono state abbattute altre due file dell'impianto. La pezzatura è avvenuta con sega circolare (mod.) portata da una trattrice (Fiat 8090). Sono stati confezionati manualmente 56 sacchi, pesati all'inizio e successivamente con cadenza mensile e stoccati secondo le due tesi, 30 sotto tettoia, 26 allo scoperto. Contestualmente campioni di biomassa sono prelevati per la determinazione dell'umidità provenienti da 6 sacchi destinati allo scopo (esclusi dalle pesate). La fine dello stoccaggio è prevista per fine estate/ inizio autunno 2018.

- La prova di stoccaggio del cippato ha interessato tutti gli altri eucalipti della piantagione, in modo da favorire una crescita uniforme del nuovo ciclo (piantagione coetanea).



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

L'abbattimento delle restanti piante è avvenuto nei giorni 23 e 24/04/2018 (un operatore con motosega). Le piante sono state accatastate temporaneamente a bordo campo con trattrice e forca. Dal 26 al 28/04, le piante sono state cippate con cippatrice Farmi CH260 e il prodotto cippato è stato pesato e trasportato presso la piattaforma adibita allo stoccaggio per la formazione di due cumuli (tesi a confronto) coperto/scoperto.

Si prevede di concludere la sperimentazione per fine estate/ inizio autunno 2018.

## **2. Risultati e deliverable**

Nel periodo di riferimento è stata avviata la sperimentazione e effettuati i primi rilievi ed analisi delle principali caratteristiche fisico-chimiche della biomassa (perdita di sostanza secca, contenuto in ceneri, potere calorifico, umidità, ecc.) delle diverse tesi sperimentali, che saranno completate con cadenza mensile.

- Nello stoccaggio in piante intere, la presenza delle ramaglie con foglie sembra aver accelerato il processo di disidratazione rispetto alla tesi piante senza rami.
- Nello stoccaggio dei tronchetti in sacchi di rete, nei primi mesi di stoccaggio la copertura ha influenzato significativamente ed in maniera positiva la velocità di disidratazione. Ci si attende una inversione di tendenza nei mesi estivi dovuta all'irradiazione solare diretta più elevata all'esterno.
- Per la prova di stoccaggio del cippato in cumuli, il comportamento di entrambe le tesi è in linea con le esperienze pregresse sul pioppo (innalzamento immediato della temperatura subito dopo la formazione del cumulo per processi fermentativi, seguito da un graduale calo delle temperature ancora in corso).

I risultati delle prime analisi di laboratorio, in fase di elaborazione, saranno presentati al termine della sperimentazione con la Deliverable D.2.3.2 prevista a Settembre 2019.

Nel periodo di riferimento non sono previste Deliverable.

## **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Nessuno

## **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Nessuna



**Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia  
(AGROENER)**

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

**5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Nessuna

**6. Elenco pubblicazioni**





**Task 2.4 Valorizzazione delle biomasse forestali residuali**

Task leader: Dr. Stefano Verani - CREA-FL sede di servizio di Roma

**Linea 2 di attività: Utilizzazioni forestali**

Referenti: Dr. Stefano Verani, Dr. Giuseppe Pignatti

**Linea 3 di attività: Analisi della sostenibilità economica**

Referenti: Dr. Giulio Sperandio (task 5.1), Dr. Stefano Verani, Dr. Giuseppe Pignatti

**Abstract**

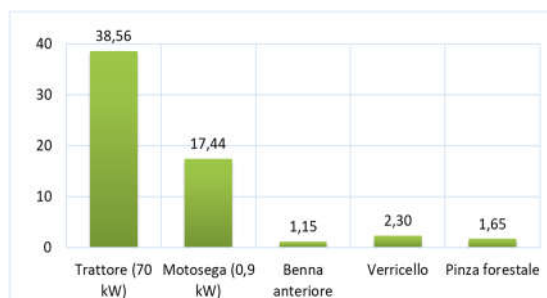
Il lavoro si è svolto all'interno delle linee di attività "utilizzazioni forestali" e "Analisi della sostenibilità economica". Nello specifico è stato effettuato un confronto, in termini di produttività di lavoro e costi, di due sistemi di lavoro, quello del legno corto (Short Wood System - SWS) e quello dell'albero intero (Whole Tree System - WTS) impiegati per la produzione di legna da ardere, nel taglio di un ceduo di eucalitto governato a turno medio (Medium Rotation Coppice - MRC). Durante l'utilizzazione sono stati rilevati i tempi di lavoro, base per il calcolo successivo delle produttività e dei costi; la metodologia impiegata nel rilievo è stata quella del 2° livello "rilievo separato dei tempi delle fasi di lavoro" secondo quanto proposto da Berti et al. (1989). L'analisi economica è stata svolta tenendo conto dei costi orari delle macchine, delle attrezzature e del personale impiegato. Il calcolo dei costi di esercizio è stato condotto seguendo una metodologia analitica (Sperandio, 2010).

## 1. Attività svolta

L'attività, nella linea 2 "utilizzazioni forestali", si è articolata nei seguenti punti: a) individuazione, all'interno del popolamento, delle 2 aree del ceduo di eucalipto governato a turno medio da sottoporre a taglio; b) numerazione delle ceppaie al fine di correlare il numero di polloni per ceppaia con il tempo di abbattimento e/o abbattimento ed allestimento; c) impostazione dei 2 cantieri e rilievo dei tempi delle diverse fasi operative di ciascuna operazione per la caratterizzazione dell'intero lavoro. Il primo cantiere ha previsto l'adozione del sistema di lavoro del "legno corto" (SWS) che si articola nelle seguenti operazioni: abbattimento ed allestimento (sramatura e sezionatura ad 1 m di lunghezza) sul letto di caduta ed esbosco della legna. Nel secondo cantiere è stato adottato il sistema di lavoro dell'albero intero (WTS) che prevede l'abbattimento dei polloni e l'esbosco della pianta intera fino all'imposto dove sarà effettuato l'allestimento. Il rilievo dei tempi di lavoro è stato effettuato con cronotabella a 4 cronometri di cui un totalizzatore e tre parziali con ripartizione centesimale. Per l'abbattimento e/o abbattimento e allestimento è stata impiegata una motosega di media potenza con barra da 40 cm. L'esbosco, nel primo cantiere è stato effettuato con un trattore agricolo New Holland TD 5050 da 70 kW munito di benna anteriore, mentre nel secondo cantiere con l'ausilio di un verricello Schwarz con fune da 10 mm di diametro (lunghezza 100 m) montato posteriormente allo stesso trattore.



*Esbosco: fase di carico*



*Figura 1. Costi di esercizio delle macchine e attrezzature impiegate nei due cantieri (valori comprensivi di manodopera per le macchine).*

L'attività della linea 3 ha riguardato la valutazione dei costi delle utilizzazioni partendo dalle diverse operazioni svolte all'interno dei due sistemi di lavoro SWS e WTS. Sono stati dapprima calcolati, con metodologia analitica, i costi orari di esercizio delle macchine e delle attrezzature (Figura 1), per poi procedere al calcolo dei costi delle singole operazioni svolte e dell'intero lavoro di utilizzazione, tenendo conto dei tempi operativi e delle produttività per operatore rilevate sperimentalmente.

L'analisi conclusiva ha posto a confronto i risultati economici ottenuti per i due sistemi di lavoro in termini di costi per unità di prodotto e per unità di superficie.



## **2. Risultati e deliverable**

I risultati dell'elaborazione dei dati sperimentali raccolti sui due cantieri di utilizzazione ha portato, per la linea di attività 2, ai seguenti risultati:

Cantiere a): sistema di lavoro del legno corto.

Questo sistema di lavoro è quello che tradizionalmente viene impiegato nel processo produttivo della legna da ardere. Le operazioni effettuate sono state l'abbattimento, la sramatura e la sezionatura ad 1 m di lunghezza dei singoli polloni della ceppaia e l'esbosco della legna fino all'imposto. L'abbattimento ed allestimento è stato effettuato da valle verso monte, mentre l'esbosco della legna è stato effettuato sia verso valle che verso monte. La relazione esistente tra il tempo lordo di abbattimento ed allestimento ed il numero di polloni per ceppaia è risultato espresso dalla seguente relazione  $T = 2,8 + 0,537 * X$  ( $n = 64$ ;  $R^2 = 0,731$ ), dove T è il tempo lordo espresso in min e X il numero di polloni per ceppaia. La ripartizione percentuale delle diverse fasi operative assegna il 10,38% del tempo alla fase di avvicinamento e pulizia della ceppaia; il 15,96% del tempo per l'abbattimento; il 57,19% del tempo per la sramatura e sezionatura ad 1 m di lunghezza ed il 16,47% è rappresentato da tempi improduttivi (tempi soggettivi, ed oggettivi). L'operazione, effettuata con motosega Oleomac di media potenza, è stata svolta da un solo operatore che ha fatto registrare una produttività lorda di  $1,07 \text{ t h}^{-1}$ .

L'esbosco è stato effettuato con un trattore agricolo New Holland da 70 kW munito di benna anteriore. Il trattore si muoveva all'interno delle file precedentemente abbattute e caricava la legna dentro la benna. L'operazione è stata svolta da 2 operatori, il trattorista con un aiutante per il carico. La ripartizione percentuale delle diverse fasi operative, derivata dai dati sperimentali raccolti, è risultata la seguente: il 37,41% del tempo totale è rappresentato dalla fase di carico della legna nella benna; il 17,84% dallo spostamento del trattore sulla fila per raggiungere il carico; 7,70% dal viaggio del trattore carico verso l'imposto; il 29,60% dallo scarico ed accatastamento della legna; il 7,45% da tempi improduttivi (tempi soggettivi, ed oggettivi). Il tempo medio a viaggio, su una distanza media di 60 m ed un carico medio trasportato di 0,94 t, è risultato di 30,44 min. La produttività media lorda dell'operazione è risultata di  $1,86 \text{ t h}^{-1}$  per operaio.

Cantiere b): sistema di lavoro dell'albero intero

Questo sistema di lavoro, pur essendo codificato da anni, risulta per la produzione di legna da ardere innovativo, in quanto scarsamente o per niente applicato. Con questo sistema viene esboscata la pianta intera e la sramatura, cimatura e sezionatura della pianta viene effettuata all'imposto con la possibilità, quindi di recuperare la biomassa residuale e destinarla ad altri impieghi (energetici o industriali). Naturalmente il recupero di tale biomassa non può prescindere da valutazioni ecologiche e protettive del suolo.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

L'abbattimento e l'esbosco dei polloni è stato svolto da valle verso monte. La squadra operativa era composta da 1 operatore per l'abbattimento e dal trattorista con due operatori addetti all'aggancio dei fasci da esboscare ed un operatore per l'allestimento all'imposto. Per l'abbattimento è stata impiegata una motosega Oleomac di media potenza, mentre per l'esbosco il trattore agricolo New Holland da 70 kW al quale è stato applicato posteriormente il verricello Schwarz. L'elaborazione dei dati sperimentali ha evidenziato la seguente ripartizione percentuale dei tempi di lavoro: 16% di avvicinamento e pulizia della ceppaia; 68,70% abbattimento e formazione fasci; 15,30% di tempi improduttivi (tempi soggettivi, ed oggettivi). La produttività media lorda dell'operazione è risultata di 4,68 t h<sup>-1</sup> per operaio. La relazione esistente tra il tempo lordo di abbattimento ed allestimento ed il numero di polloni per ceppaia è risultato espresso dalla seguente relazione  $T = 0,507 + 0,176 * X$  (n=76, R<sup>2</sup>= 0,564), dove T è il tempo lordo espresso in min e X il numero di polloni per ceppaia. Relativamente all'esbosco è risultata una produttività media lorda di 1,53 t h<sup>-1</sup> per operaio. La distanza media di esbosco è stata di 105 m, quella di concentrazione di 40 m ed il carico medio trasportato è risultato pari a 0,64 t. La produttività lorda dell'allestimento è risultata pari a 3,35 t h<sup>-1</sup> per operaio.

I risultati ottenuti in riferimento alla Linea 3, evidenziano il confronto in termini economici dei due sistemi di lavoro. I costi di produzione della legna sono risultati di 30,78 € t<sup>-1</sup> per lo SWS, e di 28,59 € t<sup>-1</sup> per il WTS, che si traducono, in riferiti all'unità di superficie, rispettivamente in 2.264 e di 2.103 € ha<sup>-1</sup>. Considerando pari a 60 € t<sup>-1</sup> il valore di vendita della legna da ardere e di 10 € t<sup>-1</sup> quello dei cimali e ramaglie (solo nel WTS), si ottiene una positività dell'utilizzazione per entrambi i sistemi di lavoro: 9,93 € t<sup>-1</sup> per lo SWS e 15,33 € t<sup>-1</sup> per il WTS. Rapportando i valori ad ettaro, otteniamo positivo rispettivamente pari a 730 e 1.128 €, a significare che, con il WTS, si riesce a ottenere un maggiore vantaggio economico. Tuttavia, anche se l'adozione di quest'ultimo sistema determina una maggiore redditività nel lavoro perché permette il recupero e l'utilizzo della biomassa residuale, occorre considerare altre valutazioni di ordine ecologico, protettivo del suolo dell'area sottoposta a taglio, e anche tecnico, ai fini di una decisione complessiva sull'utilizzo del sistema di lavoro.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Nessuno.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Nessuna.

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

I risultati dell'attività di ricerca sono stati presentati in occasione del congresso di Roma della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale e al XII convegno nazionale sulla biodiversità di



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Teramo. Nel prossimo mese di ottobre è prevista una giornata dimostrativa, presso l'Azienda Ovale del CREA-Centro Foreste e Legno, sul recupero e la valorizzazione delle biomasse residuali.

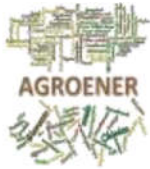
Verani S., Pignatti G., Sperandio G., 2017. Valorizzazione delle biomasse forestali residuali: primi risultati del progetto AGROENER. XI Congresso SISEF "La foresta che cambia", Roma 10-13 Ottobre 2017. Book of abstracts Presentazioni Brevi e Posters, p. 122 (Poster).

Verani S., Tomaiuolo M., Menta F., Pignatti G., 2018. Utilizzazioni legnose e biodiversità in boschi peri-urbani. XII Convegno Nazionale Biodiversità, Ambienti, Salute. Teramo 13-15 Giugno 2018. Book of abstracts, p. 278 (Poster).

#### **6. Elenco pubblicazioni**

Verani S., Calienno L., Pignatti G., Sperandio G. 2017. Esbosco di legna da ardere a soma con trattore. Un caso di studio su produttività e costi. *Sherwood*, N. 230: 35-38.

Picchio R., Pignatti G., Marchi E., Latterini F., Benanchi M., Foderi C., Venanzi R., Verani S. 2018. The Application of Two Approaches Using GIS Technology Implementation in Forest Road Network Planning in an Italian Mountain Setting. *Forests* 9, 277; doi: 10.3390 /f 9050277 [www.mdpi.com/journal/forests](http://www.mdpi.com/journal/forests).



## **Task 2.5 Recupero di residui lignocellulosici da gestione del verde urbano**

Task leader: Marcello Biocca

### **Linea 1 di attività: “Studio di cantieri rappresentativi”**

Referente: Marcello Biocca, Giulio Sperandio

### **Linea 2 di attività: “Caratterizzazione quali-quantitativa del materiale legnoso”**

Referente: Marcello Biocca, Rita Aromolo

## **Abstract**

Il lavoro è continuato nel secondo anno con l'analisi dei tempi di lavoro di diversi cantieri di abbattimento e potatura in ambito urbano così da poter disporre di una serie cospicua di dati da confrontare ed elaborare. L'organizzazione del lavoro ha seguito, come atteso, una metodologia facente capo a due tipologie principali di attività: quella “tree-climber” e quella con piattaforma elevabile.

Le prime osservazioni su entrambe le tipologie di metodo hanno messo in luce, oltre alle ovvie differenze in quanto a produttività e costi, come il lavoro in ambito urbano, si connota di peculiarità non riscontrabili in nessun altro tipo di “gestione del verde”.

Presso tutti i cantieri seguiti sono stati rilevati i tempi di lavoro e valutate le prestazioni operative delle macchine e del personale impegnato, è stata, inoltre, quantificata la biomassa prodotta e sono stati raccolti dei campioni di materiale legnoso poi sottoposti ad analisi.

### **1. Attività svolta**

Descrizione analitica dei singoli cantieri - rilevazione tempi di lavoro e prestazioni operative delle macchine; raccolta di campioni; determinazioni analitiche. Studio ed elaborazione dei dati- analisi economica ed energetica. Stima quantitativa della biomassa prodotta; stesura e diffusione dei risultati.

Nel secondo anno di attività sono continuati i rilievi sull'operatività dei cantieri mentre nuovi contatti con altre ditte hanno dato la possibilità di seguire nuovi cantieri di diverse tipologie.

Sono stati seguiti ed analizzati 10 nuovi cantieri. Le tipologie di lavoro hanno riguardato operazioni effettuate con piattaforme di lavoro elevabili (PLE) e in tree-climbing. Sono stati seguiti lavori di potatura ed abbattimento, sia su caducifoglie che su sempreverdi.



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Tabella 1 – Quadro riassuntivo dei cantieri osservati.

N°	Data	Cantiere	Modalità	Specie	Habitus (*)	Lavoro (**)	Relazione Agroener
1	15/05/17	Roma, Cassia 1	PLE	<i>Ulmussp.</i>	C	A	2017
2	16/05/17	Roma, Cassia 2	Da terra	<i>Ulmussp.</i>	C	A	2017
3	23/05/17	Roma, Acilia	PLE	<i>P. x acerifolia</i>	C	P	2017
4	16/10/17	Latina	PLE	<i>P. pinea</i>	S	P	2018
5	20/10/17	Roma, Pigneto	TC	<i>P. pinea</i>	S	A	2018
6	27/10/17	Roma, Monte Antenne	PLE	<i>P. pinea</i>	S	A	2018
7	09/11/17	Montecchio di Giano (Pg)	TC	<i>P. halepensis</i>	S	P	2018
8	17/11/17	Roma, Infernetto	TC	<i>P. pinea</i>	S	P	2018
9	08/02/18	Roma, Pietralata 1	TC	<i>C. libani</i>	S	P	2018
10	08/02/18	Roma, Pietralata 1	TC	<i>P. pinea</i>	S	P	2018
11	12/02/18	Collescipoli (Tr)	TC	<i>P. pinea</i>	S	A	2018
12	22/03/18	Roma, San Saba	TC	<i>A. altissima</i>	C	P	2018
13	05/04/18	Vitorchiano (Vt)	TC	<i>T. cordata</i>	C	P	2018

(\*) C = caducifoglia; S = sempreverde. (\*\*) A = abbattimento; P = potatura.

Stante le risorse disponibili, si è cercato di individuare attività nel comune di Roma o comunque in zone facilmente raggiungibili. Alcune delle ditte contattate sono state disponibili ad essere seguite in diversi dei loro lavori di manutenzione del verde.

I rilievi sono consistiti nell'acquisizione, tramite tabella cronometrica, dei tempi di lavoro. La metodologia adottata per questa attività è in accordo alla metodologia internazionale CIOSTA.

Nello stesso tempo, le operazioni sono state videoriprese, sono state acquisite le necessarie informazioni riguardanti le attrezzature impiegate, la composizione delle squadre di lavoro e i dati dendrometrici basilari delle alberature oggetto degli interventi di gestione. Si è provveduto infine a stimare o a misurare la biomassa prodotta. Da ogni cantiere, quando possibile, sono stati prelevati dei campioni legnosi, per la misura dell'umidità relativa, ed altre determinazioni analitiche ancora in corso. In particolare, presso il laboratorio del CREA-AA di Roma, sono stati caratterizzati qualitativamente dei campioni vegetali provenienti da alcuni cantieri di lavoro. I campioni prelevati sono stati messi ad essiccare in stufa a 65°C per 24 ore. Il campione secco è stato poi macinato e vagliato a 2 mm. Successivamente i campioni sono stati inceneriti in muffola alla temperatura costante di 400°C per 36 ore. Le ceneri sono state poi raccolte e solubilizzate con HNO<sub>3</sub>, filtrate, portate a volume e sottoposte ad analisi.

Le analisi dei microelementi e dei metalli pesanti in traccia presenti nelle diverse matrici, sono state effettuate mediante spettrometria in emissione al plasma, (ICP-OES Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) utilizzando uno strumento della Thermo Fisher, ICAP 6000.





Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

La configurazione strumentale dell'ICP-OES, consente di determinare gli elementi simultaneamente e di operare in un ampio spettro di lavoro compreso fra 125 e 770 nm, con una elevata sensibilità analitica. Sono stati analizzati i seguenti micro, macro e meso elementi: Cadmio, Cromo, Calcio, Ferro, Magnesio, Ferro, Manganese, Potassio, Fosforo, Nichel, Piombo e Zinco.

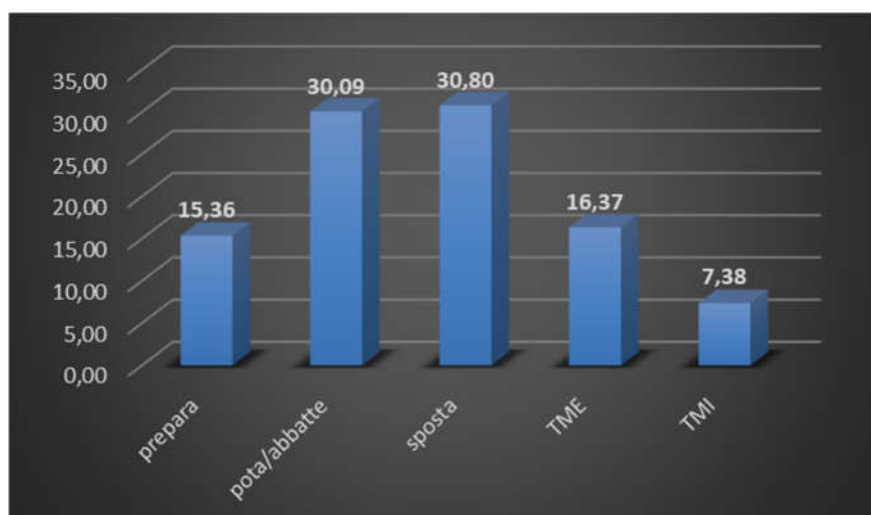
Per la costruzione delle rette di calibrazione sono state utilizzate soluzioni multistandard certificate che riproducono l'effetto matrice presente nei campioni. La calibrazione consiste nella misura mediante standard a concentrazioni conosciute in modo da poter determinare la relazione tra concentrazione ed intensità del picco di emissione. Questi punti devono essere usati anche per riconoscere e correggere qualsiasi interferenza tra gli elementi. La ripetibilità dei risultati strumentali, che sono già il valore medio di tre repliche, viene controllata, calcolando il coefficiente di variazione fra i risultati dell'analisi di 2 o 3 ripetizioni dello stesso campione. I dati ottenuti dalle analisi dei diversi campioni sono stati convertiti ed elaborati dopo un ulteriore controllo delle scansioni per verificare l'eventuale presenza di interferenze di matrice o spettrali e riportati in  $\text{mg kg}^{-1}$ .

## 2. Risultati e deliverable

I *deliverable* sono relativi all'attività della linea 1 previsti al termine del 4 e 5 quadrimestre. La prima elaborazione dei dati acquisiti su alcuni dei cantieri, è stata finalizzata all'analisi dei tempi di lavoro e alla determinazione e della produttività per poter così produrre una prima analisi economica in parte comparativa rispetto alle due principali organizzazioni di cantiere (PLE e *tree-climbing*).

Di ogni cantiere sono stati misurati i tempi delle singole fasi di lavoro per tutta la durata della giornata lavorativa o fino alla fine del lavoro.

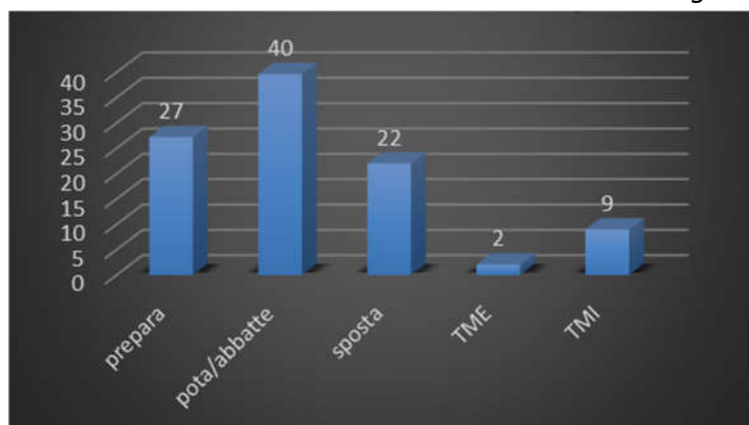
In figura 1, si riporta la divisione percentuale dei tempi relativi alle singole operazioni dei cantieri di potatura ed abbattimento con piattaforma mobile.



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

**Figura 1** – Ripartizione percentuale dei tempi operativi per la potatura ed eventuale abbattimento dei cantieri con PLE (prep. cantiere = somma della preparazione del cantiere e dei successivi spostamenti sulle singole piante; TME=Tempi Morti Evitabili; pota = potatura; sposta = spostamento cestello).

In figura 2, si riporta la divisione percentuale dei tempi di lavoro per il cantiere tipo di potatura ed eventuale abbattimento con tecniche di *tree-climbing*.



**Figura 2** – Ripartizione percentuale dei tempi operativi medi per la potatura e l'eventuale abbattimento nei cantieri che utilizzano tecniche di *tree-climbing*.

In base ai dati acquisiti si è stimata, tramite un'analisi economica analitica, la produttività media dei due tipi di cantieri espressa in termini di biomassa media totale prodotta e il costo medio delle operazioni in termini di Euro a tonnellata di materiale prodotto.

**Tabella 2** – Risultati di produttività e costi dei cantieri.

Cantiere	Massa media prodotta	Produttività media	Costo medio
	[kg]	[t h <sup>-1</sup> ]	[€ t <sup>-1</sup> ]
1 PLE	7270	1,85	52,5
2 <i>Tree-climbing</i>	780	0,23	243

In dettaglio, nei cantieri con PLE, i tempi morti evitabili ed i tempi di preparazione del cantiere sono elevati rispetto al tempo totale di lavoro. Le cause principali di questi valori sono da ricercare nella difficoltà di manovra dei mezzi e nel sovrapporsi di alcune operazioni che generavano attese. La prima criticità può migliorare, quando possibile, con la scelta di mezzi di dimensioni minori, seppur sempre adatti alla capacità di carico necessaria. La seconda con una migliore programmazione del lavoro. Nei cantieri con *treeclimber* i tempi di preparazione si dilatano in quanto comprendenti numerose fasi, quali: trasporto delle attrezzature in giardini difficilmente raggiungibili se non a piedi, vestizione con imbracatura, ancoraggio delle funi per la salita e, non ultima, distanza da percorrere



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

per allontanare il materiale tagliato fino ai luoghi di imposto dai quali viene caricata (in media 25 m).

Le due metodologie di lavoro evidenziano le loro peculiarità osservando le figure e la Tabella 2. I cantieri con piattaforma mobile trovano il loro limite negli ingombri stessi del furgone recante la piattaforma e nei luoghi di lavoro consistenti spesso in strade con grande traffico veicolare, non sono cantieri di lavoro minuzioso ma tendono alla “pulizia” delle zone interessate dall'intervento o ad uno sfoltimento importante delle chiome dei filari delle alberature stradali, e, proprio per questo motivo hanno una produttività più elevata dei cantieri con lavoro su fune.

Questi ultimi, d'altro canto, non hanno avuto, nella maggior parte dei casi, particolari difficoltà dovute all'intralcio provocato dalle infrastrutture cittadine e dai veicoli, ma realizzano un lavoro più mirato alla conservazione del profilo dell'individuo vegetale e quindi meno intensivo sotto l'aspetto della velocità di esecuzione. La produttività, di conseguenza, si abbassa.

Lavorare in ambiente urbano ha evidenziato subito, già dai primi cantieri, le sue ben note peculiarità. Basti riflettere sul fatto che nella quasi totalità dei casi l'abbattimento classico della pianta intera è da escludersi, quindi ogni pianta, qualsiasi sia la metodologia di avvicinamento (cestello o fune), si abbatte sezionandola quando ancora in piedi.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Anche in questa fase delle attività la problematica principale emersa è stata quella rappresentata dal rapporto di collaborazione con le ditte che effettuano i lavori oggetto dell'indagine. Tale problematica, peraltro attesa, è consistita nel ritardo degli interventi stabiliti e nella scarsa comunicazione riguardante la loro programmazione. Alcuni fattori oggettivi, tipici dei lavori effettuati in ambito urbano, contribuiscono a tale problematica. Tra questi si annoverano: imprevedibilità delle condizioni meteo; ritardo nei permessi relativi agli interventi (potature, abbattimenti, occupazione suolo pubblico) da parte delle amministrazioni competenti; problematiche estemporanee dovute a difficoltà di lavoro e a difficoltà nella programmazione degli interventi. Continua, in questo senso la ricerca di ditte disponibili a sottoporsi ad una analisi del lavoro in maniera tale da aumentare i cantieri analizzati.

Non è stato, inoltre, sempre facile ottenere il peso del materiale prodotto dall'intervento, che, in alcuni casi è stato stimato a partire dalle dimensioni del cassone di carico.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Per ora non si prevedono sostanziali varianti al programma impostato, se non per il fatto che, come precedentemente illustrato, la collaborazione sarà estesa ad un numero maggiore di ditte di quelle previste. Inoltre, verranno effettuate delle misurazioni riguardanti l'uso di attrezzature innovative (motoseghe elettriche) per valutare le loro performance in termini di produttività ed ergonomia.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Per quanto riguarda la valutazione del contenuto di metalli pesanti nel legno, si ipotizza di prelevare campioni in maniera sistematica anche da esemplari arborei non necessariamente oggetto di potatura o abbattimento.

#### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

È stata proposta una comunicazione al “*World Forum on Urban Forestry*” che si svolgerà dal 28 novembre al 1° dicembre 2018 a Mantova. L’abstract del lavoro, dal titolo provvisorio “*Cost and productivity of urban trees maintaining by climbing arborists*”, è attualmente in corso di revisione da parte del comitato scientifico della conferenza.

#### **6. Elenco pubblicazioni**

Per adesso, non si sono realizzate pubblicazioni sull’argomento della Task, preferendo preparare, nei prossimi mesi, un articolo da sottoporre a una rivista con IF.



## **Task 2.6** Potenzialità produttiva e servizi ambientali di colture da energia su suoli marginali

Task leader: Marcello Donatelli

### **Linea 1 di attività: Dataset**

Referente: Edoardo Costantini

### **Linea 2 di attività: Strumenti software e di modellazione**

Referente: Marcello Donatelli

### **Linea 3 di attività: Simulazione di sistemi colturali per colture da bio-energia**

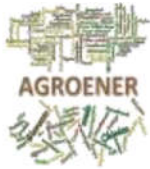
Referente: Pasquale Campi

### **Linea 4 di attività: Indicatori di servizi ambientali e di impatto**

Referente: Marcello Donatelli

## **Abstract**

**Linea 1:** E' stata consolidata la base dati relativa ai valori di parametri colturali per descrivere la fenologia e la produttività delle colture di interesse e da utilizzare nelle successive fasi di calibrazione e applicazione delle soluzioni di modellazione (MS) a scala nazionale. Dopo aver recuperato e armonizzato l'informazione pedologica (variabili target a distribuzione clusterizzata) e tematica (covariate ambientali a elevata densità) sono state effettuate le spazializzazioni per il territorio nazionale, tramite l'uso di modelli statistici. Sono stati prodotti layers in forma di grid a 500 m per: profondità del suolo, carbonio organico, pH, tessitura dell'orizzonte superficiale minerale e organico. Si è inoltre prodotta la carta nazionale del carbonio stoccato nel suolo, a pixel di 1 km. E' stata effettuata l'analisi di *suitability* per sette colture bioenergetiche sulla base di un approccio multicriteriale in ambiente GIS, legato alle peculiarità ecologiche (pedoclimatiche) delle varie specie. Sono state prodotte mappe a scala nazionale di *land suitability* (250m di risoluzione) per ciascuna specie, ed espresse in termini adimensionali da 0 (non suitable) a 1 (maximum suitability), predisponendo un ranking delle stesse in funzione della produttività. Le mappe derivanti sono state incrociate con una mappa di *land availability* per individuare i terreni marginali potenzialmente disponibili per l'impianto delle diverse colture bioenergetiche.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

**Linea 2:** Le attività sono state focalizzate sull'adattamento/sviluppo delle MS disponibili per simulare le produzioni delle colture di interesse in risposta alla disponibilità idrica nel suolo. In particolare sono state messe a puntotre MS, basate rispettivamente sui modelli colturali CropSyst (per la simulazione di sorgo, panico e miscanto), ArunGro (specifica per *Arundo Donax* e crotalaria) e ESRC (per la simulazione delle Short Rotation Coppice di pioppo e salice). È stata inoltre sviluppata una versione beta di webservice che permette agli utenti ed all'applicazione che gestisce le simulazioni territoriali (Bioma-Spatial) l'accesso alle serie di dati meteo (clima attuale e futuro) a copertura nazionale prodotte nell'ambito del progetto Europeo PESETA. Interrogando il database mediante un sistema GISsemplificato, il webservice consente di scaricare, per ogni unità spaziale di interesse, un set pre-definito di variabili meteo per singola annata o per serie pluriennali definite dall'utente.

**Linea 3:** Le attività hanno riguardato l'acquisizione, mediante sperimentazione in campo, di dati misurati utili per effettuare la calibrazione e validazione delle MS sviluppate. I set di dati collezionati hanno compreso misure di crescita (e.g. valori di biomassa aerea e fogliare, indice di area fogliare, numero di foglie, altezza della pianta, diametro del fusto all'altezza di petto), rilievi fenologici e dati relativi alla gestione colturale (date di semina, tecniche e volumi di irrigui). Per ciascun set di dati sono stati reperti anche i valori delle variabili meteorologiche necessarie in input ai modelli. E' stata infine eseguita la calibrazione e validazione dei modelli colturali WOFOST e CropSyst (già presenti nella piattaforma BioMA) utilizzando dati sperimentali raccolti per sorgo da biomassa e barbabietola da zuccheroin località di Rutigliano (BA) e Trinitapoli (FO) nel periodo 2012-2014. I risultati ottenuti hanno rivelato un'elevata accuratezza dei modelli utilizzati nel simulare le dinamiche stagionali dell'accumulo di biomassa aerea e del contenuto idrico volumetrico del suolo per entrambe le colture e località; risultati più incerti sono stati invece ottenuti per la simulazione dell'indice di area fogliare.



## 1. Attività svolta

Le attività della Task 2.6 sono state articolate in 7 punti principali secondo lo schema di Figura 1. Di seguito vengono riportati gli aggiornamenti per ciascuna linea di attività.

- Identificazione delle **colture energetiche** di interesse (*sorgo da biomassa, panico, miscanto, arundo, pioppo, salice, cardo, barbabietola*) e delle **aree marginali** da simulare per coltura (*land suitability x land availability*) – **LINEA 1**;
- Definizione di **strati informativi** (*clima, suolo, agromanagement*) e set di **parametri colturali** di riferimento in input alle simulazioni spazialmente distribuite – **LINEA 1**;
- Sviluppo di un **web service** per accesso e scarico dati meteo – **LINEA 2**;
- Sviluppo di **componenti crop** e **soluzioni di modellazione** dedicate (*MS, livelli produttivi potenziale e limitato da deficit idrico*) – **LINEA 2**;
- Calibrazione** e **validazione** sito-specifiche delle MS sviluppate – **LINEA 3**;
- Applicazione delle MS calibrate in simulazioni **spazialmente distribuite** a risoluzione 25x25 km (*scenari attuale e futuri*) – **LINEA 3**;
- Utilizzo degli output dei modelli colturali in input per **analisi LCA** – **LINEA 4**.

**Figura 1.** Workflow delle attività della Task 2.6

### Linea 1

**Parametri biofisici:** in questo ambito di attività sono stati eseguiti rilievi sperimentali mirati a determinare i valori di alcuni parametri relativi a fenologia e crescita colturale per pioppo (*Populus spp.L.*; visita campi sperimentali CREA-PLF Casale Monferrato) e crotalaria (*Crotalariajuncea L.*; prove presso l'azienda sperimentale di Cadriano, Dipartimento Scienze Agrarie-UNIBO) da utilizzare in fase di calibrazione e nelle successive simulazioni a scala nazionale. Tali dati vanno ad integrare i set di parametri già sviluppati nel corso del primo anno di attività relativi a sorgo da biomassa, arundo, panico, pioppo e miscanto. In particolare per entrambe le colture sono state derivate le soglie gradi giorno che regolano il passaggio attraverso le diverse fasi dello sviluppo fenologico nelle condizioni del nord e centro Italia. Per quanto riguarda la crescita sono stati invece collezionate le seguenti misure:

- pioppo: valori dei parametri che regolano il *partitioning* degli assimilati a radici, fusti e foglie e quelli relativi ad harvest index e area fogliare specifica;
- crotalaria: numero di inserzioni fogliari, numero di ramificazioni, altezza della pianta, numero, larghezza e lunghezza delle foglie.

**Proprietà dei suoli:** mentre il primo anno di attività è stato dedicato al recupero e all'armonizzazione dell'informazione pedologica (variabili target a distribuzione clusterizzata) e tematica (covariate





---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

ambientali a elevata densità), nel secondo sono state effettuate le spazializzazioni per l'interotteritorio nazionale, tramite l'uso di modelli statistici.

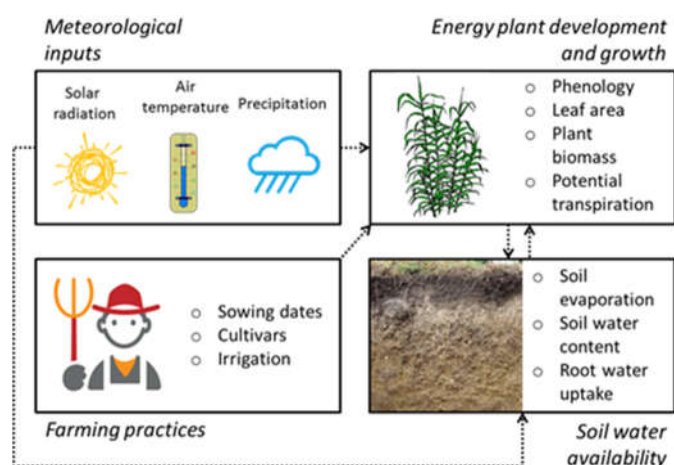
Il disegno sperimentale si è basato sull'utilizzo di un sistema inferenziale per la spazializzazione delle proprietà e delle classi pedologiche dei suoli osservati (DB pedologico nazionale) all'intero territorio nazionale su grigliato a 500 m, avvalendosi dell'utilizzo di informazioni ausiliarie di tipo pedologico (geografia dei suoli a varia scala, strati tematici esistenti a scala nazionale), geologico (carta litologica), climatico di lungo periodo (indici climatici e pedoclimatici anni 1960-2008), morfologico (DEM e derivati), e di uso del suolo (anno 2006).

**Land suitability:** in accordo con il framework metodologico impostato nel primo anno di attività per la valutazione della *land suitability* (LS) per varie colture bioenergetiche, è stata condotta l'analisi LS per 7 colture bioenergetiche quali: *Chrysopogon zizanioides* L., *Arundo donax* L., *Pinus halepensis* M., *Pinus pinaster* A., *Populus x Canadensis*, *Robinia pseudoacacia* L. e *Salix alba* L.. L'approccio condotto si basa su un'analisi multicriteriale (MCE- *Multicriteria Evaluation Analysis*) in ambiente GIS. I dati relativi alle peculiarità ecologiche delle diverse specie sono stati raccolti grazie alla consultazione di un panel di esperti, al fine di ricavare i parametri quantitativi utilizzabili nell'analisi. Tali parametri sono: pendenza, precipitazioni, temperature (minime invernali e medie), profondità e tessitura del suolo. Per ciascuna specie, sulla base dei pareri esperti, è stata predisposta una matrice di Saaty, riportante i parametri utili alla modellizzazione della *land suitability*. Trattandosi di un'analisi spazialmente esplicita, contestualmente sono stati predisposti gli strati informativi di base, nello specifico: 1) DEM (risoluzione 75m), da cui è stato ricavato lo strato relativo alla pendenza; 2) dati meteo (precipitazioni e temperature), con risoluzione 250m da Blasi et al. (2007); dati pedologici (tessitura e profondità del suolo) con risoluzione di 250m prodotti all'interno del presente progetto; 3) distanza dalla linea di costa, ricavata in ambiente GIS. È stato dunque possibile produrre mappe *wall-to-wall* a scala nazionale di *land suitability* (250m di risoluzione), per ciascuna specie, ed espresse in termini adimensionali da 0 (*non suitable*) a 1 (*maximum suitability*). Al fine di costituire un mosaico di colture a scala nazionale in funzione della *suitability* per le stesse, è stato necessario predisporre un ranking delle stesse in funzione della produttività, in modo che, a parità di *suitability* sull'*i*-esimo pixel, lo stesso fosse attribuito alla coltura maggiormente produttiva in termini di biomassa anidra annua. Una volta svolta l'analisi di *land assignment* per le varie colture a scala nazionale, la mappa derivante è stata quindi incrociata con la mappa di *land availability* precedentemente prodotta, in modo da individuare i terreni marginali ipoteticamente disponibili per l'impianto delle diverse colture bioenergetiche.

## Linea 2

**Soluzioni di modellazione (MS):** in questo ambito le attività si sono concentrate sull'aggiornamento delle MS sviluppate nel corso del primo anno di attività, per simulare le produzioni delle colture di interesse in risposta alla disponibilità idrica nel suolo. Lo sviluppo delle MS è stato eseguito mediante

la piattaforma modellistica BioMA (Figura 2; <https://en.wikipedia.org/wiki/BioMA>), correntemente in uso presso il JRC-MARS per le previsioni colturali a qualsiasi orizzonte temporale (<https://ec.europa.eu/jrc/en/mars>). All'interno di questo framework, è stato incluso un componente suolo dedicato, in grado di simulare le dinamiche dell'acqua nel profilo, di fornire l'acqua disponibile per l'assorbimento radicale, e di calcolare le perdite evapotraspirative (UNIMI.SoilW, <http://agsys.cra-cin.it/tools/default.aspx>).



**Figura 2.** Schema di soluzione modellistica BioMA (MS) sviluppata per la simulazione spazialmente distribuita della produttività delle colture di interesse sul territorio nazionale a passo temporale giornaliero. Ogni MS è formata da 4 componenti principali: 1) componente colturale che simula lo sviluppo e la crescita della pianta (ArunGro per arundo, Stella et al., 2015; Cropsyst per panico, sorgo e miscanto, Stockle et al., 2003; ESRC per pioppo, Facciotto et al., 2012); 2) un weather provider che renda disponibile al modello i dati meteo giornalieri riportati in un file definito dall'utente; 3) componente suolo; 4) un componente per la gestione delle pratiche colturali e la simulazione del loro impatto sul sistema colturale (CRA.AgroManagement, Donatelli et al., 2016).

E' stato inoltre sviluppato un primo prototipo di MS specifico per crotalaria basato sull'adattamento del modello ARUNGRO a simulare lo sviluppo fenologico e la crescita potenziale (i.e. limitata da radiazione e temperatura) e limitata da stress idrico in risposta a diverse epoche di semina e densità di impianto.

**Web-service (WS):** sono state definite le specifiche del WS che renderà disponibile ai modellisti della Task 2.6 e agli altri partner di progetto l'utilizzo di serie di dati meteo giornalieri a copertura nazionale e a risoluzione spaziale pari a 25 x 25 km. Il web-service sarà interrogabile:

i) attraverso un'interfaccia on-line user-friendly, che permetterà di selezionare le unità spaziali di interesse individuandone la posizione attraverso un Sistema informativo geografico (GIS) semplificato;



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

ii) da remoto attraverso applicazioni specifiche per la gestione delle simulazioni territoriali (BioMA-Spatial).

Per ogni cella sarà possibile accedere ad un set pre-definito di variabili (precipitazioni, temperatura massima e minima, radiazione, umidità, vento, evapotraspirazione) per singola annata o per serie pluriennali definite dall'utente. Oltre ai dati rappresentativi del clima attuale, è possibile selezionare serie meteorologiche relative allo scenario di cambiamento climatico A1B (i.e. che non prevede strategie di mitigazione per la riduzione delle emissioni di anidride carbonica) per finestre temporali trentennali centrate su 2030 e 2050. L'interfaccia on-line del web-service permetterà inoltre una rapida verifica delle serie da scaricare, fornendo strumenti molto semplici per la visualizzazione grafica dei loro trend inter-annuali (e.g. valori massimi e minimi in un dato periodo) e per il calcolo di alcune statistiche di base (media, min, max, dev st). Sarà inoltre valutata la possibilità di inserire funzionalità per ricostruire dati puntuali mancanti o generare intere serie per variabili meteo non disponibili.

**Linea 3:** le attività si sono focalizzate su:

1. Reperimento di dati misurati per effettuare la calibrazione dei modelli da applicare sul territorio nazionale.

Il set di dati raccolti comprendono misure di accrescimento (e.g. biomassa aerea - AGB, biomassa delle foglie - BF, indice di area fogliare - LAI, numero di foglie - NF, altezza della pianta - H, diametro del fusto all'altezza di petto - D\_DBH), fenologia delle colture e dati relativi alla gestione agronomica delle stesse (date di semina, applicazione di fertilizzanti, tecniche e volumi di irrigazione, contenuto idrico del suolo - Wc).

Di seguito sono riportati i nuovi datasets raccolti, divisi per coltura e area geografica:

Coltura	Località	Variabili	Anni
Pioppo	Casale Monferrato	AGB, BF, LAI, H, D DBH, fenologia	10, Pioppeti tradizionali e SRC
Crotalaria	Cadriano	AGB, LAI, resa, H, NF, fenologia	2, Varietà SEMFOR

2. Calibrazione e validazione di dataset sperimentali.

L'attività svolta ha riguardato la calibrazione e validazione di due MS (MS-CropSyst e MS-WOFOST) utilizzando dati sperimentali raccolti nel periodo 2012-2014 presso le località di Rutigliano (BA) e Trinitapoli (FO). Le variabili target selezionate per la calibrazione sono state: AGB, biomassa radicale ed il contenuto idrico del suolo per la barbabietola da zucchero, biomassa totale, LAI e Wc per il sorgo da biomassa. Dettagli ulteriori sui dataset utilizzati sono riportati nella relazione del primo anno di progetto.

La calibrazione è avvenuta tramite modalità "trial and error", modificando gradualmente i valori dei parametri colturali, fino a ridurre l'errore tra dati misurati e calibrati entro un range di accettabilità.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

Per tale fase sono state utilizzate le annate più produttive (produzione potenziale) per entrambe le colture: semina 2013 con raccolta 2014 per la barbabietola da zucchero e stagione 2013 per il sorgo (entrambe coltivate a Rutigliano). La fase di validazione è stata effettuata utilizzando i dati sperimentali relativi al livello produttivo limitato da stress idrico per le annate già utilizzate in calibrazione ed entrambi i livelli produttivi per le altre stagioni colturali. La valutazione delle prestazioni delle MS è avvenuta tramite indici statistici quali: general standard deviation (GSD; Jørgensen et al., 1991), modelling efficiency (EF; Greenwood et al., 1985), Index of agreement (d; Willmott and Wicks, 1980) e il coefficiente di correlazione di Pearson.

## **2. Risultati e deliverable**

### **Linea 1**

**Proprietà dei suoli:** i risultati ottenuti sono stati validati con dataset indipendenti e confrontati anche con spazializzazioni effettuate con metodo deterministico. Gli strati informativi deterministici utilizzati sono stati:

- la carta dei suoli d'Italia a scala 1:500.000 e relative tipologie pedologiche nazionali, le quali sono state in parte collegate alla griglia a 500 m tramite le componenti territoriali;
- la carta dei suoli d'Italia in scala 1:250.000 per la quale si è proseguito l'inserimento in banca dati delle tipologie pedologiche pubblicate ufficialmente dalle Regioni e il collegamento allo strato informativo geografico dei sottosistemi di terre.

Come risultati, sono stati prodotti degli strati informativi (layers) in forma di grid a 500 m di risoluzione per i seguenti tematismi:

- profondità utile del suolo,
- pH del primo orizzonte minerale;
- SOC del primo orizzonte minerale;
- classe tessiturale del primo orizzonte minerale;
- pH dell'orizzonte organico Oa e Oe, ove presente;
- SOC dell'orizzonte organico Oa e Oe, ove presente;
- classe tessiturale dell'orizzonte organico Oa e Oe, ove presente.

Gli indicatori sono stati corredati da indici di incertezza quali errore e deviazione standard. In Figura 3 si riportano, a titolo esemplificativo, alcuni dei tematismi prodotti.

Si è inoltre prodotta la carta nazionale del carbonio stoccato nel suolo, a pixel di 1 km, che è stata pubblicata dalla FAO nell'ambito della relativa carta mondiale (<http://54.229.242.119/GSOCmap/>).

I layers prodotti sono stati trasmessi all'UO di CREA Foreste e Legno per le elaborazioni tematiche. Il prosieguo delle attività prevede i) il completamento delle informazioni relative alle tipologie pedologiche nazionali collegate ai punti della griglia, ii) la realizzazione di pubblicazioni scientifiche, iii) la divulgazione dei prodotti della ricerca tramite il sito web del progetto

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

(<http://agroener.crea.gov.it>) ed il sito web del laboratorio Database e cartografia digitale del suolo ([www.soilmaps.it](http://www.soilmaps.it); <https://www.researchgate.net/lab/Soilmapsit-E-A-C-Costantini>).

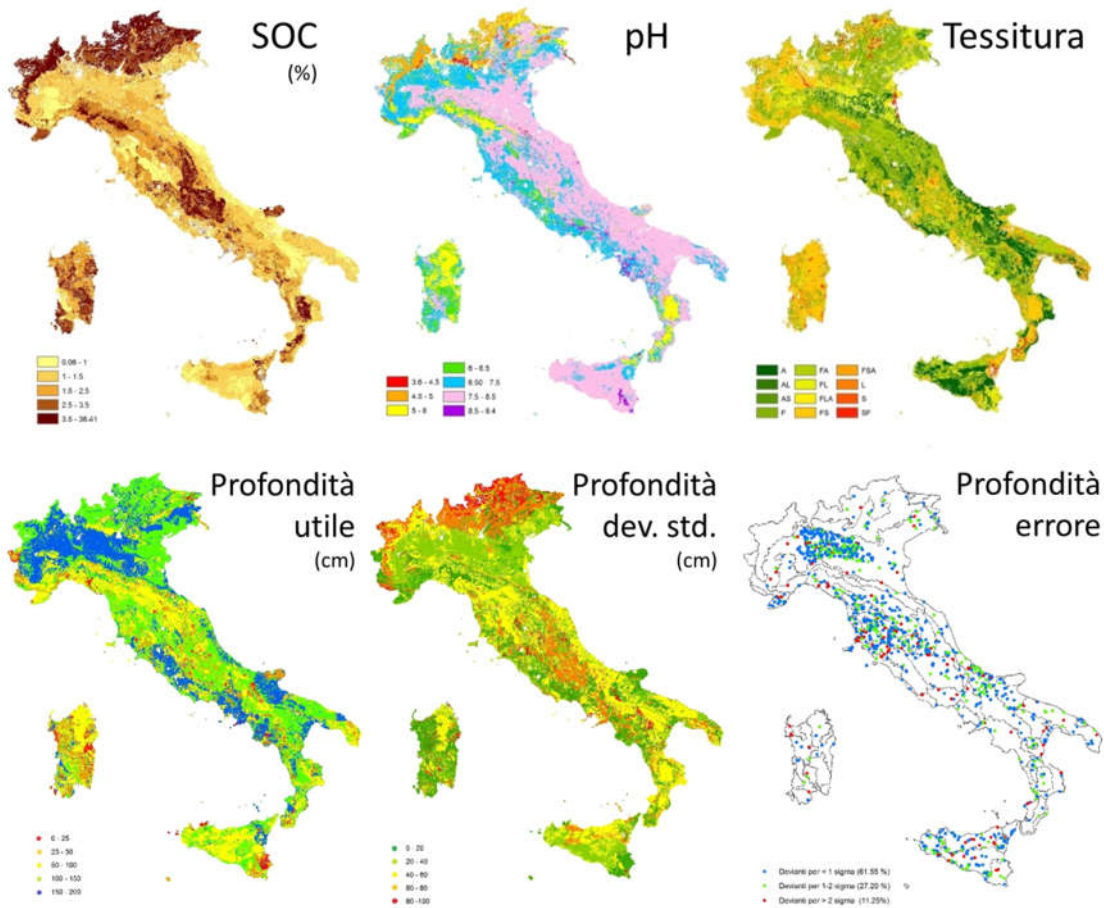
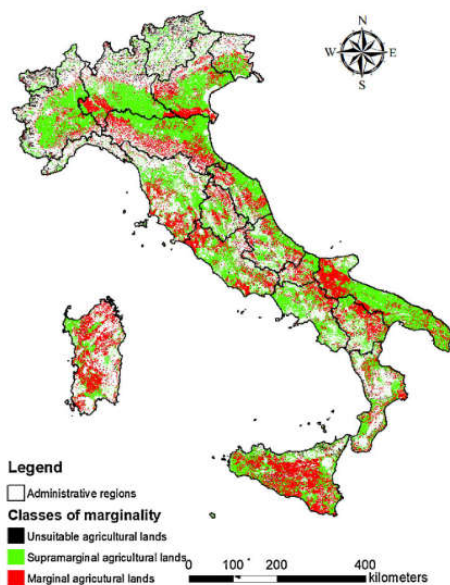


Figura 3. Esempio dei tematismi prodotti



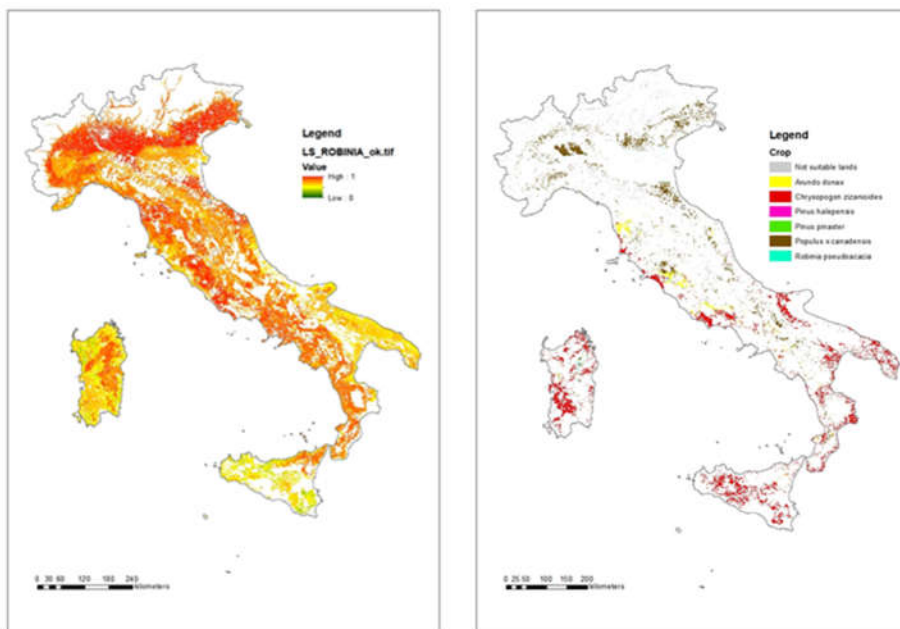
### Land suitability:

Sono state prodotte mappe e relativi dati tabellari per i terreni agricoli marginali attualmente utilizzabili per l'avviamento di coltivazioni da bioenergia (Sallustio et al., 2018). All'uopo si riporta di seguito (Figura 4) la mappa della classificazione dei terreni agricoli in funzione delle diverse classi di marginalità e il dato di copertura relativo (%) in relazione al totale della superficie agricola per le varie Regioni (dati disponibili dalla pubblicazione Sallustio et al., 2018).



**Figura 4.** Mappatura delle classi di marginalità

Per quanto riguarda l'analisi di *LS*, sono state prodotte mappe a scala nazionale a risoluzione di 250m per le diverse colture bioenergetiche di cui si riporta di seguito un esempio (per *Robinia pseudoacacia*). Ai fini del *land assignment* per le varie colture è stato predisposto un ranking che, in accordo con i dati di produttività di biomassa anidra annua secondo dati reperiti in letteratura, prevede il seguente ordine di priorità (decrescente): *Chrysopogon zizanioides*, *Arundo donax*, *Populus x canadensis*, *Robinia pseudoacacia*, *Salix alba*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*. Si è dunque proceduto ad assegnare i singoli pixel alla coltura in funzione della *LS* e del valore di produttività unitario. Occorre specificare che ai fini dell'avviamento di colture bioenergetiche sono stati considerati solo i pixel classificati come altamente idonei (S1 e S2, sensu FAO; ovvero con valore di *suitability* compreso tra 0.9 e 1) secondo la precedente analisi di *LS*, escludendo quindi le classi a *suitability* intermedia e bassa. Di seguito si riporta la mappa nazionale per le diverse colture (Figura 5).



**Figura 5.** Mappatura delle classi di marginalità

Dai risultati preliminari è al momento emerso quanto di seguito sinteticamente riportato:

- 2,817,237 ha di terreni considerati marginali (pari a quasi il 42% degli stessi) ricadono in zone ad elevata idoneità (S1 e S2 secondo la classificazione FAO) per le diverse colture, di cui ben 462,511 su terreni considerati altamente marginali, e quindi ad elevato rischio di abbandono.
- Il salice non è compreso tra tali colture per via del fatto che i terreni idonei risultano già occupati da colture con produttività media più elevata (nell'ordine soprattutto vetiver, pioppo e robinia).
- Le colture maggiormente utilizzabili, anche in ragione della loro produttività, sono risultate *Chrysopogon zizanioides* e *Populus x canadensis*. Al contrario, quelle che si prestano meno ad essere utilizzare, oltre al salice per i motivi sopra descritti, risultano il *Pinus pinaster* e *halepensis*.





## **Linea 2**

### **Soluzioni di modellazione**

I risultati conseguiti riguardano principalmente l'implementazione di approcci per la simulazione della risposta della pianta a condizioni di stress idrico nelle MS sviluppate durante il primo anno di attività progettuale. Di seguito un breve quadro dei progressi ottenuti per singolo modello colturale:

- 1) CREA.ESRC: re-implementa in BioMA il modello ESRC (Facciotto et al., 2012) per la simulazione delle Short Rotation Coppice (pioppo e salice). La versione pre-esistente del componente permetteva la stima dell'accrescimento potenziale della pianta sia in relazione all'età dello stand che alla frequenza di taglio adottata. Il componente è stato esteso implementando un nuovo approccio, mutuato da CropSyst v.3 (Stöckle et al., 2003), che corregge l'accrescimento netto giornaliero moltiplicandolo per un fattore pari al rapporto fra traspirazione reale e potenziale;
- 2) WSU.CropSyst: CREA-AA collabora con la Washington State University nell'implementazione in BioMA dell'ultima versione disponibile del modello colturale CropSyst (v.4, primo release: Stockle et al., 2003). Mentre l'attività durante il primo anno di progetto si è concentrata soprattutto sullo sviluppo/verifica di approcci per la simulazione colturale in condizioni potenziali, nel secondo il componente è stato esteso con l'introduzione di algoritmi che regolano la risposta della pianta a condizioni di stress idrico e azotato. In particolare il fattore di correzione dovuto allo stress azotato risulta proporzionale alla differenza fra la concentrazione effettiva di azoto nei tessuti vegetali e una concentrazione soglia sotto la quale si verifica lo stress;
- 3) CREA.ArunGro: il modello calcola l'accumulo giornaliero di biomassa come bilancio tra fotosintesi lorda e respirazione di crescita/mantenimento. L'incremento stagionale della popolazione di steli è stimato sulla base di somme termiche, con l'emissione di nuovi steli modulata in funzione della biomassa del rizoma nella fase di ricaccio. La dinamica di evoluzione dell'indice di area fogliare è descritta in modo dettagliato, considerando l'eterogeneità del sistema a livello di singolo stelo o tra diverse coorti di steli. L'attività di sviluppo del componente si è incentrata sul testing degli approcci che modulano la risposta della canna comune allo stress idrico. Nel dettaglio, il deficit idrico ritarda l'incremento nella numerosità degli steli, riduce il tasso giornaliero di espansione fogliare e di accumulo della biomassa, rallenta l'espansione radicale e, in caso di stress prolungati, ha un impatto via via più marcato sulla vigoria degli steli, limitando il numero di foglie emesse;
- 4) CREA.ArunGro\_Crotalaria. Il modello ARUNGRO è stato adattato per simulare lo sviluppo e la crescita potenziale e limitata da stress idrico di crotalaria mediante calibrazione di parametri morfo-fisiologici ed assumendo il numero di steli come rappresentativo del numero di ramificazioni primarie della coltura. Rispetto alla versione originale del modello, la simulazione dello stress idrico è stata semplificata, applicando un fattore di riduzione all'efficienza d'uso



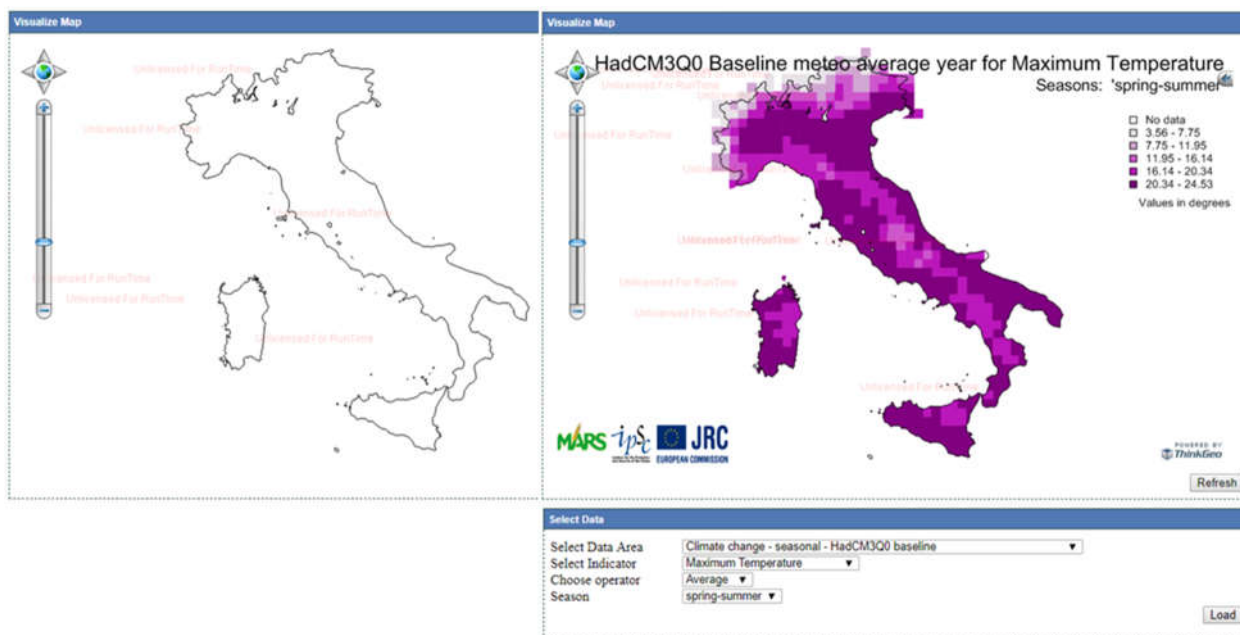
---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

della radiazione, calcolato come rapporto tra traspirazione reale e potenziale; sono state inoltre implementate funzioni specifiche per simulare l'effetto di diverse densità di impianto sulla produttività della coltura.

Questi sviluppi preliminari hanno consentito, attraverso il successivo accoppiamento dei modelli colturali a componenti per la simulazione del bilancio idrico nel suolo, di estendere le capacità di risposta delle versioni potenziali dei modelli anche a situazioni di deficit idrico. Ad ogni passo di simulazione, il componente colturale stima il tasso di traspirazione potenziale della coltura e, se il contenuto d'acqua nel suolo non è in grado di soddisfarne le richieste, si verifica stress idrico. Ne è un esempio la MS di recente implementazione CropSyst\_SiriusQSoil, che accoppia il componente colturale WSU. CropSyst al componente suolo INRA. SiriusQ (Jamieson et al., 1998), sviluppato presso il Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux (LEPSE) di Montpellier.

**Web-service** E' stata realizzata una versione beta del WS che consente lo scarico delle serie meteorologiche rappresentative del clima attuale e le proiezioni climatiche relative agli scenari di cambiamento climatico prodotte nell'ambito del progetto europeo EU-FP6 PESETA (<https://ec.europa.eu/jrc/en/peseta>). In Figura 6 è riportata un'istantanea dell'interfaccia dello strumento ed un esempio di tematismo prodotto attraverso l'interrogazione del DB meteo attualmente disponibile.



**Figura 6.** Interfaccia d'apertura del web-service (pannello di sinistra) ed esempio di mappa tematica (media delle temperature massime del periodo primaverile-estivo, pannello di destra) ottenuta per l'intero territorio nazionale attraverso l'interrogazione del DB meteo EU-FP6 PESETA (pannello inferiore).

### **Linea 3:**

#### **Barbabietola da zucchero; MS BioMA\_WOFOST**

Come si può notare in Figura 7, *BioMA\_WOFOST* ha dimostrato un'accurata simulazione della dinamica di AGB, con scarti sempre contenuti dai dati misurati. Anche i risultati ottenuti per la biomassa radicale simulata sono stati molto soddisfacenti, facendo registrare una leggera sovrastima (circa 1%) rispetto al dato misurato alla raccolta. Per quanto riguarda il contenuto idrico del suolo, si è osservato un buon riscontro tra dati osservati e dati misurati, specialmente nella seconda metà del ciclo colturale.

#### **Barbabietola da zucchero; MSBioMA\_CropSyst**

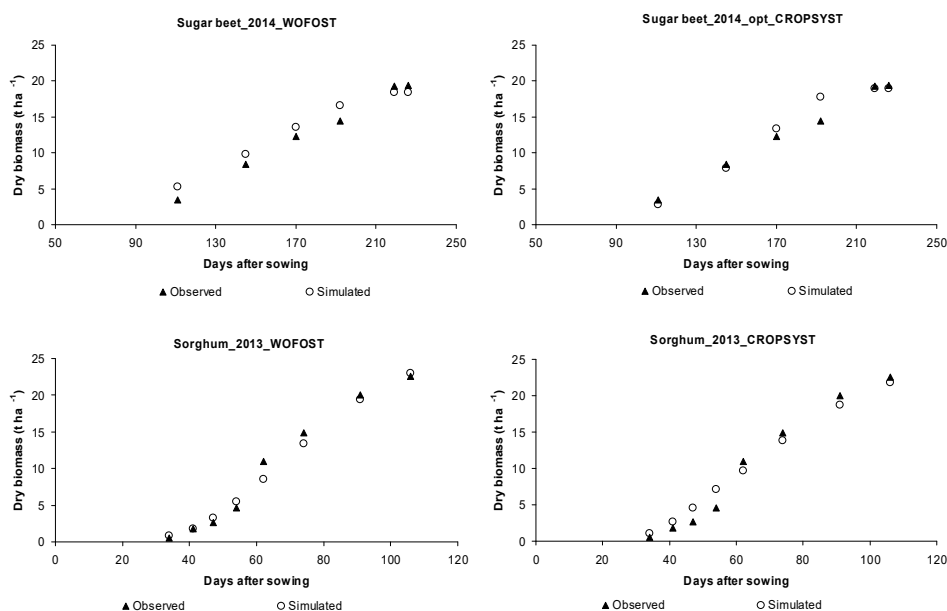
Come per *WOFOST*, la fase di calibrazione per la *MSCropSyst* ha permesso di ottenere risultati molto accurati (Figura7). La biomassa radicale alla raccolta è stata in questo caso leggermente sottostimata (circa 4%) rispetto ai dati misurati. L'andamento del contenuto idrico del suolo simulato da *BioMA\_CropSyst* ha mostrato un andamento molto simile a quello di *BioMA\_WOFOST*.

Sorgo; MS BioMA\_WOFOST

Anche per il sorgo, la fase di calibrazione ha permesso a *BioMA\_WOFOST* di simulare in maniera più che soddisfacente l'accumulo di AGB durante tutto il ciclo colturale (Fig. 7). Per il contenuto idrico del suolo, *BioMA\_WOFOST* ha sovrastimato, anche se leggermente, i valori di umidità nella parte terminale del ciclo colturale.

Sorgo;MSBioMA\_CropSyst

Per quanto concerne la soluzione di modellazione CropSyst, i dati di AGB simulati nella fase di calibrazione sono risultati leggermente sovrastimati nella fase iniziale del ciclo di crescita delle piante; successivamente è stato osservato un ottimo riscontro tra i dati osservati e quelli simulati.



**Figura 7.** Confronto tra dati simulati dalle due soluzioni di modellazione implementate in BioMA (WOFOST e CropSyst) nella fase di calibrazione e dati osservati di biomassa secca, durante il ciclo colturale per la barbabietola da zucchero (sopra) e sorgo da biomassa (sotto).

I risultati ottenuti nella fase di validazione sono invece riportati in tabella 1.

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

**Tabella 1.** Valori relativi agli indici statistici utilizzati nella fase di validazione per la valutazione delle soluzioni di modellazione (WOFOST e CropSyst) per la biomassa secca, contenuto idrico del suolo (SWC) e indice di area fogliare (LAI).

Modello	Coltura	Parametro	Osservazioni n	Misura	Media		Indice			
					Osservato	Stimato	GSD	EF	Pearson	d
Wofost	Barbabietola	Biomassa secca	18	$t\ ha^{-1}$	9.67	11.65	1.76	0.59	0.92	0.84
		SWC	587	mm	352	350	9.91	-1.03	0.01	0.31
	Sorgo	Biomassa	49	$t\ ha^{-1}$	9.41	11.90	2.32	0.68	0.95	0.94
LAI		42	$m^2\ m^{-2}$	2.87	3.09	57.13	-0.04	0.71	0.81	
SWC		433	$m^3\ m^{-3}$	0.36	0.35	6.78	0.89	0.77	0.83	
CropSyst	Barbabietola	Biomassa secca	18	$t\ ha^{-1}$	9.67	14.67	64.69	-0.62	0.77	0.70
		SWC	587	mm	352	346	9.05	-0.69	0.24	0.49
	Sorgo	Biomassa	49	$t\ ha^{-1}$	9.41	9.44	32.51	0.85	0.92	0.96
LAI		42	$m^2\ m^{-2}$	2.87	3.69	54.75	0.04	0.69	0.78	
SWC		433	$m^3\ m^{-3}$	0.36	0.36	5.93	0.95	0.83	0.99	

\*GSD = General standard deviation; EF = modelling efficiency; d = coefficiente di correlazione di Pearson

Barbabietola da zucchero; MSBioMA WOFOST

Gli indici statistici indicano una soddisfacente capacità della MS di simulare la risposta della coltura a diverse condizioni di irrigazione e pedo-climatiche. Particolarmente buoni sono risultati gli indici GSD (valori ottimati compresi tra 0 e 20), Pearson e d (valori ottimale pari a 1). La MS ha mostrato difficoltà nel replicare l'andamento del SWC durante la fase iniziale e centrale del ciclo colturale.

Barbabietola da zucchero; MS BioMA CropSyst

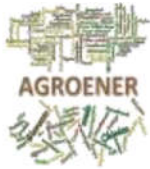
La valutazione della MS nel simulare l'AGB ha fornito risposte discrete per 2 indici su 4, (Pearson e d; Tab. 1), con una leggera sovrastima dei dati alla raccolta nei primi due anni. La simulazione del SWC è risultata leggermente più accurata rispetto a BioMA\_WOFOST, soprattutto considerando Pearson e d.

Sorgo da biomassa; MSBioMA WOFOST

L'analisi degli indici statistici ha rivelato un'ottima capacità della MS nel simulare la risposta del sorgo da biomassa a diversi regimi irrigui nelle due località considerate e nei diversi anni di sperimentazione, con valori prossimi a quelli ottimali per GSD, Pearson e d (Tab. 1). Anche per SWC, i risultati ottenuti sono stati nettamente migliori rispetto a quanto osservato per la barbabietola da zucchero (valori di GSD, EF e d, prossimi ai valori ottimali). Per quanto riguarda il LAI, la MS ha dimostrato una scarsa capacità di riprodurre la variabilità dei dati sperimentali (EF debolmente positivo).

Sorgo da biomassa; MSBioMA CropSyst

La MS ha dimostrato una buona accuratezza nel simulare l'accumulo di AGB durante tutto il ciclo colturale, riportando valori degli indici statistici lievemente più accurati rispetto a quelli ottenuti dalla MSBioMA\_WOFOST (Tab. 1). Anche la simulazione del SWC è risultata accurata, come



testimoniato dai valori quasi ottimali ottenuti per *GSD*, *EF* e *d* (Tab. 1). I valori ottenuti per il LAI sono del tutto paragonabili a quelli riportati per la MS BioMA WOFOST.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

La prevista pubblicazione dei risultati ottenuti su portale del CREA non è al momento possibile a causa dei ritardi nella organizzazione del portale stesso. Si procederà in tal senso una volta ricevute indicazioni in merito da parte degli amministratori del sito.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

CREA-AA (sede di Bari) sta approfondendo la parametrizzazione di componenti e soluzioni modellistiche per il sorgo da biomassa in condizioni di stress idrico. Per tale scopo è stata programmata una prova sperimentale ad hoc per la stagione 2018 che prevedrà la semina tardiva della coltura (fine luglio) per valutare le potenzialità del sorgo da biomassa come coltura intercalare (ciclo vegetativo agosto-ottobre); ciò consentirà sfruttare maggiormente le precipitazioni di fine estate, in presenza di temperature ancora idonee per lo svolgimento del ciclo colturale. Saranno eseguiti campionamenti per le diverse variabili (altezza, peso secco di biomassa aerea, LAI, soil water content). Contemporaneamente si predisporranno i "tagli" periodici alle SRC previsti nei dispositivi sperimentali a Rutigliano.

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Ceotto, E., 2018. Presentazione delle attività e dei risultati preliminari ottenuti nell'ambito del WP2 del Progetto AGROENER: - Sviluppo della filiera delle biomasse solide agroforestali. Fiera Agricola Verona, 1 febbraio 2018, Verona.

Fantappiè, M., Costantini, E.A.C. 2018..Presentazione dei metodi in convegno internazionale della European Society for Soil Conservation a Imola (<https://events.unibo.it/sowase-essc-conference-imola2018>) - Elaborating and mapping Italian soil typological units and their properties on a 500 m grid.

### **6. Elenco pubblicazioni**

Campi P., Navarro A., Modugno F., Mastrorilli M. 2017. Energy yield of BioMAss in Sorghum grown under deficit irrigation. Atti del XX Convegno AIAM e XLVI Convegno SIA. Milano 12 - 14 settembre 2017. DOI 10.6092/unibo/amsacta/5692. p 52-54.

Fantappiè, M., Costantini, E.A.C. 2018. Elaborating and mapping Italian soil typological units and their properties on a 500 m grid. Abstract of the European Society for Soil Conservation congress, Imola, 6-8 Giugno 2018, p 64.





## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

- Garofalo, P., Campi, P., Vonella, A.V.V., Mastrorilli, M., 2018. Application of multi-metric analysis for the evaluation of energy performance and energy use efficiency of sweet sorghum in the bioethanol supply-chain: A fuzzy-based expert system approach. *Applied Energy*, 220, 313-324.
- Sallustio, L., Pettenella, D., Merlini, P., Romano, R., Salvati, L., Marchetti, M., Corona, P., 2018. Assessing the economic marginality of agricultural lands in Italy to support land use planning. *Land Use Policy* 76, 525-534.



### **WP 3: Produzione di biogas negli allevamenti**

WP leader: BUTTAZZONI Luca (CREA-ZA)

Il WP3 affronta il tema della produzione sostenibile di biogas da tre punti di vista:

- L'ottimizzazione della fermentazione di reflui zootecnici e sottoprodotti agricoli e della trasformazione casearia, soprattutto mediante processi bi-stadio tesi a distinguere da un lato idrolisi ed acidogenesi e dall'altro acetogenesi e metanogenesi;
- Gli aspetti gestionali, meccanici ed impiantistici dei digestori anaerobici, con particolare ai digestori bi-fase e bi-stadio;
- Lo studio e la valorizzazione del digestato come ammendante e fertilizzante dei suoli.

Il WP è articolato in sei task, quattro dei quali si occupano sotto diversi profili della gestione anaerobia di sottoprodotti, dell'ottimizzazione della loro digestione, della progettazione dei digestori e della loro gestione, mentre le altre due si occupano dell'impatto e l'uso agronomico del digestato sui suoli agrari.

Le attività delle diverse task sono articolate in:

- Indagini di laboratorio per l'approfondimento delle conoscenze dei possibili substrati per la digestione anaerobia e l'ottimizzazione o il miglioramento della produzione di biogas. Le indagini riguardano la caratterizzazione chimico fisica delle biomasse residuali, la determinazione del loro potenziale metanigeno, lo studio delle popolazioni microbiche coinvolte sia al fine di migliorare le conoscenze del processo sia al fine di selezionare inoculi per l'avviamento o il restauro di buone condizioni per il processo di digestione anaerobica, l'ottimizzazione a scala di laboratorio dei parametri che influiscono sull'andamento del processo di digestione anaerobica e sulla sopravvivenza e moltiplicazione delle specie microbiche responsabili del processo (Task 3.1, 3.2, 3.6).
- Sviluppo in scala prototipale con progettazione e realizzazione di impianti di digestione anaerobica a due stadi e produzione in continuo di adeguate quantità di inoculi per digestori anaerobici (task 3.3, 3.2).
- Validazione a livello di impianto dei risultati ottenuti dalle indagini di laboratorio (3.1, 3.2, 3.3, 3.6). In tal senso potrà essere usato anche il prototipo di cui al task 3.3.
- Indagini di laboratorio per la caratterizzazione di taluni digestati per le loro capacità ammendanti, concimanti, biocidi o biostimolanti nei terreni, con studi degli effetti su colture in vaso e sulle popolazioni microbiche del terreno (task 3.4, 3.5, 3.6).



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

Nel secondo anno sono proseguite le attività di caratterizzazione chimico fisica delle biomasse oggetto di studio e dei digestati impiegati nelle prove di coltura in vaso ed in microcosmo (task 3.1, 3.4, 3.5).

Sono proseguite le prove di co-digestione in laboratorio di diverse biomasse e di formulazione di miscele di alimentazione di digestori con biomasse residuali (task 3.1, 3.2, 3.6), anche al fine di caratterizzare le popolazioni microbiche coinvolte e di indagare sull'efficacia degli inoculi proposti.

Sono state messe a punto le metodiche di determinazione (task 3.1) per la definizione dei biopotenziali metanigeni delle diverse matrici impiegate (task 3.1 e 3.6), approfondendo la conoscenza dell'argomento partecipando ad un ring test internazionale (task 3.2) per la validazione di tali metodologie.

Sono continuate le indagini per la caratterizzazione delle popolazioni microbiche presenti negli inoculi per l'avvio del processo di digestione anaerobica (task 3.2, e task 3.1), in relazione sia alle diverse fonti degli inoculi impiegati che alle codigestioni proposte; infine gli inoculi preparati con la procedura messa a punto nel task 3.2 sono stati provati per varie matrici, tra cui anche *Arundo donax* in collaborazione con la task 1 del WP4.

Le attività di progettazione degli impianti (task 3.2 e 3.3) sono praticamente completate: nel task 3.2 sono stati già stimati i tempi ottimali per la produzione di inoculi valutandoli in relazione alla procedura di preparazione e ai volumi necessari per il funzionamento di un impianto su scala aziendale; nel task 3.3 sono state definite le caratteristiche tecniche dell'impianto giungendo ad un primo P&I (Process and Instrumentation Diagram) del prototipo, in base al quale sono iniziati i lavori di costruzione vera e propria.

Relativamente ai digestati si è concluso il primo anno di valutazione dell'ammendamento di tre siti diversi con digestati reperiti in loco (linea 1 task 3.4), è stata valutata la potenziale efficacia agronomica di diversi biodigestati attraverso prove in vaso ed in microcosmo (task 3.5), ed è iniziata un'indagine sul livello di stabilizzazione della sostanza organica di diversi materiali (torbe, ammendanti compostati e biogestati).

Di seguito si riporta una tabella con lo stato di avanzamento di ogni attività del task.

### Pubblicazioni

#### **Internazionali peer-reviewed**

1. Chiariotti A., A. Crisà. "Bio-Hydrogen Production From Buffalo Waste With Rumen Inoculum and Metagenomic Characterization of Bacterial and Archaeal Community. *Front. Sustain. Food Syst.*" | <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00013>

#### **Atti convegni e congressi**



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

2. Chiariotti A., Calì M. 4-6 September 2017. Proceedings of 17th International Ramiran Conference Sustainable utilization of manure and residues in Agriculture. Wexford (IR). "Livestock byproduct into energy: hydrogen".
3. Chiariotti A., M. Calì. February 1-4 2018. Proceedings IX ASIAN BUFFALO CONGRESS. Hisar (India) "Buffalo rumen as inoculum for bio-hydrogen production".
4. Chiariotti A., S. Concetti, M. Calì and A. Crisà. February 1-4 2018. Proceedings IX ASIAN BUFFALO CONGRESS. Hisar (India). "Bio-hydrogen and bio-methane production from buffalo wastes: research activity at CREA Research Centre for Animal Production and Aquaculture – Monterotondo".
5. Cianchetta s., Vasmara C., Galletti S., Orsi A., Marchetti R. ELB 2018, Reims 26-29 giugno 2018. "Effect of alkaline pre-treatment of giant reed biomass on biogas production".
6. Manici L. M., Rossi A., Caputo F., Topp A.R., Zago M., Kelderer M. February 19 to 21, 2018. pp. 213-217. Proc. 18th Eco Fruit Conference University of Hohenheim (Germany), "A first survey on the health quality of soils in Martell valley with the prospective of implementing organic production of strawberries".

### Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Presentazione delle attività riguardanti il progetto AGROENER ai seguenti incontri divulgativi

- 5 Luglio 2017. 'Le opportunità del biogas-biometano in Sicilia' (organizzato dal Libero Consorzio Comunale di Ragusa).
- 30 Agosto 2017. Visita tecnica di un gruppo di allevatori australiani (organizzato dal COFA)
- 26 Settembre. Visita di una delegazione dell'Ambasciata Indonesiana
- 17 Ottobre 2017. Visita effettuata nell'ambito del GRA-WFO Study Tour and Fellowship Programme
- 29 Gennaio-3 Febbraio 2018. Fieragricola di Verona 2018
- 21-25 Aprile 2018. Fieragricola 2018 S.Marco Evangelista (CE)
- 17 Maggio. Visita didattica Università Federico II di Napoli
- 1 Giugno 2018. Visita allevatori Brasiliani (organizzato dal COFA)
- 29 Giugno 2018. Incontro all'interno dell'International Urban Cooperation IUC - LAC Cundinamarca-Bogota/Lazio region

Partecipazione a Congressi Internazionali

- 17th INTERNATIONAL RAMIRAN CONFERENCE Sustainable utilization of manures and residue resources in agriculture" Wexford (IR) 4-6 September 2017



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

- IX ASIAN BUFFALO CONGRESS (ABC-2018) February 1-4, 2018 CONGRESS THEME Climate resilient buffalo production for sustainable livelihood
- 18<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON ORGANIC FRUIT GROWING - Eco Fruit Conference University of Hohenheim (Germany) 19 – 21 Febbraio 2018
- Exploring Lignocellulosic Biomass (ELB 2018) – Challenges and Opportunity for bioeconomy. Reims (France) 26 -29- Giugno 2018

### Formazione

- Tesi di laurea magistrale. Andreas Rossi della Facoltà di Scienze Agrarie di Bologna (UNIBO), relatore Prof. Monti , correlatori, L.M. Manici (CREA) e M. Kelderer (Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale di Laimburg, Bolzano). La tesi riguarda parte della linea 2 della task 3.4 e verrà discussa entro il 2018.
- Lezione della dott.ssa Loredana Canfora sulla caratterizzazione microbica di suoli ammendati con biodigestati da Forsu nell'ambito del XII Ciclo della scuola di Biodiversità e Bioindicazione del Suolo, della Società Italiana della Scienza del Suolo, organizzata il 23-23 maggio 2018 presso il Centro Convegni di Cassinazza (PV) di Rete Neorurale.
- 23-24 aprile 2018 partecipazione al workshop a Freising(Germania) organizzato dal Laboratory for EnvironmentalBiotechnology, EPFL, Lausanne, Switzerland, in collaborazione con Methaconsult, Préverenges, Switzerland e il Department of Engineering, AarhusUniversity, Denmark, di valutazione dei risultati del ring test per la determinazione del BMP, promosso dal Prof. Holliger dell' EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) con l'obiettivo della standardizzazione dei test di biometanazione.(Rosa Marchetti task 3.2)

### Conclusioni

Nel secondo anno è stata consolidata la raccolta dei dati sulle caratteristiche chimico-fisiche di numerose di biomasse residuali atte all'impiego per la produzione di biogas, cui è stata affiancata la valutazione del bio-potenziale-metanigeno (BPM), parametro che esprime l'effettivo valore di una biomassa per la trasformazione in energia termica ed elettrica attraverso la digestione anaerobica. Nella comparazione tra diversi tipi di inoculo il liquido ruminale di buffalo si è rivelato più efficiente rispetto al liquame come inoculo per la produzione di idrogeno, mostrando anche una maggiore produzione di VFA (in particolare acido acetico) e confermando una maggiore ricchezza di specie batteriche. Tuttavia, variazioni nelle tecniche di produzione e conservazione degli inoculi di letame hanno permesso di migliorarne le prestazioni. E' stata inoltre riscontrata una differenza nella composizione delle popolazioni batteriche nei campioni che producono idrogeno confermando ciò che è generalmente riportato in letteratura. Si conferma ancor di più come il processo di digestione



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

anaerobico possa essere governato ed indirizzato, selezionando appositi inoculi, miscelando opportunamente biomasse dalle diverse caratteristiche e modificando opportunamente i parametri di processo, verso produzioni diversificate (energia, carrier energetici, biomolecole, ecc.) e verso l'utilizzo una più vasta platea di biomasse residuali.

La realizzazione dei prototipi, la cui progettazione è fortemente avanzata, consentirà di confermare a scala aziendale le potenzialità di indirizzo e governo del processo di digestione anaerobica che già si intravedono dalle indagini di laboratorio.

Infine, per quanto la valutazione delle prove di utilizzazione di diversi digestati sia ancora in corso, i primi risultati indicano che l'impiego dei digestati ha effetto su sanità e fertilità biologica dei suoli, incrementando la capacità di accrescimento delle piante, rispetto ai controlli non trattati; sembra che, questo miglioramento sia principalmente dovuto a fattori biologici legati alla sanità delle radici, supportando così l'ipotesi di un incremento della soilsuppressiveness nei suoli ammendati.

#### Stato di avanzamento dei lavori delle singole task del WP 3

#### **Quadro Sinottico (x iniziate, xx in corso, xxx terminate)**

Task	Task leader	Linee di attività	stato			
3.1	Antonella Chiariotti	1	Caratterizzazione chimico-fisica dei substrati e di alcuni parametri di processo	XX		
		2	Studio delle combinazioni diverse di substrati (i.e. liquame, sottoprodotti caseari, lignocelulosici) per ottimizzare l'efficienza energetica dell'intero processo e massimizzare le produzioni di gas	XX		
		3	Analisi delle strutture e variazioni delle popolazioni microbiche durante le fermentazioni attraverso tecniche molecolari	XX		
		4	Studio dell'espressione genica di enzimi attivi nelle varie fasi del processo fermentativo mediante qPCR			
		5	Caratterizzazione quali-quantitativa del biogas prodotto	XX		
		6	Verifica dei risultati sull'impianto pilota attraverso gli stessi test chimici, microbiologici e molecolari previsti nei campioni di laboratorio			
3.2	Rosa Marchetti	1	Prove di ottimizzazione delle condizioni di processo in condizioni controllate	XX		
		2	Progettazione del prototipo per la produzione di inoculi microbici misti	XX		





## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

			3	Realizzazione del prototipo per la produzione di inoculi microbici misti			
			4	Collaudo, avvio e produzione di inoculi, definizione della qualità degli inoculi	XX		
			5	Verifica dei risultati, eventuali adeguamenti			
			6	Tecniche di manipolazione, confezionamento e stabilizzazione per la conservazione e la commercializzazione di inoculi	X		
3.3	Nuovo prototipo di digestore a due stadi	Serafino Concetti	1	realizzazione di un prototipo di digestore bi-stadio e bi-fase ad elevato grado di automazione nella regolazione dei parametri di processo	XX		
			2	ottimizzazione del processo di digestione anaerobica, mediante verifica delle indicazioni provenienti dalle attività previste nella task 3.1 e valutazioni dei prodotti ottenibili dal funzionamento a regime dell'impianto			
3.4	Impatto dei biodigestati sulle comunità microbiche sei suoli agrari	Maria Luisa Manici	1	Valutazione dell'impatto di digestati da impianti di biogas alimentati con colture da energia, su suoli agrari a colture estensive in 2 diversi agro-ambienti del nord Italia.	XX		
			2	Valutazione dell'impatto di digestati da impianto di residui urbani nell'ambito di un programma di rilancio della produzione locale di fragola nella provincia di Bolzano	X		
			3	Potenziamento dell'impiego dei digestati da biomasse vegetali come ammendanti in conversione e gestione a biologico	X		
3.5	Valutazione dell'efficacia agronomica dei digestati anaerobici e loro valorizzazione per l'uso agricolo	Anna Benedetti	1	Individuazione dei campioni e caratterizzazione chimico-fisica	XXX		
			2	Prove in microcosmo ed in vaso	XX		
			3	Individuazione di proprietà biostimolanti nei biodigestati	X		
3.6	Utilizzo del pastazzo di agrumi e di altre biomasse residuali tipiche mediterranee come matrici alternative per la produzione di biogas	Simona Fabroni	1	sviluppo dei mix in <i>feed</i> all'impianto; analisi in laboratorio delle materie prime in ingresso al processo di fermentazione anaerobica e delle varie frazioni del digestato prodotto	XXX		
			2	prove di fermentazione anaerobica di diverse miscele di biomasse residuali tipiche mediterranee (pastazzo, sansa, cladodi di <i>Opuntia</i> , reflui zootecnici, residui vegetali o secondi raccolti e semidigestati fungenti da inoculo); prove di distribuzione meccanica in agrumeti del digestato	XX		
			3	prove, prima in laboratorio, poi su un impianto pilota, per la formulazione di	X		



**Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia  
(AGROENER)**

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

				concimi organo-minerali con microelementi a partire dalla frazione fluida del digestato			
			4	prove agronomiche per la valutazione delle proprietà fertilizzanti e dell'eventuale fitotossicità del digestato in contenitore su piante di agrumi ornamentali o su portinnesto			
			5	analisi preliminare delle normative vigenti, nazionali e regionali sull'impiego del digestato come ammendante in agricoltura; valutazione economica relativa alla disponibilità a pagare per impiegare, in sostituzione degli ammendanti convenzionali, quello derivante dal processo di digestione anaerobica	X		

**Sub-WP 3.1:** Consorzi microbici per la fermentazione



### **Task 3.1** Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica

Task leader: Antonella Chiariotti (CREA-ZA)

Delle 6 linee di cui si compone la task 3.A si riporta l'attività per la 1, 2, 3 E 5.

#### **Linea 3.1.1** Caratterizzazione chimico-fisica dei substrati e di alcuni parametri di processo

**Linea 3.1.2** Studio delle combinazioni diverse di substrati (i.e. liquame, sottoprodotti caseari, lignocelulosici) per ottimizzare l'efficienza energetica dell'intero processo e massimizzare le produzioni di gas.

**Linea 3.1.3** Analisi della struttura e variazione delle popolazioni microbiche durante la fermentazione attraverso tecniche molecolari (DGGE-qPCR).

**Linea 3.1.5:** Verifica delle caratteristiche del biogas ottenuti dai processi fermentativi ottimizzati

#### **Abstract**

Sono state svolte: 1) una prova in batch di codigestione anaerobica condotta utilizzando sottoprodotti derivati da allevamento di bufala (liquami e scotta) inoculati con rumine di bufalo (BU) e liquame (BS) per la produzione di idrogeno; 2) due prove di biometanazione potenziale con l'apparecchio AMPTSII acquistato con i fondi di questo progetto per verificare alcune condizioni di processo.

La produzione di bio-idrogeno da sottoprodotti dell'allevamento bufalino (liquame di bufala e scotta) inoculati con rumine e liquame di bufalo e la caratterizzazione della comunità microbica ha mostrato che la codigestione è positiva sia per la capacità tampone del liquame che per l'alto contenuto della scotta in carboidrati altamente degradabili. Il rumine di bufalo ha un certo numero di accattivanti caratteristiche quali il potenziale di degradazione dei composti lignocelulosici e la resilienza della comunità, che potrebbero essere sfruttate in applicazioni industriali come la produzione di biogas. Il rumine, infatti, si è rivelato più efficiente rispetto al liquame come inoculo per la produzione di idrogeno, mostrando anche una maggiore produzione di VFA (in particolare acido acetico) e confermando una maggiore ricchezza di specie batteriche. Tuttavia, la maturazione dell'inoculo di liquame ha permesso di migliorarne le prestazioni. La maggior parte dei generi batterici identificati appartiene ai *phyla* Firmicutes - in particolare i Clostridia, Bacteroidetes, Proteobacteria e Tenericutes. I Clostridi sono stati trovati più abbondanti nei campioni che producono idrogeno confermando ciò che è generalmente riportato in letteratura. Nel nostro studio la Famiglia XIII, con il *C. Incertae Sedis* è stata trovata come la più rappresentata nei campioni



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

inoculati con il rumine. Nella comunità degli Archea è stato identificato come predominante il *phylum* Euryarcheota, con il *Methanobrevibacter* più rappresentato e più frequente quando l'idrogeno veniva prodotto con inoculo di rumine bufalino.

### 1. Attività svolta

Sono state effettuate le analisi delle caratteristiche chimico-fisiche dei substrati ed inoculi utilizzati nelle prove del secondo anno di attività.

1. Una prova di codigestione anaerobica è stata condotta in batch utilizzando sottoprodotti dell'allevamento di di bufala (liquame e scotta) inoculati con rumine di bufalo (BU) e liquame (BS). Le condizioni di coltura prevedevano un rapporto BS / Scotta 60:40 (per un totale di 37 g L<sup>-1</sup> VS, pH= 7, mesofilia (39 ° C), utilizzazione dell'inoculo al 15%. Poiché l'inoculo BS ha dato una produzione di idrogeno molto bassa nella prima prova (T1), una successiva prova (T2) è stata effettuata utilizzando un inoculo BS maturato (BS2), mantenuto per 3 settimane a temperatura ambiente. La comunità microbica è stata analizzata utilizzando il next generation sequencing di ampliconi del gene rRNA 16S con i primers U341F e U806R che hanno come bersaglio le regioni V3-V4 ipervariabili sia per i batteri che per gli Archea. Successivamente sono state effettuate le analisi bioinformatiche e la determinazione tassonomica del microbioma.
2. Sono stati svolti due test di biometanazione potenziale con l'apparecchio AMPTSII acquistato con i fondi di questo progetto. Il primo test voleva verificare e/o confermare, rispetto alle prove in batch effettuate finora, la concentrazione massima di codigestione tra liquame e scotta (0-25-50-75) da applicare nelle fermentazioni per l'ottenimento sia di metano che di idrogeno. Il secondo test ha previsto a confronto substrati standard di riferimento, quali acetato, cellulosa pura e liquame. Il primo è il substrato d'elezione per la verifica dell'attività metanogenica acetoclastica, quella prevalente nei processi di digestione anaerobica; la cellulosa pura è servita a verificare la qualità degli inoculi che volevamo testare (in questo caso liquame maturato).

### 2. Risultati e deliverables

#### Prova 1. prova in batch di codigestione anaerobica

La codigestione scotta:liquame ha mostrato di essere positiva sia per la capacità tampone del liquame che per il contenuto di carboidrati altamente degradabili nella scotta. L'inoculo di rumine si è rivelato più efficace rispetto al liquame durante la fermentazione. Infatti, la produzione



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

cumulativa era più alta (120,8 vs 65,4 ml H<sub>2</sub> g VS-1 rispettivamente) e la percentuale media di idrogeno nel biogas era di 48,1 (v / v) con il picco massimo a 64.6.

L'analisi della comunità microbica del ruminale ha mostrato una maggiore ricchezza di specie presenti. Il profilo dei campioni ha rivelato che tra i batteri i più rappresentati erano i Firmicutes, il 23,3% dei quali Clostridia; i Bacteroidetes, e in particolare i Bacteroidia; i Proteobacteria e Tenericutes, che rappresentavano l'88,2% delle sequenze totali.

I primi tre *phyla* principali sono riportati come parte di un "core group" ruminale da numerosi autori. Nella digestione anaerobica di letame bovino e liquame, alcuni riportano anche il phylum dei Chloroflexi, che, al contrario, noi abbiamo trovato solo allo 0,03%.

Maus et al. (2017) ha anche riportato Firmicutes, Bacteroidetes come i principali *phyla* batterici nelle piante con condizioni mesofile usando letame di vacca come inoculo. I Firmicutes sono importanti poiché implicati in diversi processi metabolici tra cui la degradazione dei carboidrati, l'utilizzo degli acidi grassi, Wood-Ljungdahl pathway (WLP) (omooacetogenesi) o ossidazione sintrofica dell'acetato (SAO). Per quanto riguarda la famiglia Clostridia XIII, il *Clostridium Incertae Sedis* è stato trovato più rappresentato (6,6%), e con una quantità doppia nei campioni che producono idrogeno rispetto a quelli non produttori. Nella comunità degli Archea è stato identificato come predominante il phylum Euryarcheota, con il *Methanobrevibacter* più rappresentato e più frequente quando l'idrogeno veniva prodotto con inoculo di ruminale bufalino.

Per i dettagli ed i riferimenti bibliografici si rimanda al lavoro pubblicato (Front. Sustain. Food Syst., | <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00013>)

## Prova 2. Test di Biometanazione Potenziale

Nel primo test abbiamo voluto verificare e/o confermare, rispetto alle prove in batch effettuate finora, la concentrazione massima di codigestione tra liquame e scotta (0-25-50-100) da applicare nelle fermentazioni per l'ottenimento sia di metano che di idrogeno.

La prova ha quindi previsto tre repliche per tesi più un controllo solo liquame (100%) e solo scotta (100%) senza inoculo e con liquame fresco non maturato. Un problema al gascromatografo non ci ha permesso di effettuare le analisi quantitative sul biogas, motivo per cui la prova è stata interrotta al 7° giorno.

Per quanto riguarda la produzione cumulata, la combinazione che ha risposto meglio è stata quella con il contenuto di scotta più basso (25%, 105 ml), seguita, contrariamente alle aspettative da quella al 75 e da quella al 50% (67 e 45 ml rispettivamente). Il pH si è mantenuto attorno alla neutralità (da 6.78 a 6.22).

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Per quanto riguarda la biometanazione potenziale (BMP) nel secondo test, i cui risultati della produzione cumulata sono riportati in Fig.1. Come si vede il liquame (s100) è stato quello che ha prodotto più ml di CH<sub>4</sub> (2130,8ml), arrivando a plateau intorno al 23° giorno, seguito dall'acetato (1860) che invece, allo stesso giorno era ancora in crescita seppure molto lenta. Le tesi con acetato, inoltre, mostrano una rampa più alta fino al 12/13° giorno raggiungendo i 1618 ml con una concentrazione massima nel biogas del 78.65 %, contro i 1330 del liquame con una concentrazione massima del 66.2 %, che però raggiunge produzioni complessive più alte come mostrato.

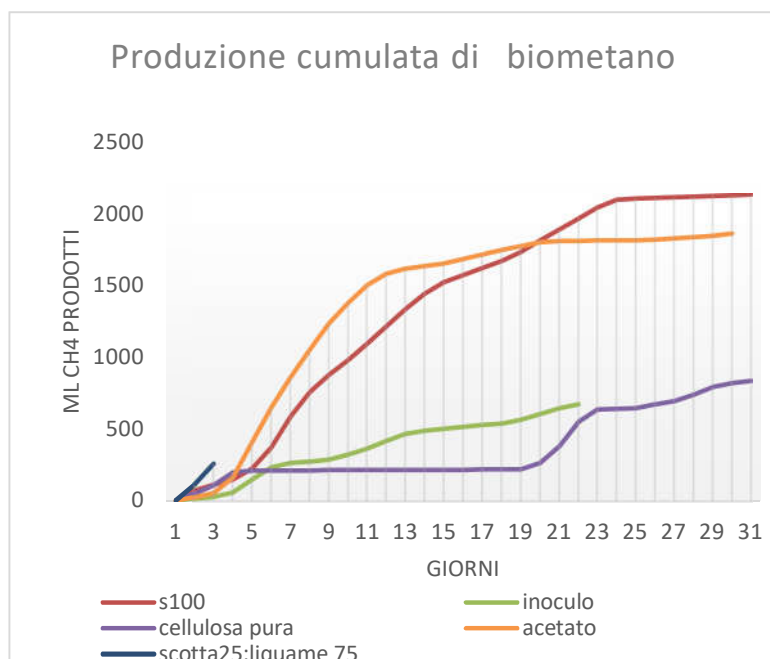


Figura 1 Grafico della produzione cumulata di biogas durante il secondo test di BMP

L'andamento delle tesi contenenti cellulosa è anomalo, rivelando un primo picco al 5° giorno (212 ml con il 23.4 % v/v di CH<sub>4</sub> nel biogas) ed un secondo al 22° (638 ml con il 62.1% di CH<sub>4</sub> nel biogas).

La produzione di biogas nelle tesi con scotta arriva a plateau il secondo giorno (260,7 ml con il 10 % v/v di CH<sub>4</sub> nel biogas e si interrompe al 3° per un problema ai reattori.

Il pH di tutte le tesi si è mantenuto attorno alla neutralità, tranne che per le tesi con scotta (5.2-5.5), con valori leggermente più alti per il liquame (7-7.8), e per l'acetato (7.8-8.2) e più bassi per la cellulosa (6.2-6.9). Le tesi con scotta hanno tuttavia prodotto metano e non idrogeno, come era da aspettarsi a quei valori di pH.

Le analisi degli acidi grassi volatili (VFA) e del DNA di entrambe le prove, così come il calcolo della BMP secondo la formula che segue, sono ancora in corso.

$$BMP = \frac{V_s - V_{ib} \frac{m_{is}}{m_{ib}}}{m_{vs,ss}}$$

Dove **BMP** è il volume di metano normalizzato prodotto per g VS aggiunto

**V<sub>s</sub>** è il volume cumulato di metano prodotto dal campione





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

**Vib** è il volume cumulato di metano prodotto dall'inoculo da solo (controllo)

**Mis** è il contenuto totale di inoculo nel campione

**Mib** è il contenuto totale di inoculo nel controllo

**mvs,ss** è il contenuto di VS del substrato nel reattore considerato

**3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

*Nessuno*

**4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

*Nessuna*

**5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Presentazione delle attività riguardanti il progetto AGROENER ai seguenti **incontri divulgativi**

- 30 Agosto 2017. Visita tecnica di un gruppo di allevatori australiani (organizzato dal COFA)
- 26 Settembre. Visita di una delegazione dell'Ambasciata Indonesiana
- 17 Ottobre 2017. Visita effettuata nell'ambito del GRA-WFO Study Tour and Fellowship Programme
- 21-25 Aprile 2018. Fieragricola 2018 S.Marco Evangelista (CE)
- 17 Maggio. Visita didattica Università Federico II di Napoli
- 1 Giugno 2018. Visita allevatori Brasiliani (organizzato dal COFA)
- 29 Giugno 2018. Incontro all'interno dell'International Urban Cooperation IUC - LAC Cundinamarca-Bogota'/Lazio region

Partecipazione a Congressi **Internazionali**

- 17th INTERNATIONAL RAMIRAN CONFERENCE "Sustainable utilization of manures and residue resources in agriculture" Wexford (IR) 4-6 September 2017
- IX ASIAN BUFFALO CONGRESS (ABC-2018) February 1-4, 2018 CONGRESS THEME Climate resilient buffalo production for sustainable livelihood



## **6. Elenco pubblicazioni**

**Chiariotti A.**, Calì M. Livestock byproduct into energy: hydrogen. Proceedings of 17th International Ramiran Conference Sustainable utilization of manure and residues in Agriculture. Wexford (IR) 4-6 September 2017

**Chiariotti A.**, S. Concetti M. Calì and **A. Crisà**. Bio-hydrogen and bio-methane production from buffalo wastes: research activity at CREA Research Centre for Animal Production and Aquaculture – Monterotondo. Proceedings IX ASIAN BUFFALO CONGRESS. Hisar (India) February 1-4 2018

**Chiariotti A.**, M. Calì Buffalo rumen as inoculum for bio-hydrogen production. Proceedings IX ASIAN BUFFALO CONGRESS. Hisar (India) February 1-4 2018

**Chiariotti A.**, **A. Crisà**. 2018 Bio-Hydrogen Production From Buffalo Waste With Rumen Inoculum and Metagenomic Characterization of Bacterial and Archaeal Community. Front. Sustain. Food Syst., | <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00013>



### **Task 3.2** Produzione d'inoculi per digestori anaerobici

Task leader: Rosa Marchetti

**Linea di attività: Progettazione e realizzazione di un prototipo per la produzione di inoculi microbici misti utilizzabili in qualsiasi impianto di biogas di tipo CSTR che lavori in mesofilia**

Referente: Rosa Marchetti

#### **Abstract**

Linea 1. Progettazione del prototipo: a) stima dei tempi di produzione di un impianto per produzione di inoculi. È stata avviata una prova di valutazione dell'attività degli inoculi in relazione alla procedura di preparazione, a scala pilota. Sono state confrontate 6 combinazioni diverse tempo/temperatura (volumi di lavoro: 1 m<sup>3</sup> per ogni condizione), al fine di individuare la combinazione che dia luogo ad attività più elevata su substrati rappresentativi. b) Stima dei volumi (di materia prima e dei reattori) necessari al funzionamento di un impianto per produzione di inoculi, per uso aziendale o per la commercializzazione. c) Gli inoculi prodotti secondo la procedura messa a punto dal ns lab sono stati provati nella digestione anaerobica di biomasse di potenziale interesse come substrati per produzione di biogas.

Linea 3. Qualità degli inoculi: la partecipazione al ring test internazionale sul Biomethanation potential (BMP) ha portato a un primo evento di confronto dei risultati ottenuti nei 33 laboratori partecipanti. Dal confronto è emerso che la qualità dell'inoculo è un fattore chiave per l'esito del test.

#### **1. Attività svolta**

Si ricordano di seguito le 3 linee di ricerca (obiettivi) della task 3.2:

- Linea 1: valutare la realizzabilità di un impianto per la produzione di inoculi per digestori anaerobici
- Linea 2: individuare metodi adeguati di conservazione degli inoculi
- Linea 3: definizione di qualità dell'inoculo

#### Linea 1: Progettazione di un prototipo

- a) Test di laboratorio degli inoculi per digestione anaerobica di substrati da biomasse di uso non ancora consolidato nella produzione di biogas (attività 3.2.1).
- b) Prova a scala pilota di valutazione dell'attività degli inoculi in relazione alla procedura di preparazione (attività 3.2.2). Struttura delle prove: 6 serbatoi da 1 m<sup>3</sup> riempiti con liquame



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

suino e corrispondenti a 6 combinazioni tempo/temperatura di incubazione. Analisi in triplo di: curve temporali (5 misure per ogni curva) di produzione di CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub> su acetato, glucosio e lattosio, rispetto all'inoculo senza substrato (controllo), in tempi successivi (5 tempi), per un totale di 360 reattori e 1800 misure. Confronto con dati da incubazione in condizioni controllate e costanti (a 3 diverse temperature).

- c) Dimensionamento impianti (attività 3.2.2). E' stato realizzato per due casi: a) produzione di inoculi in azienda per uso in proprio; b) produzione di inoculi per la commercializzazione.

### Linea 3: Qualità degli inoculi

Ring test (attività 3.2.5). Il 23-24 aprile 2018 s'è tenuto un workshop a Freising(Germania) organizzato dal Laboratory for EnvironmentalBiotechnology, EPFL, Lausanne, Switzerland, in collaborazione con Methaconsult, Préverenges, Switzerland e il Department of Engineering, AarhusUniversity, Denmark, di valutazione dei risultati del ring test per la determinazione del BMP. I test BMP sono stati condotti su 3 substrati rappresentativi (mangimi per suini a diversa composizione percentuale di proteine carboidrati e lipidi) + un substrato di riferimento (cellulosa microcristallina) in 33 laboratori europei, incluso il nostro.

## **2. Risultati e deliverable**

### Linea 1: Progettazione di un prototipo

a) Test di laboratorio. Gli inoculi prodotti secondo la procedura messa a punto dal ns lab sono stati utilizzati nella digestione anaerobica di biomasse di potenziale interesse come substrati per produzione di biogas, quali: *Arundodonax* (in collaborazione con task 4.1 di Agroener), fondi di caffè, oli alimentari di scarto. Le prestazioni sono state confrontate con quelle riportate in letteratura per gli stessi substrati digeriti in mesofilia con altri inoculi.

b) Prova a scala pilota. E' ancora in corso, tuttavia da un esame preliminare dei dati è evidente che l'attività dell'inoculo è influenzata dalla storia termica nel periodo di incubazione. Inoltre le condizioni d'incubazione ottimali sono diverse a seconda del gas di cui si vuole favorire la produzione (metano o idrogeno).

- c) Dimensionamento impianti

Produzione di inoculi in azienda, per uso in interventi "di rinforzo" alla produzione di biogas, con forniture periodiche regolari al digestore. L'inoculo viene preparato in serbatoio



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

aziendale a partire da liquame separato liquido. Si richiedono grandi volumi di liquami. La procedura sembra quindi opportuna in aziende che lavorino scarti agroindustriali, e usino gli effluenti in codigestione. Aniché usare i liquami tal quali, l'azienda li usa per produrre l'inoculo e lo usa in codigestione con le altre matrici. L'impianto costituisce quindi un "pretrattamento" del liquame. Il processo è discontinuo. Produzione di inoculi per la commercializzazione. Dati i grandi volumi di liquame richiesti, è ipotizzabile solo come attività accessoria di integrazione del reddito in grandi aziende zootecniche che non dispongano di impianto biogas e che però producano grandi volumi di liquame. Anche in questo caso infatti tutta la produzione di liquame viene utilizzata per la produzione d'inoculo. Il produttore deve anche avere a priori un'idea delle dimensioni del mercato (a scala locale), su cui basare l'entità della produzione. La configurazione dell'impianto di produzione dell'inoculo sarà analoga a quella per produzione aziendale, con le seguenti differenze: il biogas viene mandato a caldaia per combustione (con produzione di acqua calda); l'inoculo viene concentrato prima della consegna all'azienda acquirente (da effettuarsi mediante carri botte); il chiarificato va destinato a usi alternativi (lavaggio porcilaia, raccolta in lagoni, spandimento).

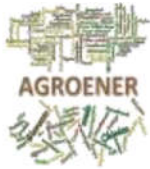
### Linea 3: Qualità degli inoculi

Il workshop di Freising esaminava i risultati dello studio internazionale inter-laboratorio sui test BMP, con le seguenti conclusioni: la grande variabilità tra i vari laboratori constatata nei risultati dei test BMP è da attribuirsi a numerosi fattori, tra i quali più importante è l'inoculo.

Con riguardo a quest'ultimo, a parte l'origine (nel ring test erano prevalenti inoculi da fanghi di depurazione e, in subordine, da liquami zootecnici), numerose altre possibili fonti di variabilità sono stati esaminati: pretrattamenti (ad esempio, setacciatura), *degassing*, tempo di conservazione, modalità di conservazione, ecc. In sintesi, è emersa la mancanza di una qualsiasi forma di standardizzazione nella preparazione dell'inoculo. Se l'ipotesi è che gran parte della variabilità dei risultati nei test BMP sia causata dall'inoculo, tuttavia, poiché inoculi diversi erano usati dai vari laboratori, non c'è possibilità di dimostrare l'ipotesi in base ai dati disponibili. È previsto un ring test "di affinamento", cui parteciperanno tutti i laboratori già coinvolti nel primo ring test.

### Deliverables:

Il coordinatore del ring test ha prodotto un report sugli esiti, in cui sono inclusi i risultati relativi al nostro lab. Il documento ha tuttavia carattere confidenziale.



**3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Nessuno

**4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Convenienza economica. Sarebbe utile una stima della convenienza a dotarsi di un impianto aziendale di produzione inoculi o di produrre inoculi per la vendita, benché questa attività non sia stata prevista nella scheda iniziale, e qualora si trovino *intra-muros* (AGROENER) le competenze per realizzarla.

**5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Nessuna

**6. Elenco pubblicazioni**

Cianchetta s., Vasmara C., Galletti S., Orsi A., Marchetti R. Effect of alkaline pre-treatment of giant reed biomass on biogas production. Presentato al convegno internazionale ELB 2018, Reims 26-29 giugno 2018





### **Task 3.3 Nuovo prototipo di digestore a due stadi**

Task leader: Serafino Concetti

**Linea 1 di attività:** realizzazione di un prototipo di digestore bi-stadio e bi-fase ad elevato grado di automazione nella regolazione dei parametri di processo

Referente: Serafino Concetti

**Linea 2 di attività:** ottimizzazione del processo di digestione anaerobica, mediante verifica delle indicazioni provenienti dalle attività previste nella task 3.1 e valutazioni dei prodotti ottenibili dal funzionamento a regime dell'impianto

Referente: Serafino Concetti

#### **Abstract**

La task prevede l'allestimento e la messa in funzione, attraverso la revisione e ricostruzione di un prototipo realizzato nel progetto SOSZOOT-MAREA, di un impianto prototipale ad elevato grado di automazione costituito da due reattori CSTR posti in serie, con ampia flessibilità dei parametri di processo, in grado di produrre sia biogas contenente H<sub>2</sub>, sia biogas contenente CH<sub>4</sub>, grazie alla co-digestione di una miscela di scarti caseari (scotta) e reflui zootecnici ed eventualmente di altre matrici.

Le due linee di attività previste nella task sono consequenziali, e le attività del secondo anno sono inerenti solo alla prima linea di ricerca (3.3.1).

Nel corso dell'anno sono state attivate consulenze con ditte specializzate, quindi si è proceduto, dopo un'attenta revisione dell'impianto MAREA, alla redazione del P&I del nuovo prototipo e ad elencare le apparecchiature, le componenti ed i materiali necessari, distinguendo tra quelli già presenti e quelli da aggiungere. Sono state ulteriormente definite le caratteristiche tecniche del nuovo prototipo (volume, campo di variabilità delle condizioni operative, modalità di immissione dei substrati). Infine si è dato avvio alla fase di vera e propria costruzione dell'impianto.

#### **1. Attività svolta**

Anche nel secondo anno l'attività svolta ha riguardato solo la prima linea di ricerca (3.3.1).

Come previsto nel testo del progetto al paragrafo "obiettivi specifici" della task, si è ritenuto necessario ricorrere alla consulenza e l'assistenza di ditte specializzate e competenti relativamente ai problemi di ingegnerizzazione e costruttivi dovuti alla complessità meccanico-idraulica e dei sistemi di controllo automatico del prototipo di digestore bi-stadio e bi-fase. Pertanto Sono stati



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

completati gli affidamenti di consulenze specialistiche alle ditte Co.Me.Co. Techsrl e Valgrande Energia srl.

Nell'ambito di tale rapporto alla prima ditta sono stati assegnati i seguenti compiti:

- ✓ Collaborare con i responsabili del progetto nell'individuare le migliori soluzioni tecniche e specifiche per la revisione e ricostruzione dell'impianto pilota e nella elaborazione della successiva Relazione analitica;
- ✓ Interfacciarsi con la ditta cui sarà affidata la consulenza per l'automazione ed il controllo del processo;
- ✓ Realizzare lo Schema di massima (P&I) del prototipo e gli schemi funzionali necessari all'esecuzione di tutti gli interventi di controllo, manutenzione, ripristino, riparazione e sostituzione dei vari componenti del prototipo;
- ✓ Fornire assistenza elettrica, meccanica ed idraulica durante la ricostruzione dell'impianto;
- ✓ Provvedere alla manutenzione dell'impianto per un anno a partire dal suo avviamento;
- ✓ Dare massima disponibilità per un pari periodo a tutte le verifiche in loco per garantire la continua assistenza in fase di gestione e cambio delle modalità operative.

Mentre alla seconda ditta sono stati affidati i seguenti compiti:

- ✓ Collaborare con i responsabili del progetto nell'individuare le migliori soluzioni per l'automazione del controllo di processo nell'impianto pilota e nella elaborazione della successiva Relazione analitica;
- ✓ Interfacciarsi con la ditta cui sarà affidata la consulenza e l'assistenza per la progettazione e la realizzazione dell'impianto;
- ✓ Allestire, mettere in opera e programmare il sistema di automazione;
- ✓ Fornire assistenza informatica ed elettrica durante la ricostruzione dell'impianto;
- ✓ Provvedere alla manutenzione del sistema per un anno a partire dal suo avviamento;
- ✓ Dare massima disponibilità per un pari periodo a tutte le verifiche in loco per garantire la continua assistenza in fase di gestione e cambio delle modalità operative;

Grazie all'attivazione delle consulenze si è provveduto alla revisione critica dell'impianto già esistente, alla definizione delle profonde modifiche da apportare per rendere l'impianto MAREA più preciso nelle misurazioni e più flessibile nella gestione, all'individuazione delle tecnologie, alla scelta delle apparecchiature, delle componenti e dei materiali da impiegare, alla stesura di uno schema di massima (P&I) del prototipo (attività 1.a)



---

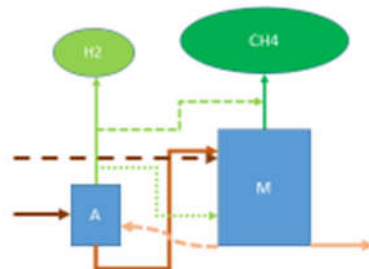
**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

Si è giunti quindi alla definizione progettuale del nuovo impianto, del quale si descrivono i seguenti aspetti funzionali :

- L'impianto sarà costituito da due digestori posti in serie, di cui il primo acidogenico ed il secondo metanogenico, funzionerà sia in modalità singolo stadio che bi-stadio, con alimentazione e scarico continui, con possibilità di ricircolo del substrato dal primo stadio al secondo, e la possibilità raccolta separata o unita in appositi gasometri dei biogas prodotti dai due digestori, ovvero di immissione del biogas prodotto nel primo digestore nel secondo (cfr. schema di impianto in figura 1); Il biogas prodotto sarà utilizzato per la produzione di calore necessaria al funzionamento dell'impianto in condizioni di mesofilia e di parziale termofilia. Le dimensioni dell'impianto, come già indicato nella relazione precedente, saranno di circa 10 volte maggiori rispetto a quelle del prototipo realizzato col progetto SOSZOOT MAREA, per superare l'impossibilità di reperire componenti idonee al trattamento dei liquami e del biogas di dimensioni così ridotte.
- L'impianto sarà alimentato con serbatoi e tramogge per lo stoccaggio, il pre-trattamento (riscaldamento) ed il caricamento delle matrici in ingresso. Poiché l'alimentazione dei digestori è stato l'aspetto più problematico nel funzionamento del prototipo realizzato col progetto SOSZOOT MAREA, si è ritenuto necessario predisporre due linee di alimentazione separate, una per l'effluente di allevamento (ed altri eventuali substrati aventi caratteristiche simili) e uno per la scotta (ed altri eventuali substrati liquidi). Oltre che per tener conto delle diverse caratteristiche fisiche, la separazione delle linee di alimentazione serve ad evitare che un'accelerata acidificazione della scotta mescolata con il liquame, comprometta le successive fasi di digestione anaerobica. Inoltre il pre-riscaldamento del materiale in ingresso eviterà shock termici nel reattore acidogenico.

E' stato inoltre deciso di mettere in atto le seguenti misure:

- Per il carico e lo scarico dei digestori e per i gruppi per l'agitazione dei substrati saranno reimpiegate alcune pompe già disponibili nel prototipo realizzato nel progetto MAREA. Tuttavia saranno montate nuove pompe trituratrici per la movimentazione dell'effluente zootecnico, le cui caratteristiche fisiche sono stato uno dei principali limiti al suo.
- Per il monitoraggio e la gestione automatizzata (misura, registrazione e regolazione) dell'intero processo, la strumentazione verrà completamente rinnovata. In tale ambito si provvederà anche alla scelta degli analizzatori in continuo della composizione del biogas per rilevare la concentrazione di CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S (fissi o portatili) da montare a bordo dell'impianto.



Schema impianto bifase e bistadio

A reattore acidogenico, M reattore metanogenico, H<sub>2</sub> gasometro del reattore A, CH<sub>4</sub> gasometro del reattore M

linee verdi flusso del biogas

linee marroni flusso del substrato/digestato;

Figura 1

Anche l'attività 1-b ovvero la ricostruzione dell'impianto, l'ampliamento dell'automazione dei processi e l'inserimento della possibilità di controllo remoto, hanno avuto inizio dopo l'attivazione delle consulenze, ma sono state realizzate solo alcune fasi preliminari, quali la riqualificazione del sito di installazione (pulizia e consolidamento dei basamenti che ospiteranno l'impianto), lo smontaggio delle parti del vecchio impianto "MAREA" che non saranno riutilizzate e la raccolta e messa in sicurezza di quelle mobili che saranno reimpiegate e collocate diversamente.

## 2. Risultati e deliverables

Process and Instrumentation Diagram (P&I), in versione provvisoria, del prototipo di digestore bi-stadio e bi-fase ad elevato grado di automazione nella regolazione dei parametri di processo, con allegato elenco delle componenti essenziali.

Prodotto nel trimestre marzo-maggio 2018

## 3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Non si sono riscontrati scostamenti da quanto pianificato.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

#### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

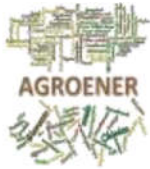
Allo stato attuale non si intendono presentare proposte che richiedano varianti tecnico-scientifiche

#### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Fiera Agricola 2018, San Marco Evangelista (CE) 21-25 aprile 2018: Il Centro di Ricerca in Zootecnia e Acquacoltura di Monterotondo ha presentato l'esperienza e le conoscenze sviluppate con gli anni dai ricercatori della struttura sulla "filiera bufalina", tema principale della Fiera, insieme all'attività di ricerca nel settore zootecnico. In tale ambito è stata presentata anche l'attività svolta nel settore energie rinnovabili all'interno del progetto AGROENER - Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia.

#### **6. Elenco pubblicazioni**

A. Chiariotti, S. Concetti, M. Cali, A. Crisà (2018) Bio-hydrogen and bio-methane production from buffalo wastes: research activity at CREA Research Centre for Animal Production and Agriculture. IX Asian Buffalo Congress ABC 2018 – February 1-4, 2018 – Hisar, India



### **Task 3.4 Impatto dei biodigestati sulle comunità microbiche sui suoli agrari**

**Task leader:** Luisa Maria Manici

**Linea 1 di attività:** Valutazione dell'impatto di digestati da impianti di biogas alimentati con colture da energia, su suoli agrari a colture estensive in 2 diversi agro-ambienti del nord Italia.

**Linea 2 di attività:** Valutazione dell'impatto di digestati da impianto di residui urbani nell'ambito di un programma di rilancio della produzione locale di fragola nella provincia di Bolzano

**Linea 3 di attività:** Potenziamento dell'impiego dei digestati da biomasse vegetali come ammendanti in conversione e gestione a biologico.

**Referente delle linee 1 e 2:** Luisa Maria Manici

#### **Abstract**

La task 3.4 mira a valutare l'impatto dei digestati su sanità e fertilità biologica dei suoli. Dopo aggiustamento rispetto alla proposta originale avvenuta nel primo anno di progetto, l'attività di ricerca prevede 2 linee riferite a due specifici sistemi produttivi, entrambe con un importante impatto ambientale e socio-economico.

**Linea di ricerca 1.** È stato concluso il primo anno di valutazione e, al giugno 2018, tale linea è al secondo anno di prove. La ricerca, con setting sperimentale di tipo comparativo, valuta l'effetto migliorativo su suoli agrari in seguito ad apporto di digestati anaerobici da impianti di biogas. La ricerca si svolge in tre località della Pianura Padana (province di Cremona, Modena e Forlì-Cesena) nelle vicinanze di 3 impianti di riferimento per la produzione anaerobica di biogas. I risultati del primo anno indicano che l'ammendamento dei suoli con digestati ha incrementato la capacità di accrescimento delle piante, rispetto ai controlli non trattati. In base ai risultati del primo anno, questo miglioramento è principalmente dovuto a fattori biologici legati alla sanità delle radici. Il fatto che non siano stati osservati significative differenze nel contenuto di sostanza organica fra suoli trattati e i corrispondenti suoli non trattati, supporta l'ipotesi di un incremento della soil suppressiveness nei suoli ammendati.

**Linea di ricerca 2.** Questa ricerca fa riferimento a un'area montana specializzata per la produzione tardiva di fragola (val Martello - BZ) in cui recentemente sono state osservate problematiche di declino produttivo legate al ritorno frequente della coltura. A partire dalla primavera 2017, in collaborazione con il Centro Ricerca e Sperimentazione Agraria e Forestale di Laimburg (BZ), è stata svolta una indagine per individuare alcuni appezzamenti con problematiche di declino della sanità dei suoli. Sulla base dei risultati di questa indagine è stato individuato l'appezzamento per lo



svolgimento della prova di campo con apporto di digestati che dovrebbe avvenire nel luglio 2018, con successivo trapianto di fragola in pieno campo.

## 1. Attività svolta

**Linea1.**La prova fa riferimento a tre impianti di biogas in altrettante località della Pianura Padana rappresentative per quantità di biogas prodotta nell'area e tipo di fonti di energia prevalentemente usata nei digestori della zona di riferimento. Tali siti sono situati nelle Province di Cremona (impianto Biogas da Impianto alimentato prevalentemente con residui zootecnici), di Modena (impianto alimentato con materiali misti di origine vegetale, nel caso specifico prevalentemente con farine di mais altamente contaminate da micotossine) e di Cesena (Gruppo Bagioni, Impianto alimentato prevalentemente con colture da energia, prevalentemente cereali).

Nel maggio 2017, in ogni sito sono stati prelevati campioni di suolo con il seguente criterio:

- appezzamento coltivato a mais con storia di ammendamento con digestati da produzione di biogas.
- appezzamento limitrofo non ammendato, sempre con coltura di mais in atto.

I campioni di suolo prelevati da tali appezzamenti (vedi di seguito la mappa dei siti di prelievo e contenuti di sostanza organica nei Trattati e Non Trattati) sono stati utilizzati per una prova di accrescimento in vaso presso il CREA - AA di Bologna nel 2017

La prova in serra è stata svolta con il seguente disegno sperimentale:





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

1. località della pianura Padana riferiti a 3 digestori (fattore di variabilità: Località)
2. suolo ammendato e non ammendato (fattore di variabilità: Trattato/Non Trattato)

La prova è stata organizzata in blocchi randomizzati con 3 repliche. Il mais è stata scelto come coltura target. Il tempo di allevamento delle giovani piante di mais è di 30 giorni nei mesi di giugno/luglio. La risposta produttiva nel test in vaso è stata valutata come sostanza secca della porzione aerea per pianta prodotta in un mese di allevamento in vaso.

Le radici sono state analizzate per la presenza di funghi endofiti (frequenza di colonizzazione e composizione della comunità di funghi colonizzanti). Il suolo rizosferico invece è stato conservato a -80 °C, per la eventuale valutazioni delle comunità batteriche della rizosfera con metodi molecolari a partire da DNA totale da suolo. Queste ultime analisi sulle comunità batteriche della rizosfera verranno svolte nel caso in cui i risultati delle prove del secondo anno confermeranno quelli interessanti del 2017.

**Linea2.** L'obiettivo del 2017 era la individuazione dell'appezzamento idoneo per lo svolgimento della prova di campo con digestati al fine di migliorare la soilsuppressiveness in colture intensive di fragola affette da declino produttivo in Val Martello (BZ). I campioni di suolo prelevati da quattro campi della val Martello coltivati a fragola per almeno 10 anni, dove gli agricoltori avevano osservato un calo di rendimento nell'ultimo ciclo colturale. Per poter valutare la gravità dello declino della sanità dei suoli, parte dei campioni prelevati da ciascun campo è stato sottoposto a un breve trattamento termico a 80 °C presso Il Centro di Laimburg. Nel giugno 2017, è stato organizzato un saggio di crescita in serra, al fine di confrontare la crescita di fragola sui suoli originali in confronto al rispettivo controllo pastorizzato. Per la prova sono state utilizzate piante frigo-conservate di fragola cv Elsanta. Le piante sono state coltivate per due mesi, fino al completamento del primo ciclo produttivo. Durante tale periodo sono stati misurati i parametri produttivi di fragola (produzione totale, produzione vendibile ecc.). Alla fine del test, oltre alla produzione di biomassa della porzione aerea, le comunità dei funghi endofiti delle radici sono stati valutati con metodi su base colturale; mentre i funghi e i batteri nella rizosfera sono stati quantificati con mezzi molecolari utilizzando primers specifici, per poi esprimere i valori in termini di quantità di DNA amplificato con tali primers.

La linea di ricerca 3 è programmata per l'ultima parte del progetto sulla base dei risultati delle linee di ricerca 1 e 2.1 e 2



## 2. Risultati e *deliverables*

**Linea1.** I suoli ammendati con il digestato dalla produzione anaerobica di biogas hanno mostrato un SOM generalmente più elevato rispetto al rispettivo campo controllo, anche se questa differenza non era significativa. La dotazione di SOM era comunque variabile da 1 a 1,5%, quindi relativamente modesta per un'area di produzione agricola come la pianura Padana.

In base alla analisi della varianza (ANOVA) a 2 vie, la risposta di accrescimento del mais e la frequenza delle infezioni fungine delle radici sono risultate significativamente diverse sia per località che per trattamento del suolo di origine. L'interazione significativa tra (1) località e (2) ammendamento suggerisce che la risposta delle piante all'apporto o meno con digestati è stata diversa nelle 3 località in studio. In tutti e 3 i casi, tuttavia, i suoli ammendati hanno dato una risposta di accrescimento superiore a quella dei suoli controllo, anche se in misura diversa nelle 3 località in studio.

La colonizzazione radicale, a sua volta, è risultata sempre inferiore nei suoli ammendati rispetto ai non ammendati. Il fatto che la colonizzazione radicale e la biomassa prodotta dal mais siano risultati negativamente correlate in modo significativo (Coeff. Corr.: -0,69,  $P < 0,001$ , 18 valori confrontati), suggerisce che nei suoli trattati, la colonizzazione delle radici da parte dei funghi del suolo viene ridotta, ovvero, tali suoli sono caratterizzati da una maggiore capacità di contrastare la colonizzazione fungina delle radici. Poiché i funghi isolati dalle radici di mais nei suoli trattati e non trattati non differivano per composizione ed erano tutti potenziali patogeni radicali, supporta l'ipotesi che l'ammendamento con digestati abbia aumentato la *soil suppressiveness*; ovvero la capacità naturale del suolo di sostenere la crescita della pianta.

I risultati del secondo anno di prova e le analisi della comunità batteriche della rizosfera dovranno confermare o meno tali risultati e permettere di identificare i fattori biologici positivi indotti dall'ammendamento con digestati e quindi coinvolti nell'incremento di sanità dei suoli.

**Azione 2.** La performance produttiva di fragola sui suoli nativi ha permesso di identificare l'apuzzamento con maggiori problematiche di sanità dei suoli e quindi il più adatto per svolgere le prove di campo successive (Tabella 1)



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Tabella 1: **A.** Caratteristiche del suolo, anno di inizio coltivazione e gestione dei quattro campi di fragole selezionati per l'indagine negli ultimi 5. **B.** risposta produttiva della fragola in serra sui suoli originali.

A. Caratteristiche e storia dei suoli							B. Performance produttiva
Azienda	SOM (%)	pH	C/N	Soil texture <sup>1</sup>	Anno inizio coltivazione	Gestione 2013-2017	Produzione vendibile (g)
P	4.8	6.4	8	sandy-loam	1992	incolto	50.17 <sup>2</sup> a <sup>3</sup>
J	6.1	6.1	9	sandy-loam	2010	Fragola	57.50 a
F	3.3	6.9	7	silt-loam	1987	Fragola	37.08 b
E	3.9	6.9	8	silt-loam	1993	Fragola	47.58 ab

<sup>1</sup>Tessitura dei suoli in base al SoilTriangleHydraulicPropertiesCalculator (Saxton et al., 1986).

<sup>2</sup>produzione vendibile di fragole, media per pianta ;

<sup>3</sup>Test di separazione delle medie Fisher's least significant difference all'intervallo di confidenza del 95%

La risposta produttiva di fragola nei suoli trattati termicamente (pastorizzati) è risultata complessivamente più alta rispetto ai suoli originali dimostrando così che il declino produttivo era causato da componenti biologiche dei suoli. Inoltre, i suoli originali con peggiore performance produttiva secondo la tabella 1, hanno dato gli incrementi produttivi più alti rispetto ai suoli originali corrispondenti. Questo ha ulteriormente confermato che la problematica di declino produttivo era dovuta a componenti biotiche. Tali componenti sono poi state identificate come una serie di funghi patogeni responsabili di necrosi radicale e riduzione di radicazione in fragola. Anche altre componenti biotiche sono risultate essere coinvolte nell'incremento della crescita in suoli pastorizzati. Fra queste, le popolazioni di attinomiceti e del genere *Pseudomonas* coinvolte nei meccanismi di protezione delle radici dai patogeni e nella promozione di crescita.

Su tali risultati è stato individuato l'appezzamento in val Martello presso cui verrà svolta la prova di campo. L'ammendamento è previsto per luglio e il trapianto in agosto 2018.

### 3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Azione 2. Al momento l'impianto per la produzione di biogas da residui urbani in Alto Adige si è bloccato, potrebbero esserci difficoltà per ottenere il digestato, si stanno valutando impianti alternativi in zona.



---

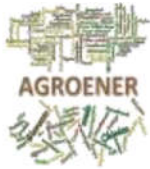
**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

**4. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

- Tesi di laurea magistrale. Andreas Rossi della Facoltà di Scienze Agrarie di Bologna (UNIBO), relatore Prof. Monti, correlatori, L.M. Manici (CREA) e M. Kelderer (Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale di Laimburg, Bolzano). La tesi riguarda parte della Azione 2 e verrà discussa entro il 2018.
- I risultati della linea1 sono stati presentati nell'ambito delle presentazioni di Progetto a cura del WP leader, fra cui quella alla fiera di Verona del 1 Febbraio 2018 e altre come da relazione del WP leader.

**5. Elenco pubblicazioni**

Manici L. M., Rossi A., Caputo F., Topp A.R., Zago M., Kelderer M. 2018. A first survey on the health quality of soils in Martell valley with the prospective of implementing organic production of strawberries. Proc. 18<sup>th</sup> Eco Fruit Conference <https://www.ecofruit.net/proceedings.html>. University of Hohenheim (Germany), February 19 to 21, 2018. pp. 213-217. pdf on line a [https://www.ecofruit.net/2018/57\\_Manici\\_213-217.pdf](https://www.ecofruit.net/2018/57_Manici_213-217.pdf).



**Task 3.5** Valutazione dell'efficacia agronomica deidigestati anaerobici e loro valorizzazione per l'uso agricolo

Task leader: Anna Benedetti (CREA-AA)

**Linea 2 di attività: Prove in microcosmo ed in vaso**

Referente: Anna Benedetti

**Linea 3 di attività: Individuazione di proprietà biostimolanti nei biodigestati**

Referente: Maria Teresa Dell'Abate

**Abstract**

Nel secondo anno di attività la task 3.5 ha valutato la potenziale efficacia agronomica dei biodigestati considerati nel primo anno, attraverso prove sia in microcosmo sia di coltivazione in vaso. Con le prove in microcosmo si sono determinate la nitrificazione e la mineralizzazione potenziale dell'azoto presente nei biodigestati, in confronto con un fertilizzante minerale a pronto rilascio (solfato ammonico). È stato perciò possibile differenziare i biodigestati in funzione della diversa disponibilità di azoto nel tempo di prova (12 settimane). Nella prova in vaso, su coltura di *Lolium perenne*, si sono osservate a fine ciclo (4 mesi) differenze di produzioni cumulate di biomassa e di asportazione di azoto da parte della pianta tra i diversi trattamenti fertilizzanti. Parallelamente sono state registrate differenze nel suolo a fine ciclo (4 mesi): si è osservato in alcuni trattamenti un aumento del contenuto di azoto e carbonio organico ed anche l'abbondanza di batteri ed archea ammonio-ossidanti è risultata diversificata. Su un diverso gruppo di materiali, distinti tra torbe (materiale umificato di riferimento), ammendanti compostati e biodigestati, rappresentativi di tipologie di materiali organici a diverso livello di stabilizzazione chimico-fisica, è stata condotta una indagine sul livello di stabilizzazione della sostanza organica, condotta con metodi di analisi termicamessi a punto da Crea-AA. Inoltre con metodi chimici tradizionali è stato determinato il livello di umificazione. Gli indici di stabilità termica e quelli di umificazione sono stati inseriti all'interno di una griglia di valutazione in via di elaborazione.

**1. Attività svolta**

**Linea 2.**

Le prove in microcosmo hanno mirato a determinare in laboratorio la nitrificazione e mineralizzazione potenziale dell'azoto presente nei digestati esaminati, valutandone la dinamica in





---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

confronto con un fertilizzante minerale a pronto rilascio (solfato ammonico), utilizzato come riferimento. Il metodo utilizzato è quello biochimico biochimico di Stanford & Smith modificato da Benedetti et al. (1993): a 50g di suolo miscelato con sabbia di quarzo in rapporto 1:1 è stata addizionata una quantità di N provenienti dalle diverse matrici pari a 250 mg/kg. A tempi prestabiliti sono state effettuati dilavamenti 1 -2 – 4- 8 -12 settimane. Le forme minerali di azoto nella soluzione lisciviata sono state determinate mediante analizzatore automatico a flusso continuo secondo Wall et al. (1985) per l'ammonio, e secondo Kamshake et al. (1967) per i nitrati e nitriti. I valori di azoto totale percolato, % nitrificazione, % ammonizzazione sono espressi come percentuale di azoto eluito rispetto all'azoto totale aggiunto. Il suolo utilizzato presentava media fertilità biologica, con tessitura franco-sabbiosa, pH subalcalino, contenuto medio di sostanza organica. In confronto con solfato ammonico (AS), sono stati testati i digestati, caratterizzati nel primo anno, provenienti dalle seguenti matrici: digestato suino + energycrops (SE); digestato suino + energycrops separato solido (SES); digestato bovino + energycrops tal quale (BE); forsu tal quale (F); forsu essiccato (FE); forsu essiccato + compost (FEC).

La **prova agronomica in vaso** è stata condotta utilizzando terreno prelevato presso il campo sperimentale di Tor Mancina, caratterizzato da pH neutro, tessitura franco-argillosa, contenuto di sostanza organica medio-basso e media fertilità biologica. Un totale di 32 vasi aventi  $\varnothing$  di 30 cm, con tesi ripetute in quadruplo e disposte in base ad uno schema a blocchi randomizzati, sono stati preparati stratificando: carta da filtro in fibra di vetro a coprire i fori, 3 cm ca. di sabbia di quarzo (stessa quantità pesata per tutti i vasi), suolo seccato all'aria e vagliato a 9 mm (in quantità uguale per tutte le tesi), evitando l'utilizzo di qualsiasi materiale potesse interferire nella prova, assorbendo e/o trattenendo nutrienti ed in particolare azoto. L'aggiunta del fertilizzante è stata effettuata sulla base di 180 kg/ha di azoto sia per la tesi minerale (solfato ammonico) che per i diversi digestati; è stata inoltre prevista una tesi controllo coltivato non fertilizzato. Dopo ca. 3 settimane dall'applicazione dei diversi trattamenti fertilizzanti, è stata effettuata la semina di *Lolium perenne* varietà Belida, la germinazione è iniziata a ca. 2 settimane dalle semina. Dopo 20 giorni dalla semina è iniziata la simulazione artificiale delle piogge, con raccolta ed analisi del lisciviato (contenuto di N nitrico ed ammoniacale) ogni 10 giorni per il calcolo delle perdite in azoto a seguito delle piogge simulate. Il primo sfalcio di vegetale è stato effettuato a distanza di ca. 40 giorni dalla semina, in totale sono stati effettuati 5 sfalci di materiale vegetale da analizzare per il contenuto di azoto.

Alla fine della prova, durata ca. 4 mesi, sono stati prelevati i 32 campioni di suolo del tempo finale, che, come il suolo a tempo zero, sono stati analizzati per determinare il pH, azoto totale e carbonio organico totale. È stata inoltre determinata l'abbondanza nel suolo, a fine prova colturale, dei batteri e degli archea ammonio-ossidanti attraverso quantificazione via PCR real-time del gene AmoA.





### Linea 3.

L'attività ha riguardato la messa a punto della metodologia di studio della stabilità della sostanza organica contenuta nei biodigestati, attraverso il confronto tra tipologie di materiali organici a diverso livello di stabilità termica. Il gruppo di riferimento (4 campioni) è costituito da torbe utilizzate per co-formulazione in fertilizzanti organo-minerali; sono stati anche considerati ammendanti compostati (4 campioni tra verdi e misti), in aggiunta a 3 campioni di biodigestati, di cui uno contenente forsu tra le matrici iniziali. I materiali sono stati sottoposti a caratterizzazione chimica per i principali parametri relativi alla componente organica (C organico, N organico, frazioni solubili in acqua ed in alcali, frazioni umificate e relativi parametri dell'umificazione). Tali campioni sono stato sottoposti ad analisi di Calorimetria a Scansione Differenziale (DSC) e termogravimetria (TG) e sono stati dedotti indici di stabilità termica. Le analisi sono state condotte con termoanalizzatore simultaneo Netzsch 414 in condizioni ossidanti per aria statica, secondo il metodo di Dell'Abate et al. (2000) opportunamente modificato.

Per quanto riguarda l'individuazione di eventuali proprietà biostimolanti nei biodigestati e gli altri approfondimenti previsti relativamente alla identificazione di molecole bioattive, verranno effettuati nel terzo anno di attività unitamente alla caratterizzazione di altri biodigestati, provenienti da prove in laboratorio condotte dall'unità di CREA-ZA. In particolare, alcuni dei campioni forniti da CREA-ZA, rinvenuti da prove di fermentazione in anaerobiosi di miscele di refluo zootecnico e "scotta" (sottoprodotto della caseificazione), sono stati preliminarmente caratterizzati per alcuni parametri di base (C, N per iniziare).

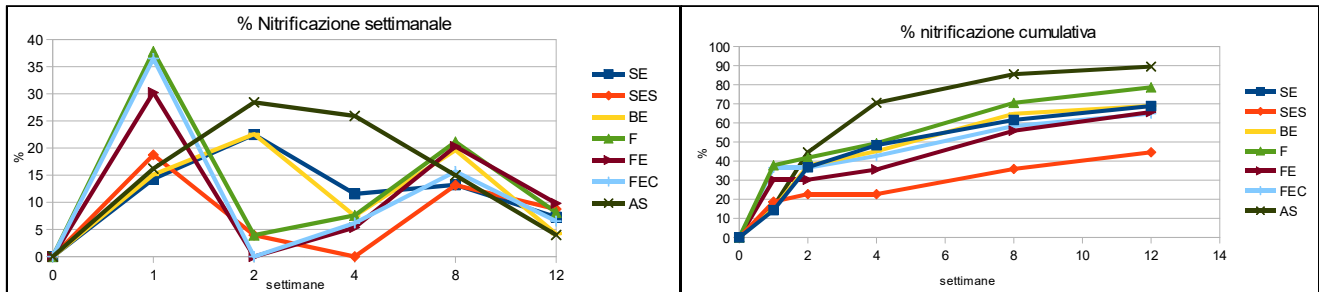
## 2. Risultati e deliverable

### Linea 2.

Le **prove in microcosmo** hanno evidenziato il trend temporale di rilascio dell'azoto nitrico nel corso delle 12 settimane di osservazione con un picco dopo la prima settimana per le tesi F, FEC, FE e (in misura minore) SES, mentre il solfato ammonico AS (composto di riferimento), SE e BE hanno il picco di nitrificazione nella seconda settimana. Per tutti i materiali in esame si è osservata una riattivazione della nitrificazione a carico della frazione organica residua, rilevata al dilavamento della ottava settimana. A fine prova, 12° settimana, tutti i materiali hanno rilasciato una ulteriore quantità di nitrato, tra il 5% (AS e BE) ed il 10% (FE) di quello aggiunto. Considerando le quantità di nitrato dilavato cumulativamente, a fine prova, SES è risultato il materiale che ha nitrificato la minore quantità di azoto (circa il 45% di quello aggiunto) ed il solfato ammonico AS la maggiore (90%).

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Fig. 1. Curve di nitrificazione settimanale (sin) e cumulativa (dx), valori espressi in % di azoto aggiunto.



Per quanto riguarda i valori dell'azoto dilavato complessivamente come ammonio e nitrato, nella prima settimana tutti i digestati hanno rilasciato tra circa il 24% (SES) ed il 43% (FEC) di azoto solubile, con il massimo (circa 47%) per il solfato ammonico (controllo interno del test). Alla fine delle 12 settimane di incubazione, F, SE e BE hanno rilasciato quasi il 100% dell'azoto, pur con una diversa gradualità nelle prime settimane; FEC ha rilasciato l'80%, mentre il più stabile è risultato SES con il 60%.

I dati produttivi della **prova agronomica in vaso** hanno evidenziato differenze tra le tesi a fine ciclo, con le produzioni cumulate maggiori per le fertilizzazioni AS, SES e BE, le minori con SE. Per quanto riguarda l'efficienza di utilizzo dell'azoto da parte della pianta, la quantità di azoto cumulato asportato a fine prova è risultata maggiore nell'ordine in AS, BE e SES.

La simulazione delle piogge condotta ogni 10 giorni a partire dal ventesimo dopo la semina e l'analisi del percolato raccolto ha permesso di evidenziare le differenti perdite di azoto tra i diversi trattamenti fertilizzanti e nel tempo. I dati cumulati hanno mostrato a fine prova una minore perdita di azoto nel controllo non fertilizzato, mentre tra le tesi trattate con digestati le perdite maggiori si sono avute con i trattamenti FSE e BE.

Nei campioni di suolo prelevato a fine prova (circa 4 mesi) in tutte le tesi si è riscontrato un leggero decremento del valore di pH rispetto al valore iniziale (tempo 0); i trattamenti SE, FEC e FE hanno mostrato un aumento del contenuto di azoto totale e di carbonio organico nel suolo, quest'ultimo in valore assoluto più elevato in FEC, seguito da FE e SE. La diversa disponibilità di azoto assimilabile in funzione del tipo di matrice organica applicata ha influenzato inoltre la dinamica della comunità microbica del suolo: a fine prova l'abbondanza nel suolo dei batteri e degli archea ammonio-ossidanti (quantificazione via PCR real-time del gene *Amoa*) è risultata diversificata nei diversi trattamenti.

### Linea 3.

La **caratterizzazione chimica della frazione organica** di torbe (Torba/n, materiali di riferimento in quanto a stabilizzazione ed umificazione), ammendanti compostati verdi (ACV/n) e misti (ACM/14),



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

digestati (Dig/n, di cui il n.11 contenente forsu) ha rilevato sia differenze che similitudini. In particolare, nel **gruppo torbe** tutti i campioni presentano un buon contenuto di acidi umici e fulvici (HA+FA), maggiore nel campione n. 13 a fronte del minore valore di carbonio organico, rispetto alla torba n. 1, la più ricca in carbonio organico totale; quanto alle frazioni di carbonio solubili in ambiente alcalino per NaOH e pirofosfato di sodio, Torba/1 presenta l'estraibilità minore (0,24), gli altri campioni intorno a 0,4; il carbonio solubile in acqua (DOC) varia tra i 44 mg kg<sup>-1</sup> del campione n. 13 e 82 mg kg<sup>-1</sup> del n. 2; la normalizzazione di tali valori rispetto al contenuto di C organico totale restituisce valori di cessione (espressi come DOC/TOC %) minori e simili per i due campioni di torba umificata (n. 1 e n. 13). Il contributo del C solubile in acqua al TEC è maggiore nei campioni 1-2-3 rispetto al campione n. 13 (DOC/TEC% 0,056% vs 0,037). Tra i campioni di **ammendante compostato**, solo ACM/9 presenta un contenuto minimo del TOC >20%. Il contenuto di sostanze umosimili HA+FA è confrontabile con quello rilevato nelle torbe; l'estraibilità in NaOH e pirofosfato è invece molto elevata rispetto alle torbe, denotando una quantità inferiore di umina insolubile. Se si considera il materiale non umico estratto, gli elevati valori rilevati nei campioni 5-6-9, sia in valore assoluto (TEC-(HA+FA)) che normalizzati rispetto alle sostanze umiche (HI=NH/HA+HA), denotano la cessione di carbonio organico labile. Il campione 14, che presenta la minore quantità di carbonio non umico estratto, è però caratterizzato dal più elevato contenuto di DOC (circa 1,5 g /kg), che rappresenta circa lo 0,9% del TOC e l'1,4% del TEC. La cessione di carbonio organico in acqua è elevata in tutti i campioni di ammendante analizzati, inferiore nel campione n. 9. L'effetto nutrizionale del rilascio di tali substrati organici labili necessita di essere valutato. I tre campioni di **digestato** esaminati soddisfano il requisito di S.O. >20% per l'utilizzo in agricoltura (DM 5056 del 25.2.2016). Per quanto riguarda il contenuto in azoto, il campione n. 10 risulta essere il più ricco, con un contenuto di 2,65%, di cui circa il 76% in forma organica. Il contenuto di materiale umo-simile (HA+FA) è risultato buono, più elevato nel campione 10, dove è anche presente una elevata quantità di carbonio organico estraibile non umico. Nel campione 11 è elevato anche il valore del carbonio solubile in acqua, che rappresenta lo 0,78% del TOC e l'1,77% del TEC. Anche per tali campioni va valutato l'effetto nutrizionale del rilascio di substrati organici labili.

**Caratterizzazione TG/DSC: indici di stabilità termica.** Il gruppo di campioni "Torbe" presenta termogrammi tipici di biomasse umificate per i campioni n. 1-2-3, ovvero tre frazioni a diversa stabilità termica, di cui le prime due preponderanti e ben risolte. Il rapporto relativo tra le frazioni esotermicamente più stabili e quelle più labili è un indice di stabilità termica:  $R > 0.70$  indica che oltre il 70% della sostanza organica è termicamente riferibile alle frazioni più stabili. Il campione 13, invece, presenta un termogramma fortemente caratterizzato dalla prima esoterma, con un continuum di rilascio di calore e perdita di massa da cui non sono direttamente risolvibili, salvo deconvoluzione delle curve, i contributi esotermici a  $T > 400^{\circ}\text{C}$  presenti come spalla sia sulla curva DSC che sulla DTG (derivata prima della TG); l'indice R non è pertanto determinabile. Si segnala che



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

in questo campione la sostanza organica presenta un elevato grado di umificazione a fronte di un basso tasso di umificazione.

Il gruppo di campioni “**ammendanti compostati**” è caratterizzato da un *pattern* termico semplificato, con due sole frazioni esotermiche, ben risolte e con picchi simmetrici, specie i campioni 5 e 6 (compostati verdi) ed il 14 (compostato misto): tutti elementi che concorrono a descrivere una sostanza organica a network piuttosto semplice, con un buon livello di stabilizzazione, ed una frazione stabile con un buon contenuto energetico (intensità ed area dei picchi esotermici DSC). Le temperature di picco della seconda esoterma sono mediamente più elevate che nel gruppo “torbe”. L'indice di termostabilità R fornisce un valore più elevato per il campione 5. Il campione 9, anch'esso caratterizzato da due sole frazioni esotermicamente attive, si distingue per la minore intensità della seconda esoterma. Vi sono indicazioni per una diversa composizione della sostanza organica nei campioni 5 e 14, essendo maggiore il rapporto tra la sostanza organica rilevata per perdita di peso ed il TOC, più elevato dell'intero data set di campioni.

Nel gruppo “**biodigestati**” (3 campioni) si osservano alcune differenze tra i campioni: in tutti sono presenti due frazioni principali, ma nel n. 10 si osserva una maggiore eterogeneità compositiva della frazione più termolabile (ovvero una frazione minoritaria intermedia), che potrebbe essere messa in relazione con la presenza di forsu nelle matrici di partenza, ed è anche maggiore il valore dell'indice R, ovvero oltre 80% della sostanza organica è nella seconda frazione termicamente più stabile.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Rispetto a quanto previsto relativamente alla Linea 3, l'attività di individuazione di eventuali proprietà biostimolanti nei biodigestati e gli altri approfondimenti previsti relativamente alla identificazione di molecole bioattive verranno effettuati nel terzo anno di attività unitamente alla caratterizzazione di altri biodigestati prodotti dall'unità di CREA-ZA. Per tale motivo si ritiene di dover modificare la tempistica di rilascio di alcuni Deliverables, in particolare spostando il D.3.5.2 al quadrimestre 10, ed il D.3.5.3 al quadrimestre 11.

Per quanto riguarda la composizione del gruppo di lavoro della Task 3.5, si segnala che la dott.ssa Simona Rinaldi (Ric) e la sig.ra Barbara Felici (CTER) sono state trasferite in altre strutture CREA, mentre il dott. Gianluca Renzi è titolare da novembre 2017 di assegno di ricerca a valere sul presente progetto e la dott.ssa Loredana Canfora collabora per quanto attiene agli aspetti di biologia molecolare del suolo.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Non vi sono ulteriori attività da segnalare.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

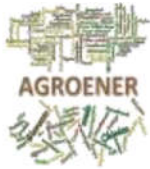
Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

L'attività della Task anche nel 2° anno è stata di tipo analitico; si segnala inoltre che nell'ambito del XII Ciclo della scuola di Biodiversità e Bioindicazione del Suolo, della Società Italiana della Scienza del Suolo, organizzata il 23-23 maggio 2018 presso il Centro Convegni di Cassinazza (PV) di Rete Neorurale, la dott.ssa Loredana Canfora ha tenuto una lezione sulla caratterizzazione microbica di suoli ammendati con biodigestati da Forsu.

### **6. Elenco pubblicazioni**

Non vi sono pubblicazioni al momento, note scientifiche sono in corso di stesura.



**Task 3.6 Utilizzo del pastazzo di agrumi e di altre biomasse residuali tipiche mediterranee come matrici alternative per la produzione di biogas**

Task leader: Simona Fabroni

**LINEA 1 di attività:** sviluppo dei mix in *feed* all'impianto; analisi in laboratorio delle materie prime in ingresso al processo di fermentazione anaerobica e delle varie frazioni del digestato prodotto.

Referente: Simona Fabroni

**LINEA 2 di attività:** prove di fermentazione anaerobica di diverse miscele di biomasse residuali tipiche mediterranee (pastazzo, sansa, cladodi di *Opuntia*, reflui zootecnici, residui vegetali o secondi raccolti e semidigestati fungenti da inoculo); prove di distribuzione meccanica in agrumeti del digestato

Referente: Simona Fabroni

**LINEA 3 di attività:** prove, prima in laboratorio, poi su un impianto pilota, per la formulazione di concimi organo-minerali con microelementi a partire dalla frazione fluida del digestato.

Referente: Filippo Ferlito

**LINEA 4 di attività:** prove agronomiche per la valutazione delle proprietà fertilizzanti e dell'eventuale fitotossicità del digestato in contenitore su piante di agrumi ornamentali o su portinnesto.

Referente: Filippo Ferlito

**LINEA 5 di attività:** analisi preliminare delle normative vigenti, nazionali e regionali sull'impiego del digestato come ammendante in agricoltura; valutazione economica relativa alla disponibilità a pagare per impiegare, in sostituzione degli ammendanti convenzionali, quello derivante dal processo di digestione anaerobica.

Referente: Simona Fabroni

**Abstract**

Così come previsto dalla linea 2, la prova di fermentazione anaerobica in continuo di diverse miscele di biomasse residuali dei processi agricoli ed agroindustriali siciliani (bucchette di pomodoro, paglia di cereali, siero di latte, letame bovino, sansa 3 fasi, lettiera avicola, triticale insilato, pollina, acque di vegetazione e pastazzo di agrumi) è stata svolta presso i laboratori accreditati del C.R.P.A. (Centro Ricerche Produzioni Animali) SpA di Reggio Emilia impiegando matrici raccolte in Sicilia e si è





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

conclusa nel corso del mese di giugno c.a. In merito alle prove di distribuzione meccanica del digestato si ricorrerà all'impiego della frazione solida prodotta dall'impianto AB Group di Vittoria (RG) che è stato già contattato per i formali adempimenti del caso. Relativamente alle linee 3 e 4 sono state realizzate in laboratorio prove preliminari di formulazione, mediante miscelazione della frazione fluida del digestato fornito dalla società AB Group con i fertilizzanti a base di microelementi normalmente impiegati in fertirrigazione, mentre per la valutazione dell'efficacia e dell'eventuale fitotossicità delle varie frazioni del digestato saranno predisposte delle prove agronomiche per la valutazione delle proprietà fertilizzanti del digestato in contenitore su piante di agrumi ornamentali. Infine, rispetto alla linea 5, l'analisi della normativa vigente ha riguardato l'approfondimento del Decreto Interministeriale n. 5046 del 25/02/2016, che regola le modalità e i tempi per lo spandimento del digestato, e del Decreto L.vo 2015/2010 e ss.mm.ii., che definisce il concetto e le caratteristiche del "sottoprodotto". La valutazione della disponibilità a pagare per l'impiego del digestato è in corso di svolgimento.

## **1. Attività svolta**

### ***LINEA 1 di attività: conclusa***

### ***LINEA 2 di attività (Convenzione Di3A):***

A causa dei ritardi nell'approvazione della richiesta di variante al preventivo di spesa approvata dal MiPAAF lo scorso anno (prot. CREA 0011948 del 23/03/2017), la convenzione con il Di3A dell'Università di Catania è stata siglata in ritardo e ciò ha provocato uno scostamento di circa due quadrimestri rispetto al timing previsto. La prova di fermentazione anaerobica in continuo di diverse miscele di biomasse residuali dei processi agricoli ed agroindustriali è stata svolta presso i laboratori accreditati del C.R.P.A. (Centro Ricerche Produzioni Animali) SpA di Reggio Emilia impiegando matrici raccolte in Sicilia e si è conclusa nel corso del mese di giugno c.a. Pertanto, l'elaborazione dei dati monitorati è ancora in corso. Per le diverse frazioni intermedie ed il digestato finale, campionati nel corso della prova in continuo svolta presso il laboratorio del CRPA, verranno monitorati i seguenti parametri: sostanza secca, sostanza organica, solidi totali, solidi volatili, alcalinità e acidità (Fos,Tac), N totale (ammoniacale e nitrico), micro e macro-elementi, oltre alla valutazione della carica inquinante mediante determinazione COD.

Per quanto attiene all'attività di distribuzione meccanica del digestato, si procederà nel corso dei prossimi mesi allo spandimento in appezzamenti dedicati alla produzione di colture arboree (agrumeto e/o vigneto), di digestato solido fornito da un impianto di digestione anaerobica in scala reale presente sul territorio siciliano, sito presso l'azienda AB Group con sede in agro di Vittoria (RG). Le prove permetteranno di comparare l'efficienza di distribuzione di diverse macchine operatrici utilizzabili per la distribuzione meccanica del digestato in filari di colture arboree.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

Tutte le attività relative a questa linea si concluderanno entro l'ottavo quadrimestre di progetto (febbraio 2019).

**LINEA 3 di attività:** Sono state realizzate in laboratorio prove preliminari di formulazione, mediante miscelazione della frazione fluida del digestato fornito dalla società agricola AB Group di Vittoria (RG) con i fertilizzanti a base di microelementi normalmente impiegati in fertirrigazione.

**LINEA 4 di attività:** L'attività svolta è stata quella relativa alla caratterizzazione delle campionature di digestato di entrambe le frazioni (fluida e solida), realizzata nel mese di giugno 2017 presso la società agricola AB Group di Vittoria (RG). Per la valutazione dell'efficacia e dell'eventuale fitotossicità delle varie frazioni del digestato saranno predisposte delle prove agronomiche per la valutazione delle proprietà fertilizzanti del digestato in contenitore su piante di agrumi ornamentali.

**LINEA 5 di attività (Convenzione Di3A):**

L'analisi della normativa nazionale e regionale vigente si è conclusa. Inoltre, si è ritenuta imprescindibile la necessità di definire anche gli aspetti normativi legati alla definizione di rifiuti e sottoprodotti. In particolare è opportuno che le sostanze da cui deriva il digestato rispettino quanto stabilito all'art. 184 bis, comma 1 del D.Lgs. 205/2010 s.m.i., che definisce il concetto e le caratteristiche del "sottoprodotto". Per quanto attiene alla valutazione economica relativa alla disponibilità a pagare (DAP) per impiegare il digestato, in sostituzione degli ammendanti convenzionali, è stato definito il protocollo sperimentale di indagine ed è stato elaborato il disegno sperimentale. Sono in corso di definizione i questionari da somministrare agli intervistati. L'attività si concluderà entro l'ottavo quadrimestre di progetto (febbraio 2019).

## **2. Risultati e deliverable**

**LINEA 1 di attività: conclusa**

**LINEA 2 di attività (Convenzione Di3A, non ancora conclusa):** L'attività è ancora in corso di svolgimento a causa dei ritardi registrati in fase di assegnazione dell'incarico di collaborazione alla ricerca (convenzione di ricerca). Rispetto a quanto previsto in origine, non sono stati inseriti nel mix di biomasse testato l'insilato di sorgo e il trinciato fresco di *Opuntia* spp. Tali biomasse potevano essere reperite con non poche difficoltà legate alla stagionalità dei cicli produttivi, ma sono state ritenute trascurabili poiché poco rappresentative delle reali potenzialità del settore agroenergetico in ambiente mediterraneo. Inoltre, sono state aggiunte al mix altre biomasse che in precedenza non erano state considerate, quali le buccette di pomodoro, l'insilato di triticale e la lettiera avicola. La prova è stata effettuata per due volte poiché nel corso della prima si è riscontrato un arresto della



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

produzione di biometano. La seconda prova, con durata inferiore rispetto alla precedente, è stata effettuata per valutare se l'uso di un inoculo differente potesse migliorare l'equilibrio biologico del processo, dato che nella prima prova si era osservato un accumulo di acidità e una produzione di biogas inferiore all'atteso. In particolare, la seconda prova è stata impostata con una rampa di adattamento: la partenza è stata effettuata con un mix al carico in cui il contenuto di pastazzo di agrumi e acque di vegetazione (biomasse acide) era 1/3 di quello previsto dalla ricetta originale ed è stato sostituito questo quantitativo con del liquame bovino, matrice che possiede un potere tampone. Dopo circa 2 settimane si è iniziato ad aggiungere il pastazzo di agrumi al posto di una quota di liquame bovino e quando raggiunta la stabilità biologica, sono state introdotte le acque di vegetazione e portata al termine la prova. Il pastazzo, essendo presente in maniera preponderante nel mix, ha condizionato l'esito della prova ma tale percentuale (elevata rispetto a quanto descritto in letteratura) è stata determinata sulla base di due considerazioni: da un lato l'elevata disponibilità del pastazzo in ambiente mediterraneo, a costi pressoché nulli, dall'altro la volontà di limitare il danno ambientale che deriva dallo scorretto smaltimento del pastazzo, rendendo risorsa una biomassa che altrimenti sarebbe un rifiuto. Maggiori dettagli relativi alla prova in continuo svolta saranno oggetto del successivo report, perché l'analisi dei dati è ancora in progress, essendosi conclusa da poco la prova. La valutazione analitica delle diverse frazioni intermedie e del digestato finale, campionati nel corso della prova in continuo svolta presso il laboratorio del CRPA, è in corso di svolgimento.

La prova di spandimento è in corso di svolgimento e verrà realizzata impiegando il digestato separato solido fornito dell'impianto di digestione anaerobica dell'impresa AB Group, che impiega un mix di biomasse simile a quello sopra descritto per tipologia ma non per percentuali di miscelazione. Il mix testato in laboratorio rappresenta, infatti, un limite verso cui vorrebbe spingersi la ricerca e non è ancora stato provato su scala reale per timore che si possano avere ripercussioni sulla produzione di biogas giornaliera e quindi dei danni economici per l'imprenditore.

**LINEA 3 di attività:** L'attività ha condotto a modesti risultati. In tutte le prove realizzate si sono formati precipitati, vista la natura complessa del digestato. I valori estremamente alti di conducibilità elettrica sono alla base dell'impossibilità di utilizzare il separato fluido come materia prima per la produzione di concimi a base di microelementi.

Campione	Sostanza secca g kg <sup>-1</sup>	N-NO3 mg kg <sup>-1</sup>	N totale g kg <sup>-1</sup>	TOC g kg <sup>-1</sup>	SO g kg <sup>-1</sup>	pH in acqua (1:2,5)	CE dSm <sup>-1</sup> 25°C
Separato Liquido	37	1	6	11	19	8.52	101
Separato Liquido	37	2	5	8	14	8.39	103



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

**LINEA 4 di attività:** Le caratteristiche delle due frazioni di digestato analizzate sono simili agli standard, sebbene si può rilevare un alto contenuto in azoto nitrico nel separato solido e conducibilità elettrica estremamente alta nel separato liquido. Gli impianti di digestione anaerobica devono tenere presente la conducibilità elettrica come parametro di monitoraggio del processo.

Campione	Sostanza secca g kg <sup>-1</sup>	N-NO3 mg kg <sup>-1</sup>	N totale g kg <sup>-1</sup>	TOC g kg <sup>-1</sup>	SO g kg <sup>-1</sup>	pH in acqua (1:2,5)	CE dSm <sup>-1</sup> 25°C
Separato solido	654	111	18	561	967	7.17	27
Separato solido	851	115	14	555	957	7.32	21
Separato Liquido	37	1	6	11	19	8.52	101
Separato Liquido	37	2	5	8	14	8.39	103

Come noto, lo sbilanciamento dell'alimentazione dell'impianto potrebbe determinare elevati valori di salinità nella miscela in digestione tali da provocare rallentamenti nel processo biologico per disidratazione cellulare, in particolare nei digestori nella cui alimentazione sono assenti o scarsi i liquami zootecnici.

**LINEA 5 di attività (Convenzione Di3A, non ancora conclusa):** L'attività di valutazione della disponibilità a pagare per l'impiego del digestato separato solido è ancora in corso a causa dei ritardi registrati in fase di assegnazione dell'incarico di collaborazione alla ricerca (convenzione di ricerca). L'analisi normativa si è conclusa con l'approfondimento del Decreto Interministeriale n. 5046 del 25/02/2016 che regola inequivocabilmente le procedure per l'impiego del digestato per l'utilizzazione agronomica, al fine di consentire alle sostanze nutritive ed ammendanti in esso contenute di svolgere un ruolo utile al suolo agricolo, realizzando un effetto concimante, ammendante, irriguo, fertirriguo o correttivo sul terreno oggetto di utilizzazione agronomica, in conformità ai fabbisogni quantitativi e temporali delle colture. Tale impiego agronomico deve rispettare dosi, tempi e modalità di spandimento descritte nel decreto sopra citato. Tale digestato può essere impiegato su suoli agricoli se rispetta la normativa vigente relativa alla definizione di rifiuti e sottoprodotti. In particolare, è opportuno che le sostanze da cui deriva rispettino quanto stabilito all'art. 184 bis, comma 1, del D.Lgs 205/2010 ss.mm.ii., che definisce il sottoprodotto come qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa tutte le seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- b) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

- c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

La filiera del biogas rappresenta un ottimo esempio di economia circolare, ovvero di un sistema a ciclo chiuso in cui tutti i prodotti sono risorse e non rifiuti. Fondamentale per la chiusura del ciclo, è il corretto impiego agronomico del digestato che ha un ruolo chiave sia in un'ottica di miglioramento della compatibilità ambientale dell'impianto di digestione anaerobica con l'ambiente rurale sia in termini di riduzione dei costi e della dipendenza dell'azienda agricola dai concimi di sintesi.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

*Scostamenti con quanto pianificato, difficoltà incontrate per ciascuna linea della task (max 1 pagina)*

A causa dei ritardi nell'approvazione della richiesta di variante al preventivo di spesa approvata dal MiPAAF lo scorso anno (prot. CREA 0011948 del 23/03/2017), la convenzione con il Di3A dell'Università di Catania è stata siglata in ritardo e ciò ha provocato uno scostamento di circa due quadrimestri rispetto al timing previsto. Pertanto, il completamento dei deliverables D.3.6.2, D.3.6.3 e D.3.6.5 sarà ultimato entro l'ottavo quadrimestre di progetto (febbraio 2019).

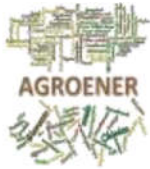
### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Indicare proposte che non richiedano varianti tecnico-scientifiche (max 1/5 pagina) in caso contrario sarà necessaria una apposita richiesta ufficiale

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Le attività della task 3.6 sono state divulgate nel corso dell'evento 'Le opportunità del biogas-biometano in sicilia' tenutosi presso la sede del Libero Consorzio Comunale di Ragusa (relazione orale della Dott.ssa Simona Fabroni) in data 05/07/2017 cui hanno preso parte, oltre alle autorità locali ed altri enti di ricerca tra cui l'Università degli Studi di Catania ed il CNR, il Consorzio Italiano Biogas e Gassificazione (CIB) e Legambiente.

### **6. Elenco pubblicazioni**



## **WP4: Bioraffinerie integrate in cicli produttivi agroalimentari**

WP leader: Daniele Pochi (CREA-IT)

L'obiettivo del WP4 è studiare, sperimentare, sviluppare soluzioni di processo originali ed innovative (smart-technologies) per la produzione e valutazione di prodotti di origine vegetale o, comunque biologica a ridotto impatto ambientale, da impiegare nei processi produttivi dell'agro-industria, anche in funzione del miglioramento qualitativo dei prodotti.

Dopo alcune difficoltà iniziali, dovute a fattori esterni al progetto, l'attività è in pieno svolgimento ed alcuni importanti risultati sono già stati conseguiti.

La task 4.1 (CREA-AA), dopo aver definito il protocollo di pretrattamento alcalino di ArundoDonax (linea di ricerca 1) per la produzione degli idrolizzati idonei a fungere da substrato per i microrganismi oleaginosi, ha avviato la linea di ricerca 2 relativa alla saccarificazione enzimatica della biomassa pretrattata. Parallelamente sono stati effettuati i primi test di coltura ceppi di lieviti oleaginosi.

Nella task 4.3 (CREA-CI) sono stati ottenuti i primi quantitativi di olio di crambe (alto erucico) e di cartamo (alto oleico) per estrazione dai semi raccolti al termine del primo ciclo colturale avviato nel primo anno di progetto. Gli oli sono stati sottoposti a raffinazione e filtrazione spinta prima di essere sottoposti ai test di verifica dell'attitudine ad essere impiegati come fluidi per impianti idraulici.

Tali test costituiscono l'oggetto dell'attività della task 4.4 (CREA-IT) che, dopo il completamento del banco prova oli e l'implementazione del laboratorio di analisi per l'esecuzione di alcuni esami fondamentali per il monitoraggio delle caratteristiche dei fluidi in prova, ha svolto le prime prove sugli oli prodotti dalla task 4.3. La valutazione dei risultati è tutt'ora in corso.





**Task 4.1 Idrolizzati enzimatici a basso tenore di azoto e di inibitori da biomassa lignocellulosica per la filiera del biodiesel di II generazione**

Task leader: Stefania Galletti (CREA-AA)

**Linea 1 di attività: Pretrattamenti di biomasse lignocellulosiche**

Referente: Stefania Galletti (CREA-AA)

**Linea 2 di attività: Saccarificazione delle biomasse lignocellulosiche pretrattate**

Referente: Stefania Galletti (CREA-AA)

**Abstract**

Nel secondo anno di progetto è stato completato lo studio inerente la Linea 1 e definito il protocollo di pretrattamento alcalino di *Arundo donax* per la produzione di idrolizzati idonei alla fermentazione con microrganismi oleaginosi. In breve, la biomassa essiccata e macinata viene diluita al 10% in acqua e pretrattata con NaOH al 12% in peso della biomassa, a 120°C per 20 min, quindi la frazione solida viene recuperata e lavata prima dell'idrolisi enzimatica. E' stata avviata la Linea 2 di ricerca relativa alla saccarificazione della biomassa così pretrattata, con idrolisi sia della frazione solida che liquida, utilizzando due mix enzimatici a diversa attività specifica e saggiando diversi pH. Il protocollo utilizzato ha consentito di ottenere dalla frazione solida pretrattata 407 mg di zuccheri fermentescibili per g di biomassa secca. Il mix enzimatico ad alta attività specifica non ha mostrato effetti di inibizione dovuti ai polifenoli presenti nella frazione liquida dopo il pretrattamento. Inoltre con questo mix sono state ottenute rese in zucchero superiori dalla fibra non lavata rispetto alla lavata, quindi il lavaggio dopo pre-trattamento appare non essere necessario. L'utilizzo di tale mix ha consentito anche di elevare il rapporto C/N dell'idrolizzato, favorevole alla produzione di oli microbici. Infine sono state effettuate le prime prove di coltura con alcuni lieviti oleaginosi, in particolare con *Lipomyces starkeyi*.



## 1. Attività svolta

### Linea 1 - Pretrattamenti di biomasse lignocellulosiche

La biomassa lignocellulosica deve essere pre-trattata al fine di rimuovere la lignina ed esporre l'olocellulosa all'attacco enzimatico, liberando zuccheri fermentescibili. L'attività svolta nel corso di questo secondo anno di progetto ha consentito di definire il protocollo di pre-trattamento di *A. donax*, già provvisoriamente individuato alla fine del primo anno di progetto. Tale protocollo è riportato nel paragrafo "Risultati e deliverables".

### Linea 2 -Saccarificazione delle biomasse lignocellulosiche pretrattate

1) Nel corso del secondo anno di progetto si sono avviati esperimenti di saccarificazione della biomassa di *A. donax*, pre-trattata secondo il protocollo specifico messo a punto. Pertanto miscele acquose al 10% in peso di *A. donax* pre-trattate con soda a concentrazioni crescenti (0-18% w/w s.s., 120°C, 20 min), sono state sottoposte a saccarificazione (7.0% w/w) con un mix di cellulasi (Celluclast, C2730 Sigma, 22 FPU/g s.s) ad attività specifica media, arricchito di numerose attività accessorie quali  $\beta$ -glucosidase Cellic CTec2 NS22118 (Novozymes); xylanase Cellic CTec2 NS22083 (Novozymes); enzyme complex Cellic CTec2 NS22119 (Novozymes); hemicellulase Cellic CTec2 NS22002 (Novozymes); amylase Cellic CTec2 NS22119 (Novozymes), in condizioni standard (50°, pH4.8 in buffer citrato 50mM, in agitazione orbitale per 144 h). Per seguire la cinetica di saccarificazione sono stati effettuati prelievi a 0, 2, 4, 24, 48 e 144 h, per l'analisi degli zuccheri riducenti mediante saggio colorimetrico (DNS) in micropiastre e in duplicato (Cianchetta et al., 2010). Sono state calcolate quindi le rese di saccarificazione come mg di zuccheri riducenti per g di biomassa secca non pre-trattata.

2) Per determinare la miglior strategia di saccarificazione di *A. donax*, sono stati effettuati test di saccarificazione sia sulle frazioni solide sia liquide, ottenute dopo il pre-trattamento alcalino (0%, 6%, 12% NaOH w/w s.s.) in confronto ad altra biomassa lignocellulosica (paglia di grano, cardo mariano).

3) Per ottimizzare il mix enzimatico, la biomassa di *A. donax*, pre-trattata con la dose di NaOH 12% w/w s.s. e successivamente lavata con acqua per allontanare eventuali inibitori, è stata sottoposta a saccarificazione (7% w/w di solidi sulla miscela) con due differenti mix enzimatici: un mix di cellulasi ad attività specifica media arricchito di numerose attività accessorie (cellulasi, xilanasi, emicellulasi, vedi sopra) ed un secondo mix contenete cellulasi a più alta attività specifica e un minor quantitativo di attività accessorie (CellulaseEnzymeBlend SAE 0020 Sigma, contenente cellulase CTec C2, 22 FPU/g). Gli enzimi a più alta attività specifica dovrebbero consentire di ridurre gli input di azoto (a parità di unità cellulasiche impiegate per l'idrolisi) e di ottenere matrici zuccherine con



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

valori di C/N più elevati potenzialmente idonei a massimizzare la resa finale di olio microbico e/o il contenuto di lipidi nella biomassa microbica.

4) Ai fini dell'ottimizzazione del protocollo di saccarificazione di *A. donax*, gli esperimenti di saccarificazione sono stati effettuati con i due mix enzimatici a diversi valori di pH (4.80 - 5.16). Gli zuccheri prodotti sono stati quantificati per via spettrofotometrica e posti in relazione agli input di biomassa per calcolare la resa del processo di saccarificazione.

5) Effetti di inibizione/stimolazione dei polifenoli sul mix enzimatico. Nel corso del primo anno era stata evidenziata la presenza di polifenoli e lignina nella frazione liquida derivante dal pre-trattamento alcalino. Pertanto al fine di evidenziare eventuali effetti di inibizione/stimolazione, il mix enzimatico ad alta attività specifica è stato testato sia sulla frazione solida pre-trattata e lavata (praticamente priva di polifenoli), sia sulla frazione solida solo parzialmente separata da quella liquida (mediante decantazione/filtrazione), pertanto ricca di polifenoli.

6) Effetti di inibizione/stimolazione dei polifenoli su microrganismi. La frazione liquida, ottenuta per centrifugazione dopo il pretrattamento, è stata nuovamente testata su specie fungine, per approfondire eventuali effetti inibitori, in attesa di avere a disposizione una collezione di microrganismi oleaginosi.

7) Costituzione di una collezione di microrganismi oleaginosi. E' stata realizzata una collezione di lieviti oleaginosi, ed è stato possibile effettuare le prime prove di coltura. Con *Lipomyces starkeyi* sono state condotte prove su substrato zuccherino e in presenza di diverse dosi di frazione liquida (0, 2.5, 5, 10, 20, 40%).

8) Prove di detossificazione della frazione liquida. Per consentire il recupero anche degli zuccheri ottenibili dalla frazione liquida del pre-trattamento, sono stati effettuati dei test di detossificazione, tramite acidificazione della frazione liquida e precipitazione selettiva dei polifenoli.

## 2. Risultati e deliverables

### Linea 1- Protocollo di pre-trattamento di *A. donax*

E' stato definito il protocollo di pre-trattamento di *A. donax*, come segue:

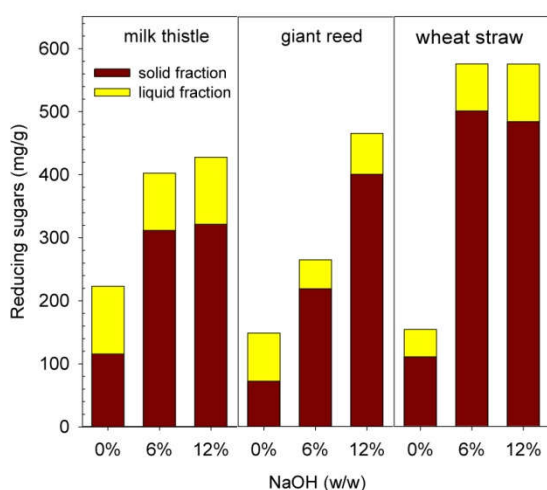
- 1) Raccolta della biomassa a fine ciclo di traslocazione dell'azoto nel rizoma (dicembre-febbraio) per massimizzare il rapporto C/N
- 2) Essiccazione a 50°C e macinazione a 1.5 mm
- 3) Diluizione della biomassa in acqua al 10% (w/w)
- 4) Aggiunta di NaOH all' 1.2% (w/w) corrispondenti al 12% in peso della biomassa

- 5) Riscaldamento a 120°C per 20 min
- 6) Separazione per filtrazione della frazione solida così pre-trattata e lavaggio con acqua prima dell'idrolisi enzimatica

## Linea 2 - Saccharificazione delle biomasse lignocellulosiche pre-trattate

1) La dose ottimale di soda per il pre-trattamento di miscele al 10% w/w di *A. donax* in funzione della resa di saccharificazione è risultata pari al 12% w/w sulla biomassa secca, corrispondente ad una resa di 407 mg di zuccheri riducenti per g di biomassa secca dopo 140 h di idrolisi enzimatica. Oltre questa dose non si sono osservati incrementi significativi di resa, che ha raggiunto un massimo di 430 mg di zuccheri riducenti (equivalenti di glucosio) per grammo di biomassa (pubblicazione sottoposta a EEMJ, in corso di valutazione)

2) Le prove di saccharificazione sia sulla frazione solida sia sulla liquida di *A. donax* derivanti dal pre-trattamento alcalino hanno evidenziato che la maggior parte degli zuccheri viene ottenuto dalla fibra solida (Fig. 1), tuttavia una frazione non trascurabile di zuccheri può essere ottenuta anche dalla frazione liquida.



**Figura 1:** Zuccheri riducenti (mg/g di biomassa secca non trattata) rilasciati da cardo mariano (milk thistle) e canna comune (giant reed) in confronto a paglia di grano (wheat straw), dopo pre-trattamento alcalino (NaOH 0, 6 e 12% w/w di biomassa secca, 120 °C, 20 min) e idrolisi enzimatica (25 FPU/g, 50°C, 120 h).

Il confronto con paglia di grano o residui colturali di cardo mariano ha evidenziato una considerevole recalcitranza di *A. donax* rispetto alle altre due specie. Infatti per queste ultime il pre-trattamento con NaOH al 6% è risultato sufficiente per massimizzare le rese in zuccheri, mentre per *A. donax* è stato necessario aumentare la dose al 12% (Fig. 1).



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

3) Confronto dei mix enzimatici. Le prove preliminari di confronto fra i due mix enzimatici hanno mostrato che con il mix a più alta attività specifica è possibile ottenere rese in zuccheri non inferiori a quelle ottenibili con il primo mix. In questo modo però il saccarificato di *A. donax* conterrà un quantitativo di proteine significativamente inferiore e pertanto risulterà idoneo ad allestire colture di lieviti oleaginosi con C/N > 150.

4) Prove a diverso pH. Il mix enzimatico ad alta attività specifica ha consentito di ottenere rese in zuccheri non significativamente inferiori rispetto al primo mix, anche lavorando ad un pH di 5.16. Questo livello di pH facilita la produzione di un medium zuccherino a partire dall'idrolizzato di *A. donax*, che deve avere pH prossimo a 6 per consentire una buona crescita del lievito.

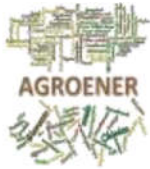
5) Effetti di inibizione/stimolazione dei polifenoli sul mix enzimatico. Risultati preliminari indicano che il mix enzimatico ad alta attività specifica consente di ottenere rese in zuccheri superiori dalla fibra pre-trattata non lavata, rispetto alla fibra pre-trattata lavata, quindi non risente di effetti di inibizione dovuti alla presenza di polifenoli e lignina.

6) Effetti di inibizione/stimolazione dei polifenoli su microrganismi. L'analisi spettrofotometrica delle frazioni liquide ottenute dopo il pretrattamento aveva rivelato la presenza di composti aromatici (polifenoli), associabili alla lignina solubilizzata dalla soda, probabilmente responsabili dell'inibizione di crescita nei confronti di alcuni microrganismi fungini testati nel corso del primo anno di progetto. I test sono stati ripetuti e realizzati anche su altre specie fungine, confermando effetti di inibizione ma evidenziando anche effetti di stimolazione per alcune specie (*Phoma* sp., *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria* sp.).

7) Costituzione di una collezione di microrganismi oleaginosi. Sono stati acquisiti i seguenti lieviti oleaginosi, in parte da collezioni e in parte tramite donazioni:

*Lipomyces starkeyi*, *Rhodotorula graminis*, *Rhodotorula glutinis*, *Rhodosporioides azoricus*, *Trichosporon oleaginosus*. La collezione di funghi oleaginosi è in corso di costituzione ed al momento si compone della sola *Mortierella isabellina*, donata dalla collega Laura Bardi, CREA-IT.

Le prime prove di coltura dei lieviti non hanno presentato particolari problematiche se non nel controllo del pH, che è ancora in via di risoluzione. Ci si è concentrati principalmente su *L. starkeyi*. Questa specie è risultata parzialmente sensibile ai composti aromatici liberati dal pre-trattamento alcalino della biomassa (con riduzione della velocità massima di crescita e parziale recupero successivo). È stato osservato un effetto crescente di inibizione della crescita con l'aumento della dose di frazione liquida, raggiungendo il 21-24% di inibizione con la dose massima (20%). Ciò ha suggerito di valutare l'opportunità di scartare del tutto o in parte la frazione liquida ottenuta dopo pre-trattamento alcalino e avviare a idrolisi enzimatica la frazione solida parzialmente/totalmente separata da quella liquida (pubblicazione sottoposta a EEMJ, in corso di valutazione).



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

8) Detossificazione della frazione liquida. Le prove preliminari hanno dimostrato che è possibile eliminare buona parte dei polifenoli acidificando a  $\text{pH} < 5.5$ .

**3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Al momento, nessun particolare ostacolo

**4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Valutazione del potenziale di metanazione da *A. donax* pre-trattata, in collaborazione con Rosa Marchetti del CREA-ZA.

**5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Formazione:

- Assegno di ricerca biennale (vincitore Dr. Stefano Cianchetta, decorrenza 30 dicembre 2016): "Valutazione dell'idoneità delle biomasse lignocellulosiche per la filiera del biodiesel di II generazione". (Bando CIN del 18/10/2016 - AGROENER.2)
- Tirocinio curriculare 13 CFU - 325 ore (2 marzo 2018 a tutt'oggi) dello studente Paolo Terzo Timoncini, presso la sede di Bologna del CREA-AA, per il conseguimento della laurea magistrale in Scienze e Tecnologie agrarie. Tutor CREA Dr.ssa Stefania Galletti e Dr. Stefano Cianchetta, Tutor accademico Prof. ssa Roberta Roberti, Università di Bologna.
- Tirocinio curriculare 10+24 CFU – 250+600 ore (9 aprile 2018 a tutt'oggi) dello studente Nakia Polidori, presso la sede di Bologna del CREA-AA, per il conseguimento della laurea magistrale in Biotecnologie molecolari e industriali. Tutor CREA Dr.ssa Stefania Galletti e Dr. Stefano Cianchetta, Tutor accademico Prof. Alejandro Hockoepler, Università di Bologna.

Partecipazione ai seguenti meeting e convegni tramite poster o presentazione visuale.

- 9th International Conference on Environmental Engineering and Management (ICEEM), Bologna, 6-9 settembre 2017: Alkali pre-treatment and enzymatic hydrolysis of *Arundo donax* for single cell oil production.
- XXIII Convegno Nazionale Società Italiana di Patologia Vegetale (SIPAV), Piacenza, 4-6 ottobre 2017: Biological activity of alkali pre-treated *Arundo donax* extract towards different filamentous fungi.





---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

- Fieragricola Verona, 1 Febbraio 2018, Presentazione Progetto Agroener:Pretrattamento alcalino ed idrolisi enzimatica di canna comune (*Arundo donax*) per la filiera del biodiesel da lignocellulosa.
- [26th European Biomass Conference & Exhibition \(EUBCE\)](#), 14-17 maggio 2018, Copenhagen:Giant reed and milk thistle sugar yield after alkaline pre-treatment and enzymatic hydrolysis in comparison with standard wheat straw.

## 6. Elenco pubblicazioni

Cianchetta S., Bregoli, L., Galletti, S. (2017). Microplate-Based Evaluation of the Sugar Yield from Giant Reed, Giant Miscanthus and Switchgrass after Mild Chemical Pre-Treatments and Hydrolysis with Tailored Trichoderma Enzymatic Blends. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183(3):876-892.

Cianchetta S., Galletti S. (2017). Alkali pre.treatment and enzymatic hydrolysis of *Arundo donax* for single cell oil production. Atti del [9th International Conference on Environmental Engineering and Management \(ICEEM\), Bologna, 6-9 settembre 2017. Pp. 371-372.](#)

Galletti S., Nota M., Cianchetta S., (2017). Biological activity of alkali pre-treated *Arundo donax* extract towards different filamentous fungi *Journal of Plant Pathology*, 99 (Supp) S43.

Cianchetta S, Ceotto E., Galletti S. (2018). Giant reed and milk thistle sugar yield after alkaline pre-treatment and enzymatic hydrolysis in comparison with standard wheat straw. Atti del [26th European Biomass Conference & Exhibition \(EUBCE\)](#), 14-17 maggio 2018, Copenhagen, pp 1169-1173.

Bologna, 25 giugno 2018

Il responsabile della task  
Stefania Galletti



## **Task 4.2 SCO (Single Cell Oils) da scarti agroalimentari per biodiesel e biolubrificanti**

Task leader: Laura Bardi (CREA-IT)

**Linea 1 di attività:** Screening di microrganismi.

Referente: Laura Bardi (CREA-IT)

### **Abstract**

L'utilizzo di scarti alimentari per la crescita di biomasse microbiche finalizzata alla produzione di lipidi necessita di uno screening relativamente sia alla tipologia e qualità degli scarti, sia dell'attitudine dei microrganismi ad utilizzare tali scarti come substrato di crescita. L'attività svolta è consistita nell'approvvigionamento di quanto necessario per effettuare tali prove di screening. Sono stati acquisiti effluenti di caseificio e ceppi di lieviti e funghi filamentosi; di questi ultimi è stata testata la capacità di crescita su terreno agarizzato a base di siero di latte e di scotta.

#### **1. Attività svolta**

Sono stati acquisiti i seguenti ceppi microbici (lieviti e funghi filamentosi): *Mortierella isabellina*, *Gliocladium roseum*, *Aspergillus oryzae*, *Rhodotorula glutinis*, *Debaryomyces hansenii*, *Hansenula anomala*, *Pichia farinosa*, *Pichia membranaefaciens*, *Kluyveromyces marxianus*.

Si è inoltre provveduto a reperire effluenti di caseificio (siero di latte e scotta), dando la preferenza a produzioni provenienti da caseifici con certificazione biologica, allo scopo di ridurre il rischio di constatare mancate crescite di microrganismi attribuibili non alla composizione degli effluenti, ma alla eventuale presenza di sostanze inibenti (es. antibiotici); la scelta è ricaduta su aziende aderenti alla Cooperativa Agricola "Il frutto permesso" di Bibiana (TO).

Sono stati effettuati test di accrescimento dei ceppi sopra elencati su siero e scotta utilizzati come substrato di crescita in coltura solida.

#### **2. Risultati e deliverable**

Le migliori crescite sono state ottenute con *Mortierella isabellina*, *Gliocladium roseum*, *Debaryomyces hansenii*, *Kluyveromyces marxianus*.

#### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Difficoltà tecniche dovute all'incompleta messa a norma del laboratorio della sede CREA IT di Torino hanno impedito di svolgere la maggior parte delle attività di progetto; sono state pertanto svolte soltanto alcune delle attività di tipo microbiologico, mentre tutte le attività che prevedono l'utilizzo di reagenti, della cappa chimica e di strumentazione analitica (cromatografia liquida e gascromatografia) saranno iniziate quando il laboratorio chimico sarà funzionante.

#### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Nessuna

#### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Seminario ""Biodiversità e biotecnologie microbiche per l'agricoltura e l'ambiente" presso l'Istituto Gobetti Marchesini Casale Arduino di Torino, Via Figlie dei Militari 25 Torino, 9 maggio 2018 (4 ore)

#### **6. Elenco pubblicazioni**

Bardi, L. (2018) Production of Bio-oils from microbial biomasses. In: R. Prasad (ed.), Mycoremediation and Environmental sustainability, Fungal Biology, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018, 61-89.



**Task 4.3** Valutazione di colture oleaginose non alimentari per l'autoproduzione di biocarburanti e/o lubrificanti nei trattori ed in altri utilizzi agricoli

Task leader: Luca Lazzeri (CREA-CI)

**Linea 1 di attività: ottenimento di olio ad alto erucico e alto oleico rispettivamente da *Crambe abyssinica* Hochst. ex R. E. Fre *Carthamus tinctorium* L. e miglioramento della stabilità ossidativa e delle performance degli oli come biocarburanti e biolubrificanti**

Referente: Dr. Luca Lazzeri (CREA-CI) Dr.ssa Luisa Ugolini Dr. Paolo Bondioli (consulente Innovhub)

**Linea 2 di attività: valorizzazione del pannello proteico residuo di estrazione**

Referente: Dr.ssa Luisa Ugolini Dr. Luca Lazzeri (CREA-CI)

## Abstract

Nel secondo anno di attività, olio di Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) e di Cartamo (*Carthamus tinctorium* L.) sono stati ottenuti per estrazione meccanica (a caldo o a freddo) da semi provenienti dalla coltivazione avviata nel 2017 presso Budrio (BO), azienda sperimentale del CREA-CI. L'estrazione è stata svolta in parte presso l'azienda MIG e in parte presso CREA-CI. Gli oli sono stati preliminarmente caratterizzati e una procedura di degommazione è stata applicata su quelli ottenuti da estrazione a caldo, per abbassare il contenuto di fosfolipidi. Gli oli filtrati sono stati poi additivati di un antiossidante per aumentarne la conservabilità e stabilità ossidativa. Gli oli così ottenuti sono stati infine inviati al Dr Pochi di CREA-ING per le prove di banco come fluidi idraulici. I pannelli residui di estrazione sono stati preliminarmente caratterizzati e verranno utilizzati per le prove del terzo anno che riguarderanno la produzione di idrolizzati proteici a uso agricolo.

## 1. Attività svolta

### Attività1

1.1. La coltivazione di Crambe e Cartamo, è stata effettuata presso l'azienda sperimentale di Budrio (BO) utilizzando le tecniche di coltivazione messe a punto presso il CREA CI di Bologna.

*CRAMBE*: per la coltivazione di crambe si è proceduto con semina primaverile (2017) con una seminatrice a file con un'interfila di 30 cm. Non sono stati necessari trattamenti di difesa. La raccolta è stata effettuata nel mese di luglio 2017 con una mietitrebbia parcellare della



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

Winterstaigher dopo aver prelevato i necessari campioni per la caratterizzazione qualitativa della produzione.

*CARTAMO*: anche per il cartamo si è proceduto con semina primaverile (2017) e raccolta nel mese di luglio 2017. Le operazioni colturali sono state le stesse rispetto al Crambe con l'unica eccezione di un trattamento antiparassitario per il contenimento della mosca del cartamo con DECIS® + CONFIDOR®. Anche su cartamo sono stati prelevati i necessari campioni per la caratterizzazione qualitativa della produzione.

1.2. Nel mese di maggio 2018 i due lotti di semi sono stati trasferiti presso la Società M.I.G. (Fornovo San Giovanni – BG), dove sono stati sottoposti a spremitura meccanica per l'ottenimento di olio e pannello parzialmente disoleato. L'impianto di estrazione, del tipo a pressione, era costituito da una tramoggia di carico, che alimentava il riscaldamento mediante olio diatermico e quindi la pressa a coclea di tipo continuo. Olio e pannello erano raccolti separatamente dai due scarichi dedicati.

Limitatamente al seme di Crambe, ca 180 kg di seme sono stati estratti, una parte a freddo (75 kg), senza riscaldamento e una seconda parte mediante spremitura a caldo (103 kg), alimentando il seme intero nel cuocitore mantenuto alla temperatura di 80 °C. Una parte di olio di Crambe è stato ottenuto anche mediante pressione a freddo dei semi (ca 120 kg) utilizzando un mini-impianto pilota realizzato dalla ditta MIG e disponibile presso i laboratori del CREA-CI di Bologna.

Per il seme di Cartamo è stata realizzata la sola prova a caldo, in ragione della ridotta quantità di seme disponibile e della necessità di preparare una quantità importante di prodotto. Gli oli ottenuti in questo modo si presentavano torbidi e con importante corpo di fondo e sono stati trasferiti presso CREA-CI per la filtrazione che è stata realizzata a temperatura ambiente utilizzando carta da filtro da laboratorio.

I campioni così ottenuti sono stati quindi caratterizzati.

1.3. Degommazione degli oli: ha avuto luogo nel mese di giugno 2018, con il trattamento di circa 30 kg di olio di Cartamo presso INNOVHUB e di circa 15 kg di olio di Crambe spremuto a caldo presso CREA-CI. Preliminarmente ricercatori delle due parti si sono incontrati a Milano presso il laboratorio INNOVHUB per mettere a punto e concordare la tecnica di degommazione degli oli. La degommazione è stata realizzata utilizzando una soluzione acquosa di acido citrico, seguita da separazione del solido formatosi, lavaggio della fase oleosa e filtrazione finale su carta/cotone idrofilo per la brillantatura. Prima del trasferimento al laboratorio CREA-IT per le prove di funzionalità gli oli sono stati filtrati mediante filtro pressa con carta a porosità 7 µm.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

1.4 Su espressa richiesta del referente del CREA ING è stata prevista un'additivazione dell'olio da sottoporre al test con un prodotto ad attività antiossidante.

### **Attività 2**

Le attività programmate per questa linea di ricerca prevedono uno studio per la valorizzazione dei pannelli residui dall'estrazione dell'olio dai semi di Crambe e Cartamo, per la produzione di idrolizzati proteici fertilizzanti/biostimolanti a uso agricolo. Sui pannelli residui è stata fatta una prima caratterizzazione.

### **Attività 3**

Valorizzazione dei risultati tramite stesura di articoli scientifici, eventi di divulgazione, eventuale valutazione della possibilità di tutelare la proprietà intellettuale.

## **2. Risultati e deliverable**

D.4.3.1.: Reperimento e riproduzione di seme di Crambe e Cartamo, estrazione meccanica degli oli e loro caratterizzazione.

### Produzione seme:

**CRAMBE:** da una parcellone di circa 1600 m<sup>2</sup> sono stati prodotti ca 300 kg di seme, con una resa media a 1,9 t/ha. L'umidità del seme è stata di 7,5 ± 0,7.

**CARTAMO:** da una parcellone di 1100 m<sup>2</sup> si sono ottenuti ca 275 kg di seme con una resa pari a 2,5 t/ha. L'umidità del seme è stata di 6,8 ± 0,6.

Da analisi preliminari il contenuto di olio dei semi era di ca 31% e 32,8% per cartamo e crambe rispettivamente.

### Estrazione dell'olio:

L'olio di Crambe è stato estratto a caldo presso MIG e a freddo, una parte presso MIG e una parte nei laboratori del CREA-CI, sempre mediante estrazione meccanica per pressione. Le rese di estrazione e una prima caratterizzazione dei pellet residui hanno messo in evidenza come per il CRAMBE le tre diverse procedure di estrazione non abbiano portato a grandi differenze se si guarda al contenuto di olio residuo nel pellet, che si attesta per tutti intorno al 19%. L'aspetto degli oli, estratti a caldo o a freddo, risulta essere invece piuttosto differente, con quello estratto a caldo visibilmente molto più scuro.





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

L'olio di CARTAMO è stato invece estratto con sola estrazione a caldo presso MIG di Bergamo. La % di olio residuo nel cartamo risulta essere più bassa rispetto al Crambe (ca 9%), probabilmente per l'assenza della capsula di rivestimento che possiede invece il seme di crambe e che può aver reso meccanicamente meno efficiente l'estrazione per pressione.

Gli oli grezzi ottenuti sono stati caratterizzati per la composizione in acidi grassi mediante analisi GC-FID presso i laboratori del CREA-CI, le quali hanno confermato la prevalenza di acido erucico, seguito da acido oleico per il Crambe e di acido oleico e linoleico per il Cartamo, con % che non si differenziano molto tra i valori ottenuti da oli estratti a freddo o a caldo.

**D.4.3.2: Produzione di oli modificati per rettificazione, additivazione e/o idrogenazione selettiva e fornitura di oli per prove di laboratorio, pre-pilota su banchi motori (di competenza del CREA-ING) e per usi nel settore agricolo**

Gli oli grezzi e filtrati ottenuti dall'estrazione a freddo e a caldo sono stati caratterizzati presso INNOVHUB per alcuni parametri utili a disegnare la successiva fase di degumming, mediante analisi dei metalli (ICP-MS), acidità e T.A.N.

Dall'esame dei risultati ottenuti si può notare come tutti i campioni preparati abbiano un contenuto praticamente nullo di metalli derivanti da contaminazione impiantistica o che esercitano attività pro-ossidante. Anche il tempo di induzione Rancimat (<16 ore) conferma la stabilità e la freschezza degli oli. Per quanto riguarda l'acidità questa riflette l'acidità dell'olio nel seme e non si evidenziano (limitatamente all'olio di Crambe) differenze sostanziali tra l'olio estratto a freddo e quello estratto a caldo.

Al contrario le differenze principali si verificano a carico del contenuto in Fosforo (superiore negli oli estratti a caldo) ed in quello del Calcio. Per questo motivo si è deciso di sottoporre a degommazione l'olio di Crambe e Cartamo estratto a caldo, in modo da potere ridurre la concentrazione dei due elementi, strettamente correlata alla presenza di fosfolipidi.

Degommazione:

L'olio di Crambe estratto a caldo (ca 15 kg) e una parte di olio di cartamo estratto a caldo (ca 30 kg) sono stati quindi degommati rispettivamente presso INNOVHUB e CREA-CI, per abbassare il contenuto di P e Ca, secondo le procedure concordate con INNOVHUB, come riportato sopra e successivamente filtrati a 7 µm.



Addittivazione:

Gli oli di Crambe estratto a freddo (BO e BG) e quello estratto a caldo e successivamente degommato, una volta filtrati sono stati poi uniti (ca 32 kg) e all'olio finale ottenuto è stato aggiunto un composto antiossidante per aumentarne la conservabilità. La stessa procedura è stata applicata all'olio di Cartamo degommato.

La procedura di additivazione ha permesso di ottenere un tempo di induzione Rancimat superiore a 24 ore per entrambi gli oli.

Gli oli di Crambe e Cartamo sono stati quindi consegnati a CREA-IT, Roma, per le prove nel circuito idraulico.

Attività futura

Le attività pianificate prevedono la caratterizzazione dei campioni prelevati durante e al termine della prova di banco presso CREA-IT.

Parallelamente nella terza annualità saranno realizzate le prove di idrogenazione selettiva in scala di laboratorio da realizzare su campioni di Crambe e Cartamo degommati, realizzate presso CNR-ISTM, prevedendo la caratterizzazione dei campioni ottenuti e confronto con gli oli nativi.

**D.4.3.3: Prima caratterizzazione dei pannelli residui grassi di Crambe e Cartamo per un'utilizzazione in agricoltura. Definizione e valutazione di un protocollo enzimatico di idrolisi delle proteine dei pannelli residui di disoleazione attraverso biosaggi su piante in test in vitro.**

I pannelli ottenuti dall'estrazione dei due oli sono stati analizzati per il contenuto di olio residuo e umidità. Come commentato sopra il pannello di Crambe presenta una percentuale di olio residuo maggiore, indipendente dalla modalità di estrazione applicata, a caldo o a freddo (ca 16%) rispetto al pannello di Cartamo (ca 9%). L'umidità residua risulta essere inferiore per i pannelli estratti a caldo (ca 5%) rispetto a quelli derivanti dall'estrazione a freddo (ca 8%).

Nelle prossime fasi verrà completata la caratterizzazione dei due pannelli (frazione proteica) e messo a punto un processo di idrolisi enzimatica per la produzione degli idrolizzati proteici. Verrà anche valutato se la presenza di olio residuo nel pannello può influenzare il processo di idrolisi.

**D.4.3.4: Valorizzazione dei risultati tramite stesura di articoli scientifici, eventi di divulgazione, eventuale valutazione della possibilità di tutelare la proprietà intellettuale.**



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Al termine delle prove si procederà con le attività che riguardano la valorizzazione dei risultati ottenuti.

#### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Non sono stati registrati scostamenti con quanto previsto nelle attività del progetto.

#### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Al momento non sono richieste attività integrative

#### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Nessuna

#### **6. Elenco pubblicazioni**



**Task 4.4 Valutazione sperimentale dell'attitudine di oli "bio-based" all'utilizzo sulle macchine agricole per ridurre l'impatto dei lubrificanti sull'ambiente**

Task leader: Daniele Pochi (CREA-IT)

**Linea 1: Realizzazione di un banco-prova per la verifica delle prestazioni degli oli a base vegetale impiegati come lubrificanti di trasmissioni e per l'azionamento di impianti idraulici.**

Referente: Roberto Fanigliulo

**Linea 2: messa a punto di una metodologia di prova di per gli oli a base vegetale, basata sull'uso del banco prova di cui alla linea precedente**

Referente: Roberto Fanigliulo (CREA-IT)

**Linea 3: Implementazione del laboratorio di analisi fisico-chimiche del CREA-ING di Monterotondo per l'esecuzione degli esami sui campioni degli oli in prova per lo studio dell'andamento delle loro caratteristiche durante il cicli di prova**

Referente: Daniele Pochi

**Linea 4: Esecuzione di prove, prelievo e analisi dei campioni, secondo quanto detto per le linee 1, 2, 3, di nuovi formulati a duplice attitudine (UTTO).**

Referente: Roberto Fanigliulo (CREA-IT)

**Abstract**

La task 4.4 si occupa della valutazione dell'idoneità degli oli prodotti dalle precedenti task ad essere utilizzati per il funzionamento di macchinari (agricoli e non). E' in corso la valutazione di olio di cartamo e di olio di crambe come fluidi idraulici tramite un banco prova (appositamente realizzato per applicare all'olio carichi di lavoro controllati) e il monitoraggio dell'evoluzione delle caratteristiche chimico-fisiche nel corso del test di fatica tramite esame di campioni prelevati quotidianamente ed analizzati presso il laboratorio del CREA.

**1. Attività svolta**

**Linea 1: Realizzazione di un banco-prova per la verifica delle prestazioni degli oli a base vegetale impiegati come lubrificanti di trasmissioni e per l'azionamento di impianti idraulici.**



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

La realizzazione del banco prova è avvenuta nell'ambito del progetto BIT3G e, in parte, nel primo anno presente progetto, con lo scopo di svolgere test sull'attitudine di oli vegetali all'impiego in impianti idraulici e come lubrificanti per trasmissioni.

Nel corso del secondo anno di progetto è stato effettuato un importante ed impegnativo aggiornamento dell'impianto di prova che ha riguardato la realizzazione ex novo della linea di alimentazione elettrica (dalla cabina elettrica all'impianto stesso) e del relativo quadro elettrico. Ciò ha consentito di svincolare il banco prova dall'alimentazione del resto del centro, garantendo la potenza elettrica necessaria allo svolgimento dei test senza gli inconvenienti avuti in passato (interruzioni di alimentazione)

**Linea 2: messa a punto di una metodologia di prova di per gli oli a base vegetale, basata sull'uso del banco prova di cui alla linea precedente.**

La metodologia di prova già messa a punto al primo anno è stata implementata per avere un migliore monitoraggio dell'evoluzione delle caratteristiche dell'olio da provare che, in quanto integralmente vegetale, presenta maggiori rischi di ossidazione e quindi di danneggiamento dell'impianto. E' stato quindi apprestata una sequenza di campionamenti tale da consentire il controllo continuo dello stato dell'olio. Tali informazioni, oltre a dare una valutazione dell'olio stesso, consentono di intervenire tempestivamente in caso di rilevante perdita del potere lubrificante.

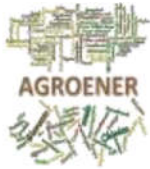
**Linea 3: Implementazione del laboratorio di analisi fisico-chimiche del CREA-ING di Monterotondo per l'esecuzione degli esami sui campioni degli oli in prova per lo studio dell'andamento delle loro caratteristiche durante il cicli di prova**

Allo scopo di rendere possibile il controllo continuo delle caratteristiche dell'olio (come indicato in Linea 2), è stato implementato un sistema di analisi dello stesso presso il CREA-IT. E' stato acquisito/realizzato un viscosimetro di Ubbelohde termostato per il controllo della viscosità a 40 e 100°C. Inoltre è stato messo a punto un sistema di analisi dei parametri TAN (total acid number) e indice di perossido. Tali esami sono svolti quotidianamente su campioni prelevati nel corso del test.

Sono anche stati installati ulteriori sensori in grado di monitorare il livello di contaminazione particellare (norme ISO, SAE), la presenza di particelle ferrose da usura, l'umidità (% di saturazione)

**Linea 4: Esecuzione di prove, prelievo e analisi dei campioni, secondo quanto detto per le linee 1, 2, 3, di nuovi formulati a duplice attitudine (UTTO).**

Il CREA-IT ha ricevuto i primi due oli vegetali da sottoporre a test. Si tratta di un **olio di cartamo alto oleico** e di un **olio di crambe alto erucico**. Tali oli sono stati prodotti nell'ambito della task 4.3 dal partner CREA-CIN. E' stata effettuata una caratterizzazione iniziale di ciascun olio appena ricevuto e dopo le operazioni preliminari di pulizia del banco prova è iniziato il test di 150 h dell'olio di



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

cartamo (tuttora in corso). Un campione di olio viene prelevato quotidianamente per le analisi di cui alla Linea 3. Ulteriori campioni sono prelevati a cadenza settimanale e conservati per analisi più approfondite a cura dal partner.

Al momento (circa 50 h di test) il comportamento dell'olio in prova è paragonabile a quello di oli idraulici commerciali provati in precedenza (BIT3G e Agroener)

## **2. Risultati e deliverables**

**Linea 1: Realizzazione di un banco-prova per la verifica delle prestazioni degli oli a base vegetale impiegati come lubrificanti di trasmissioni e per l'azionamento di impianti idraulici. (Referente: Roberto Fanigliulo)**

Aggiornamento impianto prova olio

Attività svolta

Realizzazione nuova linea di alimentazione elettrica dell'impianto di prova.

Risultati principali

Sarà possibile svolgere i test senza rischio di distacchi di corrente per eccessive richieste di potenza elettrica.

Installazione di nuovi sensori sul banco prova per il monitoraggio in linea della qualità dell'olio durante il test

Attività svolta

Oltre ai sensori installati nel corso del primo anno ne sono stati installati altri per il monitoraggio di ulteriori parametri indicativi delle caratteristiche dell'olio durante il lavoro (contaminazione particellare, particelle metalliche, umidità)

Risultati principali

Possibilità di svolgere i test valutando l'evoluzione dell'olio e prevenendo inconvenienti al banco prova.

Realizzazione di un secondo banco prova specifico per i test di verifica in condizioni controllate dei sensori di cui alla linea 2

Attività svolta



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

E' stato realizzato un banco prova che consente di effettuare le misure con i sensori in condizioni controllate di temperatura dell'olio in agitazione

Risultati principali

Possibilità di confrontare i valori misurati dai sensori con valori provenienti da analisi di laboratorio dello stesso olio.

**Linea 2: messa a punto di una metodologia di prova di per gli oli a base vegetale, basata sull'uso del banco prova di cui alla linea precedente (Referente: Roberto Fanigliulo)**

**2.1. Aggiornamento impianto prova olio**

Attività svolta

Messa a punto della metodologia di utilizzo del banco prova per i sensori di cui al deliverabile 1.3.

Risultati principali

E' stato realizzato un manuale per il corretto utilizzo del banco prova

**Linea 3: Implementazione del laboratorio di analisi fisico-chimiche del CREA-ING di Monterotondo per l'esecuzione degli esami sui campioni degli oli in prova per lo studio dell'andamento delle loro caratteristiche durante il cicli di prova (Referente: Daniele Pochi)**

**3.1. Implementazione del laboratorio di analisi: realizzazione viscosimetro in bagno termostatico**

Attività svolta

Realizzazione del sistema per la misura della viscosità cinematica dell'olio in prova.

Risultati principali

Possibilità di svolgere in autonomia le analisi di viscosità a 40 e a 100°C monitorando l'olio durante il test;

Possibilità di valutare la qualità delle misure di viscosità dei sensori di cui alla linea 1

**3.2. Implementazione del laboratorio di analisi: misura di acidità e numero di perossido**

Attività svolta

Messa a punto del metodo di titolazione dell'olio ai fini della valutazione di acidità (Total Acid Number, TAN) e indice di perossido

Risultati principali





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

Possibilità di svolgere in autonomia le analisi indicate al punto precedente valutando l'evoluzione dell'olio durante il test e la relazione fra i parametri indicati e i parametri misurati dai sensori di cui alla linea 1 con particolare riferimento a permittività e conducibilità elettrica)

**Linea 4: Esecuzione di prove, prelievo e analisi dei campioni, secondo quanto detto per le linee 1, 2, 3, di nuovi formulati a duplice attitudine (UTTO). (Referente: Roberto Fanigliulo)**

**4.1. Realizzazione viscosimetro in bagno termostatico**

**Attività svolta**

Acquisizione di due oli di origine vegetale (forniti da CREA-CIN) da sottoporre a test al banco prova per valutarne l'attitudine come fluidi idraulici: un olio di cartamo (alto oleico) e di un olio di crambe (alto erucico).

**Risultati principali**

Sono stati svolti i test preliminari di caratterizzazione (viscosità, TAN, N di perossido) dei prodotti.

**4.2. Esecuzione test su olio a base vegetale**

**Attività svolta**

E' stato effettuato il primo test con olio di cartamo alto oleico utilizzato come fluido per impianti idraulici. Le principali caratteristiche dell'olio (TAN, N. di perossido, viscosità) sono monitorate quotidianamente nel laboratorio del CREA.

E' in corso il test sul secondo olio (olio di crambe alto erucico).

**Risultati principali**

I dati del test svolto sono in fase di valutazione.



## **WP 5: Realizzazione impianti sperimentali, dimostrazioni e divulgazione.**

WP leader: Francesco Gallucci

Gli impegni internazionali assunti, i cambiamenti della politica agricola comunitaria che determinano sempre minori finanziamenti alle colture tradizionali e gli incentivi finanziari per l'acquisto di generatori di energia di grandi e piccole dimensioni, sono alcuni dei fattori che hanno favorito l'utilizzo della biomassa legnosa e che concretamente si sono tradotti nella costruzione di grandi centrali termoelettriche e di piccoli e medi impianti di teleriscaldamento per la produzione di calore.

Con l'aumento della popolazione mondiale, la domanda di energia è destinata anch'essa ad aumentare, e con buona probabilità le fonti fossili che attualmente soddisfano la maggior parte delle necessità energetiche, potranno non essere sufficienti. Inoltre, è sempre più urgente la diminuzione delle emissioni di anidride carbonica per rallentare il riscaldamento globale. Infine, l'impiego delle biomasse per la produzione di energia potrebbe incentivare la creazione di nuove opportunità lavorative nonché aumentare la competitività delle zone rurali. È anche per queste ragioni che negli ultimi anni sia a livello europeo e sia a livello dei singoli Stati membri sono state approvate iniziative legislative volte a incentivare e regolamentare le biomasse a uso energetico. Tuttavia, nonostante il crescente interesse per le biomasse a fini energetici, la percentuale di energia primaria derivata da esse è ancora molto scarsa.

Delle tre principali fonti di [biomassa](#) (agricoltura, foreste e rifiuti), la [biomassa](#) agricola è generalmente considerata quella a maggior potenziale d'uso. La [biomassa](#) agricola può derivare da colture dedicate, siano esse annuali o poliennali. Inoltre [biomassa](#) agricola possono essere gli scarti delle coltivazioni, per esempio le stoppie e paglie dei cereali, ancora liquami degli allevamenti animali, oppure scarti delle industrie agro-alimentari. Tuttavia, perché le biomasse agricole possano soddisfare la crescente domanda energetica, sono fondamentali le colture dedicate. Con le colture dedicate è possibile pianificare l'approvvigionamento di [biomassa](#) riequilibrando le alternanze stagionali che le altre fonti agricole presentano.

Ad oggi è possibile riconoscere due filiere legno-energia: la prima che necessita di grandi quantità di materia prima, molto spesso importata anche da grandi distanze con conseguenze negative per il bilancio energetico, la seconda, invece (filiera corta) ha come presupposto base il reperimento e lo sfruttamento di biomassa reperibile da distanze non superiori a 70 km.

All'interno delle filiere corte si inseriscono le microfiliere di autoconsumo per la produzione di energia termica e acqua sanitaria destinata al fabbisogno di locali con volumetrie ridotte. Questa tipologia di filiera ben si adatta all'interno di aziende agrarie, zootecniche o a vocazione serricola. In sintesi, il modello di microfiera è applicabile in una qualsiasi azienda agroforestale che possa garantire il reperimento di biomassa da boschi esistenti o abbia disponibilità di terreni idonei per la costituzione di piantagioni dedicate.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Obiettivo generale del WP è quello di realizzare impianti sperimentali, in particolare vedrà la realizzazione di: una microfiliera energetica sviluppata su scala territoriale; una filiera di produzione di pellet su scala aziendale; sistemi innovativi per permettere l'utilizzo di biomasse agricole di scarto per l'alimentazione di impianti a biogas e per risolvere le problematiche legate ad un completo riutilizzo agronomico del digestato come importante fonte fertilizzante; sistemi innovativi di dimostrazione e divulgazione sulla qualità del pellet; un centro dimostrativo all'interno del CREA-IT di Monterotondo, in cui è possibile l'utilizzo della biomassa autoprodotta sia nelle 2 caldaie a biomassa, presenti nel sito del CREA-IT, da 350 kW<sub>th</sub> e 80 kW<sub>th</sub> (combustione diretta), sia la produzione di Syngas nel gassificatore da 40 kW<sub>th</sub>. Il centro dimostrativo è altresì attrezzato (laboratorio LAS-ER-B) per consentire il rilievo e il controllo delle emissioni gassose al camino, tematica che riveste un ruolo sempre più rilevante anche alla luce del nuovo quadro normativo in tema di emissioni e certificazioni dei generatori di calore alimentati a biomasse solide (d.gls 186/17); sistemi dimostrativi per la produzione di biogas da prodotti derivati contaminati da micotossine; un centro dimostrativo per la produzione aziendale di: biogas e/o biometano, syngas e biochar ed infine di un modello di trasferimento delle conoscenze e dei risultati.

Di seguito sono riportate in dettaglio le attività di ricerca condotte per le nove Tasks, pertinenti al WP 5.



**Task 5.1 Dimostrazione e divulgazione sull'uso della biomassa da piantagioni dedicate e da formazioni forestali di prossimità territoriale**

Task leader: Giulio Sperandio

**Linea 1 di attività: Valutazione delle potenzialità di autoapprovvigionamento di biomassa.**

Referente: Giulio Sperandio

**Linea 2 di attività: Implementazione di un sistema informativo-territoriale su base GIS.**

Referente: Vincenzo Civitarese, Marco Bascietto

**Linea 3 di attività: Valutazione della sostenibilità economica ed energetica.**

Referente: Giulio Sperandio

**Abstract**

Per l'attività della linea 1, sono state monitorate le nuove piantagioni SRF e MRF realizzate l'anno precedente. Le avverse condizioni climatiche (estive e invernali) non hanno reso possibile la realizzazione di nuovi impianti energetici, ed hanno influito negativamente anche sugli accrescimenti e sullo sviluppo delle piantagioni realizzate lo scorso anno. Sono state rilevate consistenti fallanze nelle giovani piantine, risultate pari a circa il 30-40% nelle due parcelle di pioppo, fino a circa il 47% nella parcella di eucalipto. Per le piantagioni già esistenti, sono proseguiti i rilievi dendrometrici a campione finalizzati alla valutazione della biomassa presente, distinta sulla base delle diverse età dei polloni dovute a diversi cicli di taglio applicati. Nella Linea di attività 2, è proseguita la fase di implementazione di un modello previsionale su base GIS, di stima della biomassa presente nell'area prossimale al CREA-IT (100 km<sup>2</sup>). È stata avviata un'attività di analisi di immagine a partire dall'interpretazione delle foto satellitari "Sentinel-2", sulle quali identificare aree a diversa destinazione produttiva (aree agricole, forestali, bacini idrici, aree urbane), mediante le quali sarà possibile stimare in maniera differenziata la produzione potenziale di biomassa dell'area. Per la Linea 3 è continuato il monitoraggio delle operazioni colturali delle SRF-MRF neocostituite, ed è in fase di implementazione l'archivio relativo allo studio dei tempi con valutazione dei relativi costi operativi e consumi energetici.

**1. Attività svolta**

Le attività svolte nel corso del secondo anno del progetto sono ripartite nelle tre linee di ricerca di seguito esposte:

Linea 1.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

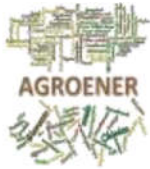
L'attività svolta è suddivisa nei due punti: a) realizzazione di nuove piantagioni a ciclo breve; b) monitoraggio, caratterizzazione dendrometrica e stima della biomassa ritraibile.

Per quanto riguarda il punto a) non è stato possibile procedere alla costituzione di nuove piantagioni SRF e MRF, a causa delle avverse condizioni climatiche verificatesi durante il periodo di fine inverno 2017 e primavera 2018. Le eccessive e frequenti precipitazioni atmosferiche nei mesi di febbraio-maggio 2018 (453 mm e distribuiti in 50 giorni) hanno impedito l'accesso delle macchine nei campi del CREA-IT (tessitura limo-argillosa o argillosa) che, conseguentemente, hanno reso impossibile una idonea preparazione meccanica dei terreni per i nuovi impianti. Per quanto riguarda l'eucalipto, è previsto un posticipo della realizzazione di un nuovo impianto di circa 1 ha di MRF per il mese di settembre 2018, utilizzando piantine in vaso prodotte direttamente dal CREA-FL di Roma. Relativamente alle piantagioni dell'anno precedente, sono state effettuate e registrati in un archivio tutti gli interventi meccanici effettuati e volti principalmente al contenimento delle erbe infestanti. È stata effettuata una concimazione di copertura con urea (circa 260 kg/ha di prodotto corrispondente a 120 unità di N/ha), per favorire l'accrescimento delle giovani piantine. Per le diverse operazioni sono stati analizzati i tempi di lavoro necessari per il calcolo, con applicazione di metodologia analitica, dei costi operativi e dei consumi di carburante. È stato effettuato il monitoraggio degli accrescimenti e degli attecchimenti nelle tre parcelle sperimentali di pioppo ed eucalipto realizzate l'anno precedente, sia presso il CREA-IT di Monterotondo, sia nella parcella sperimentale di pioppo realizzata presso l'azienda Oville del CREA-FL di Roma-Casalotti. I cloni utilizzati nell'azienda di Monterotondo sono AF18, AF24, AF28, Orion e Baldo per il pioppo e i cloni 14, 65, 358 e X per l'eucalipto. I cloni utilizzati presso l'azienda Oville sono l'Orion e il clone C1 in fase di sperimentazione.

I rilievi effettuati nel mese di giugno 2018 hanno evidenziato percentuali elevate di fallanze negli impianti di Monterotondo, in gran parte dovute alle avverse condizioni climatiche caratterizzate da alte temperature ed estrema siccità verificatesi durante la scorsa primavera/estate 2017, e da un fine inverno 2018 molto freddo per l'area di riferimento, con temperature eccezionalmente basse ( $-7^{\circ}\text{C} \div -10^{\circ}\text{C}$ ), che hanno ulteriormente aggravato i danni alle giovani piantine già avuti durante il periodo estivo, nonostante ripetuti interventi con irrigazioni di soccorso.

Presso l'azienda del CREA-FL di Casalotti, la piantagione di pioppo realizzata lo scorso anno (circa 0,9 ha) è stata sottoposta ad interventi meccanici per il contenimento delle erbe infestanti, eseguiti in croce al fine di ridurre al minimo l'influenza negativa delle malerbe sulle giovani piantine. Sono stati effettuati quattro interventi di fresatura/trinciatura che sono risultati soddisfacenti per il contenimento delle infestanti. Dai rilievi effettuati, la piantagione ha risposto molto bene in termini di attecchimento, che è risultato quasi del 100%, e di accrescimento annuale.

L'attività di cui al punto (b) ha riguardato il rilievo delle caratteristiche dendrometriche delle diverse tipologie di piantagioni distinte in relazione alla diversa età delle radici e dei fusti.



### Linea 2.

Durante il secondo anno di attività è stato perfezionato il Sistema Informativo Territoriale (SIT) di supporto alla stima delle coperture del suolo nell'area di pertinenza di 100 km<sup>2</sup>, in prossimità territoriale del CREA-IT. La cartografia "Corine Land Cover" (CLC 2012), risultando da un inventario con unità minima di mappatura di 25 ettari (ha) per coperture di superficie ed una lunghezza minima di 100 metri (m) per le coperture lineari, rappresenta in modo eccessivamente semplificata l'estrema eterogeneità spaziale delle coperture del suolo nel territorio in esame. La determinazione della dislocazione ed estensione delle aree a diversa copertura del suolo e la loro distanza dalla centrale termica è fondamentale ai fini della corretta stima della sostenibilità tecnica, economica ed energetica degli interventi di utilizzazione. L'attività di implementazione del SIT si è concentrata sulla calibrazione di un *layer* informatico della copertura del suolo basato su dati del sensore multispettrale MSI a bordo dei satelliti della costellazione Copernicus Sentinel-2, con risoluzione spaziale pari a 10 m. Le bande spettrali del rosso (R) e del vicino infrarosso (N) sono state impiegate per calcolare l'indice di vegetazione normalizzato NDVI (indice sensibile a variazioni di biomassa fotosinteticamente attiva, concentrazione di clorofilla e contenuto idrico della foglia):

$$NDVI = (N - R) / (N + R).$$

Ogni copertura del suolo ha un andamento temporale di NDVI caratteristico, nell'arco di ciascun anno. Tale andamento è stato modellizzato in una equazione armonica per l'anno 2017 per ogni pixel all'interno dell'area di prossimità del CREA-IT:

$$NDVI_t = \alpha + \sum_{\omega=1}^3 (\beta_{\omega} \cos(2\pi\omega t) + \gamma_{\omega} \sin(2\pi\omega t)) + e_t$$

dove  $t$  è il giorno dell'anno,  $\omega$  è la frequenza angolare,  $e_t$  l'errore random,  $\alpha$ ,  $\beta$ , e  $\gamma$  i coefficienti del modello. Tali coefficienti sono stati oggetto di una classificazione CART (*Classification and Regression Trees*) al fine di stimare la copertura corretta, fornendo aree a copertura nota, derivate da fotointerpretazione, suddivise nelle seguenti classi: Boschi; SRF; filari arborati; Alberi; Fiumi e specchi d'acqua; Oliveti; Seminativi; Urbano; Vigneti; Frutteti. Le aree a copertura uniforme così identificate sono state successivamente delimitate ed inserite nel SIT sviluppato durante il primo anno di progetto.

### Linea 3.

È continuato il monitoraggio delle operazioni meccanizzate e manuali eseguite sulle nuove piantagioni SRF-MRF, su quelle esistenti e su formazioni forestali. I dati sono stati inseriti nel database già strutturato e vengono utilizzati anche in modo trasversale in collaborazione con altre Task del progetto (Task 1.4, 1.6, 2.4 e 5.2) per la determinazione delle produttività dei lavori meccanizzati (in funzione anche dei diversi sistemi di lavoro adottati per la raccolta della biomassa ad uso energetico), dei consumi di carburante per singole operazioni e per la determinazione dei costi operativi all'interno di processi produttivi e di filiera. È in fase di implementazione lo studio di

un modello di valutazione della sostenibilità economica ed energetica della microfiliera di autoconsumo del CREA-IT.

## 2. Risultati e deliverable

### D.5.1.1. Output dell'attività della Linea 1 (4°-5°-6° quadrimestre).

- Costituzione di nuove piantagioni a ciclo breve e medio di diverse specie forestali

A causa delle avverse condizioni climatiche (vedi descrizione delle attività), non è stato possibile

procedere alla realizzazione di nuove piantagioni SRF e MRF. Relativamente agli impianti realizzati lo scorso anno, sono stati effettuati rilievi dendrometrici (fallanze, diametri alla base, altezze e numero di polloni) a campione nelle parcelle di pioppo, successivamente analizzati statisticamente con il software PAST. Le fallanze riscontrate nelle due parcelle di pioppo SRF (P1 e P2) sono risultate rispettivamente del 40% e del 30%,

mentre tale indice, a causa del freddo invernale, è salito al 47% per la parcella di eucalipto MRF. I rilievi dendrometrici hanno evidenziato differenze in alcuni casi statisticamente significative tra i diversi cloni. L'AF18 è stato il più performante con un diametro (di base) medio di  $39,1 \pm 13,2$  mm ed un'altezza media di  $297 \pm 69$  cm, rispetto agli altri cloni, fatta eccezione per il clone AF24 che, in termini di altezza media, non risulta statisticamente diverso dall'AF18 (Figura 1).

Relativamente alla piantagione di pioppo realizzata al CREA-FL di Roma-Casalotti, i rilievi effettuati hanno evidenziato buoni risultati del giovane impianto, tenendo in considerazione le caratteristiche climatiche dell'Italia centrale, in termini di accrescimento e attecchimento, quest'ultimo è risultato quasi del 100%. I rilievi dendrometrici hanno evidenziato differenze non significative nei diametri presi a petto d'uomo (1,30 m), che sono risultati pari a  $40,5 \pm 9,3$  mm per il clone C1 e  $38,2 \pm 6,8$  mm per il clone Orion.

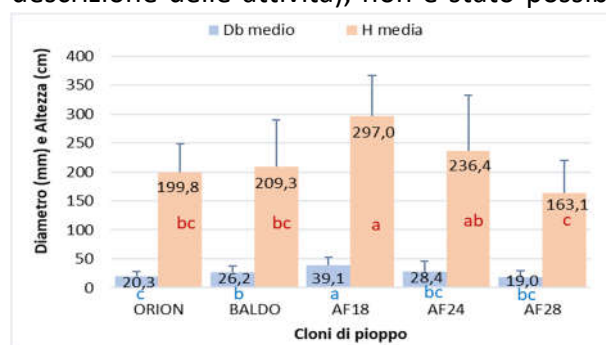


Figura 1. Diametri/altezze medie e deviazione standard dei cloni di pioppo nei nuovi impianti



**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

- Caratterizzazione fisica delle biomasse forestali.

È stato implementato l'archivio relativo ai dati ottenuti dalla caratterizzazione fisica (granulometria, umidità e massa volumica apparente) secondo la normativa vigente UNI EN 15103:2009; UNI EN 14774-2:2009 e CET/TS 15149-1:2006. Al fine di verificare le diverse caratteristiche del cippato prodotto con diversa regolazione della distanza delle lame del disco cippatore della Farmi Forest CH260 del CREA-IT, sono stati analizzati alcuni campioni di cippato prodotti regolando al minimo e al massimo la distanza dei coltelli posizionati nel disco rispetto alle controlame. In Figura 2 si riportano i risultati relativi alla massa volumica rilevata nei due casi esaminati. In relazione alla massima distanza di regolazione dei coltelli, è stata analizzata la granulometria di alcuni campioni di cippato ottenuti con impiego della falciatrinciataricatrice Class Jaguar e la cippatrice forestale Farmi, i cui risultati sono riportati in Figura 3.

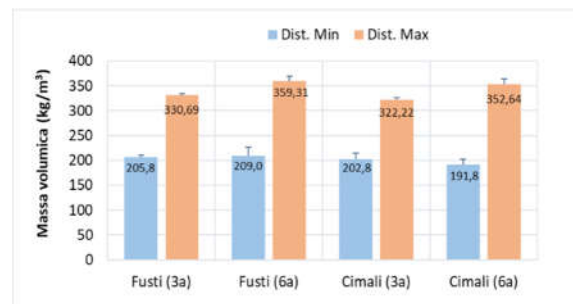


Figura 2. Confronto delle masse volumiche di cippato prodotto con regolazione minima e massima dei coltelli

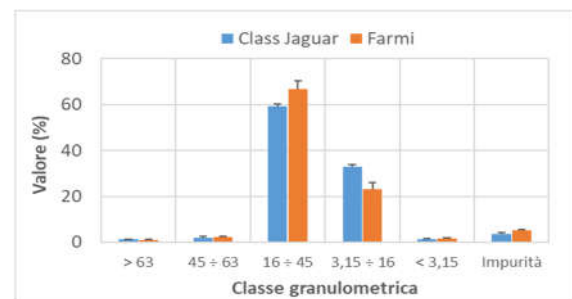


Figura 3. Granulometria del cippato prodotto da Class Jaguar e Farmi

- Monitoraggio e caratterizzazione dendrometrica delle piantagioni energetiche e delle altre formazioni forestali.

È continuato l'aggiornamento dei dati relativi ai rilievi dendrometrici sulle piantagioni energetiche esistenti in azienda. I dati relativi a diversi parametri (diametri, altezze, volumi, pesi) sono aggiornati in relazione alle diverse caratterizzazioni tipologiche delle parcelle, distinte in relazione all'età dei polloni e delle ceppaie. Sono state elaborate delle funzioni di regressione per la determinazione della biomassa per ognuna delle tipologie riscontrate.



Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

D.5.1.2. Output dell'attività della Linea 2 (4°-5°-6° quadrimestre)

- Implementazione del sistema informativo territoriale su base GIS.

Il SIT è stato integrato con la classificazione delle coperture del suolo appartenenti alle seguenti classi: boschi; SRF; filari arborati; alberi; fiumi e specchi d'acqua; oliveti; seminativi; urbano; vigneti; frutteti. L'accuratezza media (*average accuracy*) della classificazione è risultata pari al 91%, affidabilità media (*average reliability*) 93%, accuratezza totale (*overall accuracy*) 98%, valore kappa 95%. Le classi di copertura del suolo classificate nell'operazione di classificazione hanno corrisposto alle classi fotointerpretate per il 95% controllando per l'accuratezza di un classificatore casuale. Le principali superfici di copertura di suolo nell'area di pertinenza (comprendente i comuni di S. Angelo Romano, Capena, Fiano Romano, Moricone, Mentana, Montelibretti, Palombara Sabina e Monterotondo), dalle quali sarà possibile ritrarre materiale vegetale potenzialmente utile per

Copertura del suolo	Estensione	
	ha	%
Boschi; SRF; filari arborati; alberi	1287	12,6%
Fiumi e specchi d'acqua	84,92	0,832%
Oliveti	2797	27,4%
Seminativi	5169	50,6%
Urbano	650,3	6,37%
Vigneti; frutteti	218,0	2,14%

Tabella 1. Estensione delle coperture del suolo all'interno dell'area di pertinenza

l'approvvigionamento della centrale termica (Tabella 1), vengono stimate pari al 13% (boschi, piantagioni SRF, filari, alberature urbane), al 27% (potature da oliveti) e al 2% (potature da frutteti e vigneti). All'interno dell'area di pertinenza, le aree boscate sono diffuse in modo preponderante nel quadrante meridionale, comuni di Monterotondo e Mentana; gli oliveti nel quadrante orientale, comuni di Moricone, Mentana, Montelibretti.

D.5.1.3. Output dell'attività della Linea 3 (4°-5°-6° quadrimestre).

- Valutazione tecnica ed economica dei processi di filiera della produzione di biomassa.

È stato impostato un modello informatico di valutazione dei costi delle macchine e delle attrezzature impiegate nelle diverse operazioni che riguardano la gestione e la raccolta sia delle piantagioni energetiche a rapida crescita appositamente costituite per utilizzi energetici, sia delle formazioni forestali.

In collaborazione con la Task 2.4, è stato implementato un database relativo a cantieri di utilizzazione forestale in merito alle operazioni di abbattimento, esbosco, sezionatura e cippatura delle ramaglie e dei cimali.

L'archivio relativo alla rilevazione analitica dei tempi di lavoro e dei costi delle singole operazioni colturali è servito nell'ambito della collaborazione trasversale con altre Task del progetto (Task 1.4 e Task 2.4):



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

- Valutazione di bilanci energetici dei processi di filiera della produzione delle biomasse.

Unitamente alla raccolta dati sulle operazioni meccanizzate effettuate sui nuovi impianti, è stato impostato ed è in fase di aggiornamento un archivio di informazioni tecniche inerenti i consumi energetici (consumi di gasolio) rilevati per le diverse operazioni meccanizzate eseguite sulle nuove piantagioni SRF. L'archivio è finalizzato a costituire una base significativa di dati da utilizzare negli anni successivi per sviluppare un'analisi energetica dei singoli processi produttivi e di filiera.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Difficoltà riscontrate soprattutto per la prima linea di attività, relativamente alla costituzione di nuove piantagioni energetiche SRF e MRF, sia a causa delle avverse condizioni climatiche che hanno impedito quest'anno di realizzare nuove piantagioni e che potrebbero ripetersi per il prossimo anno, sia per la ridotta disponibilità di terreno aziendale idoneo destinabile a queste piantagioni. Rispetto a quanto pianificato, si prevede quindi una riduzione delle superfici da destinare a SRF e MRF.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Non si prevedono attività integrative o aggiuntive

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Partecipazione a: XI Congresso Nazionale SISEF: "La foresta che cambia, Ricerca, qualità della vita e opportunità in un paese in transizione", del 10-13 ottobre 2017 a Roma. Poster (in collaborazione con la Task 2.4): "Valorizzazione delle biomasse forestali residuali: primi risultati del progetto Agroener", di Verani S., Pignatti G. e Sperandio G.

Partecipazione, in qualità di relatore, al "Seminario informativo Progetto FORBIO" svoltosi a Roma, giugno 2018, con intervento dal titolo: "Sostenibilità economica di un modello di microfiliera energetica di autoconsumo (Progetto AGROENER)".

Partecipazione a: International Congress "Sustainable restoration of Mediterranean forests". Analysis and perspective within the context of bio-based economy development under global changes. Palermo April 19-21, 2107. Book of abstracts, p. 40-41 (Presentazione orale): Pignatti G., Facciotto G., Sperandio G., Verani S., 2017. Eucalyptus plantations in Italy and forest rehabilitation: the way towards a sustainable management.

Partecipazione a: XII Convegno Nazionale Biodiversità, Ambienti, Salute. Teramo 13-15 Giugno 2018. Book of abstracts, p. 278. Poster (in collaborazione con la Task 2.4): Verani S., Tomaiuolo M., Menta F., Pignatti G., 2018. Utilizzazioni legnose e biodiversità in boschi peri-urbani.



## **6. Elenco pubblicazioni**

Verani S., Calienno L., Pignatti G., Sperandio G. 2017. Esbosco di legna da ardere a soma con trattore. Un caso di studio su produttività e costi. Sherwood, N. 230: 35-38 (in collaborazione con la Task 2.4).

Verani S., Sperandio G., Civitaresse V., Spinelli R. 2017. La meccanizzazione nella raccolta di piantagioni arboree da legno: produttività di lavoro e costi. Forest@, 14: 237-246. [online 2017-08-14] URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor2389-014>.

Civitaresse V., Sperandio G. Acampora A., Santangelo E., Tomasone R. 2018. Pioppo da SRF per produrre pellet. Caratterizzazione del materiale di 3 e 6 anni. Sherwood N. 232: 31-38 (in collaborazione con la Task 5.2).



**Task 5.2 Produzione dimostrativa di pellet su piccola scala per la valorizzazione della biomassa di diversa origine.**

Task leader: Vincenzo Civitarese

**Linea 2 di attività: Pellettizzazione delle biomasse di diversa origine.**

Referente: Vincenzo Civitarese

**Abstract**

Le attività previste nella seconda annualità del progetto, svolte nell'ambito della linea 2 "Pellettizzazione delle biomasse di diversa origine", hanno interessato le piantagioni di pioppo ad elevata densità di 3 e 6 anni e le diverse frazioni di prodotto impiegabili: pianta intera, fusto, ramaglie e cimoli. Sono stati esaminati i parametri morfometrici del materiale prelevato, i processi di disidratazione, le perdite di sostanza secca di prodotto, le fasi di cippatura, raffinazione e pellettizzazione. L'analisi morfometrica ha evidenziato una percentuale in peso di ramaglie e cimoli inferiore al 20% in entrambi i cicli colturali. Al momento dell'abbattimento le piante si caratterizzavano per un contenuto idrico superiore al 52%. Dopo 238 giorni di stoccaggio sono stati registrati tassi di disidratazione del 74% e 40% per le piante di 3 e 6 anni e una riduzione del contenuto di sostanza secca di circa il 10%. Il processo di raffinazione sembrerebbe indurre una ulteriore riduzione del contenuto di umidità, con valori compresi tra il 4,75% e l'11,80%. Le perdite di prodotto risultano comprese tra il 3% e il 7% circa rispettivamente per la fase di cippatura e raffinazione. Le attività svolte hanno permesso di produrre pellet di pioppo SRF di 3 e 6 anni utilizzando sia le piante intere che i soli fusti sramati. Risultati negativi sono stati ottenuti dalle ramaglie e i cimoli che non hanno subito, invece, alcun processo di pellettizzazione.

**1. Attività svolta**

Le attività svolte nel corso del secondo anno del progetto hanno interessato la linea di ricerca 2 "Pellettizzazione delle biomasse di diversa origine", con particolare riferimento ai seguenti punti:

- 1) Recupero e stoccaggio della biomassa trinciata proveniente da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni) e medio (5-7 anni).

L'attività è stata svolta presso la sede del CREA IT di Monterotondo (RM) e ha interessato la biomassa ottenuta dalla piantagione aziendale di pioppo SRF (clone AF6 - Populus x euroamericana), con fusti di età pari rispettivamente a 3 e 6 anni, su ceppaie di 11 anni di età (R11F3 e R11F6). I rilievi dendrometrici sono stati effettuati su 30 piante campione seguendo le



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

linee guida proposte dalla Aberdeen University (Mitchell et al., 1997). Le analisi dimensionali hanno riguardato il diametro basale, l'altezza totale, il peso delle piante intere comprensive di rami e cimoli, il numero dei rami, il diametro di inserzione dei rami sul fusto e le relative lunghezze, il peso dei rami e dei cimoli. Per la determinazione delle altezze a terra è stato utilizzato un telemetro laser, mentre, per la misura dei diametri delle piante, dei rami e dei cimoli, sono stati impiegati rispettivamente un cavalletto dendrometrico, un calibro digitale e una fettuccia metrica. I pesi sono stati rilevati tramite dinamometro da campo: portata 1 t e livello di precisione di 0,2 kg per i fusti di 6 anni, portata 50 kg e livello di precisione di 50 g per i fusti di 3 anni, portata 15 kg e livello di precisione 20 g per le ramaglie e i cimoli.

2) Disidratazione della biomassa trinciata proveniente da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni) e medio (5-7 anni).

Le piante, suddivise nelle diverse frazioni considerate (pianta intera, fusti, ramaglie e cimoli), sono state stoccate in un piazzale dedicato dal 15 novembre 2016 (tempo T0) fino al 12 luglio 2017 (tempo T1), per un totale di 238 giorni. Il processo di disidratazione è stato monitorato distintamente rilevando, per le diverse frazioni considerate, umidità e contenuto di sostanza secca ai tempi T0 e T1. Tutti i campioni raccolti sono stati sottoposti ad essiccazione in stufa termoventilata ad una temperatura di  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  e pesati con bilancia di precisione ( $d=0,1$  g). Il contenuto di umidità delle piante intere è stato valutato considerando la media ponderata delle percentuali in peso del fusto e dei rami, seguendo la normativa di riferimento UNI-EN 18134-1:2015. I dati meteo relativi alle precipitazioni, giorni di pioggia e temperature medie sono stati registrati tramite centralina meteorologica aziendale. I dati sono stati analizzati statisticamente con il software PAST.

3) Raffinatura della biomassa proveniente da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni) e medio (5-7 anni).

La biomassa disidratata in campo è stata sottoposta al processo di cippatura e raffinazione impiegando, rispettivamente, una cippatrice forestale a disco Farni Forest CH260 (con griglia da 60 mm) e un biotrituratore BL-100 (con griglia da 6 mm). Tale procedura ha permesso di ridurre il materiale di partenza in particelle di dimensioni idonee alla successiva fase di pellettizzazione. Durante il processamento del materiale sono state valutate le masse volumiche apparenti, le perdite di biomassa e le riduzioni del contenuto di umidità. Gli attriti generati dai coltelli in fase di taglio e il getto d'aria prodotto dal sistema di espulsione producono un innalzamento e un abbassamento della temperatura del materiale stesso, con conseguenti perdite di umidità. Il monitoraggio del processo di disidratazione della biomassa è proseguito quindi fino alla fase di raffinazione, in modo da poter coprire l'intero arco del ciclo produttivo, dal momento dell'abbattimento all'ingresso del materiale nella pellettatrice.





---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

4) Pellettizzazione della biomassa trattata proveniente da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni) e medio (5-7 anni).

Le attività di stoccaggio, cippatura e raffinazione hanno permesso di realizzare i seguenti campioni di materiale da pellettizzare (granulometria 6 mm, umidità 10% circa):

- pioppo di 3 anni - pianta intera;
- pioppo di 3 anni – solo fusto;
- pioppo di 3 anni - ramaglie e cimali;
- pioppo di 6 anni - pianta intera;
- pioppo di 6 anni – solo fusto;
- pioppo di 6 anni - ramaglie e cimali.

Le prove di pellettizzazione sono state effettuate con tutte le tipologie di campioni di materiale prodotto utilizzando la macchina pellettatrice Master 380C acquisita nell'ambito del progetto.

5) Stesura di un articolo divulgativo inerente al processo produttivo del pellet da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni) e medio (5-7 anni).

I dati raccolti nel corso del secondo anno del progetto sono stati oggetto di un articolo divulgativo inerente alla caratterizzazione del materiale di 3 e 6 anni da impiegare nella successiva fase di produzione del pellet (punto 6 – elenco pubblicazioni)

## 2. Risultati e deliverable

Descrizione dei risultati ottenuti e/o sintesi dei deliverable prodotti (max 2 pagine + eventuali 1-2 foto/grafici)

D.5.2.1 - 4° quadrimestre (09/06/2017 - 09/10/2017): Individuazione delle metodologie e delle tecnologie esistenti sul mercato più idonee al trattamento termico delle biomasse. Tale attività è stata svolta nel corso della prima annualità del progetto (3° quadrimestre: 09/02/2017 - 09/06/2017).

D.5.2.2 - 5° quadrimestre (09/10/2017 - 09/02/2018): Recupero e stoccaggio della biomassa trinciata proveniente da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni) e medio (5-7 anni) da impiegare nel processo di pellettizzazione.

Il diametro, l'altezza e il peso medio delle piante con 11 anni di radice e 3 anni di fusto (R11F3) risultano pari rispettivamente a 8,32 cm (dev. st.  $\pm 1,34$ ), 6,97 m (dev. st.  $\pm 0,53$ ) e 19,62 kg (dev. st.  $\pm 6,47$ ), con valori minimi e massimi compresi tra 6,47 e 10,34 cm per i diametri, 6,04 e 7,69 m per le altezze e 11,5 e 30,85 kg per il peso. Le ramaglie e i cimali rappresentano il 16,36% della biomassa totale. Per quanto concerne la ramosità sono stati contati 44 rami per pianta aventi un diametro di inserzione sul fusto di poco inferiore ad 1 cm ( $0,95 \pm 0,46$ ) e una lunghezza prossima ad 1 m





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

( $0,94 \pm 0,56$ ). La lunghezza dei cimali è risultata, invece, pari a 1,79 m a partire da un diametro indicativo di circa 2 cm. Il diametro, l'altezza e il peso medio delle piante con 11 anni di radice e 6 anni di fusto (R11F6) risultano pari rispettivamente a 16,09 cm (dev. st.  $\pm 2,44$ ), 13,07 m (dev. st.  $\pm 0,74$ ) e 79,63 kg (dev. st.  $\pm 25,53$ ), con valori minimi e massimi compresi tra 12,70 e 20,50 cm per i diametri, 9,90 e 16,70 m per le altezze e 45,60 e 130,60 kg per il peso. Le ramaglie e i cimali rappresentano il 19,23% della biomassa totale. Per quanto concerne la ramosità sono stati contati 44 rami per pianta aventi un diametro di inserzione sul fusto di circa 1,5 cm ( $1,40 \pm 0,59$ ) e una lunghezza di 1,74 m ( $\pm 0,70$ ). La lunghezza dei cimali è risultata, invece, superiore ai 3 m ( $3,38 \pm 0,17$ ) a partire da un diametro di riferimento di circa 5 cm. La ripartizione percentuale del peso tra fusto, rami e cimali è risultata molto simile per i due cicli colturali considerati con una percentuale in peso del fusto superiore all'80%. Le ramaglie e i cimali rappresentano il 12,03% e 4,33% nelle piante di 3 anni e il 12,51% e 6,72% nelle piante di 6 anni.

D.5.2.1 - 5° quadrimestre (09/10/2017 - 09/02/2018): Disidratazione della biomassa proveniente da piantagioni di pioppo a ciclo breve e medio stoccata in campo.

Durante il periodo di stoccaggio sono stati registrati 243 mm di pioggia caduti in 57 giorni. I mesi più piovosi sono risultati novembre, febbraio e maggio mentre a giugno e luglio le precipitazioni sono risultate praticamente assenti. Al momento dell'abbattimento le piante si caratterizzavano per un contenuto medio di umidità del 52,42% per il pioppo di 3 anni e del 54,05% per quello di 6 anni. Valori del tutto simili sono stati riscontrati nelle ramaglie e nei cimali. Dopo 238 giorni di stoccaggio il contenuto medio di umidità si è ridotto sensibilmente, specie per le ramaglie e i cimali che hanno raggiunto i livelli di umidità più bassi, 6,58% e l'8,49% per il prodotto di 3 e 6 anni con tassi di disidratazione del 72,71% e 87,88%. Le piante di 3 anni hanno raggiunto un contenuto di umidità finale del 13,64%, quelle di 6 anni del 32,54%, con tassi di disidratazione rispettivi del 73,98% e del 39,80%. Il test F di Welch per varianze non omogenee non ha rilevato l'esistenza di differenze statisticamente significative per quanto concerne il contenuto di umidità del prodotto fresco ( $p > 0,05$ ). Relativamente al prodotto disidratato, invece, si evidenziano differenze significative tra il pioppo di 3 e 6 anni e tra le differenti frazioni di riferimento, ad eccezione della pianta intera e solo fusto di 3 anni. Durante il periodo di stoccaggio è stata registrata una riduzione del contenuto di sostanza secca delle piante intere di circa il 10% (-8,94% per le piante di 3 anni, -10,09% per quelle di 6 anni). Per quanto concerne le ramaglie e i cimali, invece, si evidenziano valori molto differenti, -29,10% per il prodotto di 3 anni e -4,29% per il prodotto di 6 anni. L'elevata perdita di sostanza secca valutata a carico delle ramaglie di 3 anni potrebbe essere messa in relazione con la scarsa lignificazione della biomassa e le relative ridotte dimensioni del materiale di partenza, più esposto ai processi degradativi e di disidratazione. Non sono emerse differenze statisticamente significative tra il contenuto medio di sostanza secca della biomassa prima e dopo il periodo di stoccaggio.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

D.5.2.2 - 5° quadrimestre (09/10/2017 - 09/02/2018): Raffinazione della biomassa trattata proveniente da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni) e medio (5-7 anni).

Le fasi di cippatura e raffinazione comportano perdite di prodotto durante il processamento, a partire dalla fase di alimentazione fino allo scarico del materiale lavorato. Le perdite rilevate sono comprese tra il 2,90 e il 3,07%, per quanto concerne la cippatura e tra il 6,79 e il 7,34% per la raffinazione. Equipaggiando il biotrituratore con un adeguato sistema di aspirazione e scarico i valori rilevati risulterebbero sensibilmente inferiori. Il processo di raffinazione sembrerebbe indurre anche una riduzione del contenuto di umidità, tra il 4,75% e l'11,80%. Il t-test evidenzia l'esistenza di differenze statisticamente significative ( $p < 0,05$ ), ad eccezione delle ramaglie e cimali di 6 anni.

D.5.2.2 - 6° quadrimestre (09/02/2018 - 09/06/2018): Pellettizzazione della biomassa trattata proveniente da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni) e medio (5-7 anni).

Le attività svolte hanno permesso di produrre pellet di pioppo SRF di 3 e 6 anni utilizzando sia le piante intere che i soli fusti sramati. Risultati negativi sono stati ottenuti dalle ramaglie e i cimali che non hanno subito alcun processo di aggregazione delle particelle durante il passaggio nel sistema rulli-trafila. Da una prima analisi visiva il pellet ottenuto risulterebbe non perfettamente addensato, con presenza di microfratture che sembrerebbero favorire la frammentazione longitudinale dei cilindretti di legno. Ciò potrebbe dipendere dalla specie o da processi degradativi a carico della lignina, operati da patogeni fungini durante la fase di stoccaggio o direttamente sulle piante in piedi.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

A distanza di 24 mesi dall'inizio del progetto non sono state individuate criticità tali da ostacolare il regolare svolgimento

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

A distanza di 24 mesi dall'inizio del progetto non si ravvisa la necessità di attività integrative.

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Non sono state previste attività nel corso del II anno del progetto

### **6. Elenco pubblicazioni**

Civitarese V, Sperandio G, Acampora A, Santangelo E, Tomasone R. 2018. Pioppo sa SRF per produrre pellet. Caratterizzazione del materiale di 3 e 6 anni. *Sherwood Foreste ed alberi* oggi 232:31-34



**Task 5.3 Verifica della fattibilità del recupero di biomasse erbacee per impianti dimostrativi a biogas**

Task leader: CREA-IT Luigi Pari

**Linea 1 di attività: Sviluppo di sistemi per la raccolta dei sottoprodotti della trebbiatura**

Referente: Luigi Pari

**Linea 2 di attività: Sviluppo di sistemi per la raccolta delle biomasse fluviali**

Referente: Luigi Pari

**Linea 3 di attività: Verifica dell'utilizzabilità della biomassa di *Arundo* allevato in terreni con presenza di contaminanti**

Referente: Enrico Santangelo

**Linea 4 di attività: Analisi di molecole funzionali presenti in bucce di pomodoro di linee/varietà in possesso di particolari caratteristiche relativamente alla colorazione/composizione della buccia**

Referente: Enrico Santangelo

**Abstract**

La Task 5.3 è basata sulla valorizzazione delle biomasse agricole di scarto che attualmente non sono utilizzate, allo scopo di incrementare la disponibilità di biomasse fermentescibili e la riduzione di superfici coltivate per l'alimentazione di impianti a biogas. Nel periodo di riferimento, nell'ambito della Linea 1 state realizzate attività sperimentali finalizzate a verificare le prestazioni di due sistemi innovativi per la raccolta dei residui di trebbiatura, rispettivamente la pula dei cereali e i tutoli del mais. Nell'ambito della Linea 2, è stato valutato un cantiere per la raccolta delle macrofite fluviali. L'attività della Linea 3 è in pieno svolgimento. Le piante trapiantate in terra e contaminate con rame sono state monitorate durante tutto l'arco dell'anno da un punto di vista sia morfologico che fisiologico. Contemporaneamente si è proseguito con l'allestimento della prova in semi-idroponica. Per quanto riguarda la linea 4, si è concluso il primo anno di valutazione sulle bucce raccolte da linee diversificate per il colore della bacca. Queste ultime sono state caratterizzate ed è iniziata l'attività del secondo anno con la messa in coltura delle piante sia in tunnel riscaldato sia in pieno campo.

## 1. Attività svolta

Con riferimento alla linea 1, sono state realizzate le seguenti attività:

1. Valutazione del sistema per raccolta della pula denominato “Combi” della ditta svedese Rekordverken”. Agosto 2017, Uppsala (Svezia)
2. Valutazione del sistema per la raccolta dei tutoli di mais “Harcob” della ditta italiana Racca. Settembre 2017, Marene (CN).

La prova realizzata in Svezia aveva lo scopo di valutare il sistema “Combi”, finalizzato ad incorporare la pula insieme alla paglia scaricata in andana durante la raccolta del grano e la successiva imballatura. Il test è stato eseguito ad agosto 2017 a Uppsala, in Svezia, utilizzando una mietitrebbia ibrida commerciale dotata di spargi paglia modificato (Figura 1). In particolare, lo spargipula è stato utilizzato come sistema di recupero della paglia per reindirizzare la pula nel flusso di paglia durante la caduta sul terreno e ottenere il prodotto miscelato nell'andana di paglia, successivamente raccolto con una rotoimballatrice.



Figura 1. Mietitrebbia Fendt 9490X utilizzata durante la prova e particolare del sistema “Combi”

La prova realizzata in Italia, aveva lo scopo di valutare le prestazioni e la qualità del lavoro di una mietitrebbiatrice equipaggiata con il sistema “Harcob” per la raccolta del tutolo del mais. Il sistema consiste in un dispositivo per separare il tutolo di mais dagli altri residui (foglie, stelo, culmo, ecc.) e raccogliarlo in una tramoggia supplementare (9 m<sup>3</sup>) (Figura 2).



Figura 2. Il sistema “Harcob” montato su mietitrebbia Case Axial Flow 7140 e fase di scarico di tutoli e granella contemporaneamente

Con riferimento alla linea 2, è stato condotto uno studio finalizzato a valutare la produttività del sistema di raccolta delle macrofite fluviali infestanti, utilizzato dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive (Mogliano Veneto). Il sistema di raccolta delle infestanti acquatiche, uno dei più diffusi nel Nord Italia, prevedeva l'uso di due barche falcianti per il taglio della vegetazione e un camion per caricare e trasportare la biomassa nel centro di smaltimento. L'analisi delle prestazioni di raccolta ha considerato esclusivamente il taglio della biomassa e il caricamento per il trasporto verso il centro di smaltimento.



Figura 3. Cantiere di raccolta delle macrofite fluviali

Nell'ambito dell'attività prevista per la linea 3, le piante trapiantate su suolo in contenitore sono state contaminate con solfato di rame nel mese di luglio 2017. Successivamente si è proceduto al rilievo di diversi parametri morfologici (altezza e diametro del fusto principale, numero di germogli, contenuto in clorofilla), fisiologici (contenuto in rame e microelementi) ed energetici (contenuto in





---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

ceneri, analisi elementare, potere calorifico). I primi sono stati eseguiti con cadenza settimanale nei primi tre mesi e poi con cadenza mensile. I rilievi fisiologici ed energetici sono stati effettuati ogni tre mesi (ottobre, gennaio e aprile). In corrispondenza del rilievo di gennaio si è proceduto alla raccolta della biomassa prodotta. Il monitoraggio delle piante è proseguito, come previsto dal programma, sui nuovi germogli emessi dopo il taglio.

Relativamente alla linea 4, nella seconda metà di luglio 2017 è stata effettuata la raccolta delle bacche prodotte dalle 10 linee selezionate per le caratteristiche richieste dalla prova e all'estrazione delle bucce. Queste ultime sono state in parte liofilizzate ed in parte conservate a -20°C. Le prime sono state analizzate per il contenuto in sostanze bioattive (clorofilla, carotenoidi, polifenoli e antociani) utilizzando metodologie spettrofotometriche. Le bucce conservate a -20°C sono state macinate e caratterizzate mediante analisi *proximate* (umidità, ceneri, carbonio fisso, solidi totali e volatili) e *ultimate* (contenuto in C, H, N, S, O) e per il contenuto di macro e microelementi. A partire dal mese di marzo 2018 è iniziata l'attività di campo del secondo anno. Le 10 linee studiate il primo anno sono state nuovamente trapiantate in tunnel freddo (12 piante per linea). Quattro delle suddette linee (un controllo e le linee con i geni *atv/Aft*, *t* e *y*) sono state trapiantate anche in pieno campo alla fine di maggio (20 piante per linea).

## 2. Risultati e deliverable

### Linea 1

Per quanto riguarda la raccolta della pula, i risultati hanno evidenziato prestazioni di raccolta variabili in funzione delle diverse configurazioni del sistema di recupero. Quando è stato utilizzato il sistema in modalità recupero, il materiale caduto nell'andana ed imballato con la paglia è risultato pari a circa 340 kg per ettaro (base secca). Tuttavia sono state registrate perdite elevate evidenziando la necessità di ripetere il test con una mietitrebbia convenzionale e non a flusso assiale.

Per quanto riguarda la raccolta dei tutoli, considerando la quantità totale di biomassa stimata, pari in media a 50 t per ettaro, utilizzando la mietitrebbia equipaggiata con il sistema Harcob, è stato possibile raccogliere in media 2 t ha<sup>-1</sup> di tutoli, con una produttività oraria di 4,1 t h<sup>-1</sup>. Le perdite di tutoli sono state inferiori al 20%, evidenziando il corretto funzionamento del sistema. Il tutolo di mais, una volta raccolto, considerando il contenuto di umidità (49,1%) è una biomassa appropriata per alimentare un impianto di biogas o come lettiera animale. Al contrario, deve essere essiccato se deve essere utilizzato per la produzione di mangimi.

Un'analisi dettagliata delle due attività e discussione dei risultati sarà oggetto della Deliverable D.5.3.2.



## Linea 2

Relativamente al recupero della biomassa fluviale, il sistema descritto per la raccolta di alghe acquatiche è risultato ben consolidato e la presenza di personale altamente qualificato ha svolto un ruolo chiave per un'efficiente raccolta. Tuttavia, il pieno sfruttamento della biomassa di alghe potrebbe richiedere un affinamento della filiera di approvvigionamento in base a fattori quali le condizioni specifiche del sito e l'uso previsto della biomassa. Ad esempio, la facile decomposizione delle alghe acquatiche richiede una pianificazione efficiente del trasporto e dell'utilizzo finale. Nelle aree vicino a siti urbanizzati il canale può contenere alcuni residui come materie plastiche che possono ostacolare l'uso della biomassa negli impianti di biogas. Un'analisi dettagliata dei risultati verrà presentata con la Deliverable D.5.3.5.

## Linea 3.

La linea in oggetto prevedeva un primo deliverable (D.5.3.7 - Relazione sull'efficienza produttiva di *Arundo* in presenza di elementi contaminanti e delle dinamiche di accumulo nei tessuti – primo anno) consegnato, come previsto dal programma, al termine del quarto quadrimestre del progetto (settembre 2017). Nella prima fase post-trattamento le piante hanno mostrato un danno effettivo alla concentrazione maggiore di rame (800 ppm): il contenuto in clorofilla è diminuito significativamente durante tutto il primo mese per poi salire nuovamente e tornare dopo circa due mesi a livello delle piante trattate con 200 e 400 ppm e delle piante non trattate. A tre mesi dalla contaminazione del terreno è stato effettuato un primo controllo su un campione di foglie. L'effetto della contaminazione ha mostrato una decisa influenza sulla composizione elementare (CHNSO) del tessuto fogliare: i contenuti di C erano significativamente più ridotti alle concentrazioni di 200 e 400 ppm; la percentuale di H nel controllo è risultata 2-10 volte maggiore rispetto ai trattati; il contenuto di O nei trattati era circa 1,5 volte superiore rispetto al controllo. Per quanto riguarda il rame, nel corso dei primi tre mesi non è stato evidenziato accumulo nelle foglie in quanto i valori delle piante di controllo e delle piante trattate non risultavano significativamente diversi. Viceversa, l'analisi degli altri elementi ha evidenziato uno squilibrio a carico di zinco, ferro, manganese, potassio e sodio determinato dal trattamento. Il contenuto in ceneri è risultato maggiore (ma non statisticamente diverso) nelle foglie delle piante allevate alla concentrazione maggiore (800 ppm).

A gennaio 2018 si è proceduto al taglio del primo anno di tutte le piante in allevamento e alla ripetizione dei controlli analitici. Da un punto di vista produttivo, l'effetto del rame ha determinato una significativa riduzione della quantità di biomassa prodotta (sia in peso fresco che secco) solo alla concentrazione più elevata (199.4 g/m<sup>2</sup> a 800 ppm, 260.2 g/m<sup>2</sup> nel controllo). Ad aprile 2018 è





---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

stato effettuato un terzo campionamento fogliare per il monitoraggio della presenza dell'elemento. Le analisi relative ai prelievi di gennaio ed aprile sono in via di ultimazione.

Linea 4.

Il deliverable prodotto al termine del sesto quadrimestre (maggio 2018) riporta in dettaglio i risultati relativi al primo anno di attività (D.5.3.10 - Relazione sull'attività di valutazione del primo anno). Complessivamente sono state raccolte 1309 bacche corrispondenti a 64 kg di prodotto. Il numero di bacche per pianta è variato da 5 a circa 13, con una produzione media di circa 9 bacche per pianta aventi un peso medio di 49.1 g. La produzione di bucce è risultata essere mediamente di 596 g, pari ad una resa in buccia del 9.4 %.

Il contenuto delle principali classi di composti bioattivi nelle bucce ha rispecchiato abbastanza puntualmente l'effetto determinato dai geni mutati presenti nelle diverse linee (per l'elenco e la funzione dei geni si rimanda alla relazione del primo anno). Ad esempio, il gene *gf* incrementa enormemente i livelli di clorofilla in tutte le parti della pianta, in particolare le foglie, ma con un sostanziale effetto anche nella bacca. I dati hanno confermato tale azione facendo rilevare nelle bucce della linea V710452 (*gf*, *hp-2*) i valori più alti di clorofilla, quasi sette volte superiore rispetto al controllo. Per quanto riguarda i carotenoidi, la medesima linea ha fatto registrare la massima produzione di tali composti, quattro volte maggiore del controllo. La linea con buccia nera (caratteristica conferita dai geni *Atv/aft*) ha mostrato il valore significativamente maggiore di sostanze lipofile ed idrofile (che contribuiscono a determinare il contenuto in polifenoli) ed è stata l'unica in cui è stato possibile rilevare la presenza antocianine (301.1 mg/100 g<sub>dw</sub>). Altre linee particolarmente interessanti per il loro contenuto in polifenoli sono risultate la V710458 (gene *t*) e le linee contenenti il gene *hp-2*.

Il potere calorifico ha mostrato un'ampia variabilità passando dagli oltre 26 MJ kg<sup>-1</sup> nel controllo e nella linea *hp-2* (V710454) a poco più di 15 MJ kg<sup>-1</sup> nelle linee *pd* e *Atv/aft*. L'analisi elementare ha confermato la variabilità attesa in materiali così diversificati, soprattutto per ciò che riguarda la percentuale di C, H ed O. Insieme al controllo, la linea con il solo gene *hp-2* ha mostrato il maggior contenuto di C ed H. A partire dalla composizione elementare, si è proceduto al calcolo empirico della produzione teorica massima di biogas e di metano mediante l'applicazione della formula di Buswell (Buswell and Hatfield, 1936). Il contenuto variabile delle diverse classi di pigmenti ha influenzato la composizione elementare e conseguentemente la stima della produzione potenziale di biogas e di metano. L'andamento di queste due variabili ha ricalcato abbastanza da vicino l'andamento osservato nell'analisi elementare, con particolare riferimento ai valori di carbonio e idrogeno. Ancora una volta la linea *hp-2*, dove tutti i pigmenti vengono incrementati, è risultata



**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

quella con la produzione teorica statisticamente più elevata, mentre le bucce contenenti polifenoli (*Atv/aft*) hanno fatto registrare i valori minori. Introducendo delle correzioni relative alla biodegradabilità del substrato, sono stati ottenuti valori di produzione di CH<sub>4</sub> variabili da 208.0 a 562.6 ml CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup><sub>vs</sub> comparabili a quelli osservati in letteratura [es. 330 ml CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup><sub>vs</sub>, riportato da Calabrò et al. (2015) per bucce di pomodoro].

**3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Nessuno

**4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Al momento non si prevedono attività integrative o aggiuntive

**5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Nessuna

**6. Elenco pubblicazioni**



### **Task 5.4 Sistema innovativo per la valorizzazione agricola del digestato**

Task leader: CREA-IT Luigi Pari

#### **Linea 1 di attività: Valutazione dei sistemi di separazione solido liquido in commercio**

Referente: Claudio Fabbri

#### **Linea 2 di attività: Studio delle caratteristiche fisiche dei liquami e dei digestati**

Referente: Massimo Brambilla

#### **Linea 3 di attività: Sviluppo di serbatoi removibili collegati a manichette di nuova generazione**

Referente: Luigi Pari

### **Abstract**

La Task 5.4 è incentrata sulla caratterizzazione del digestato prodotto da impianti di biogas al fine di individuare (sulla base della suddetta caratterizzazione) soluzioni tecniche in grado di migliorarne la distribuzione in pieno campo. La Task è stata quindi concepita in step successivi, identificati da 3 linee di ricerca, in cui sono previste la valutazione dei sistemi di separazione solido liquido in commercio (Linea1), lo studio delle caratteristiche fisiche dei liquami e dei digestati (Linea 2) e lo sviluppo di manichette di nuova generazione (Linea 3). Nell'ambito della Linea 2, l'attività di ricerca ha previsto lo studio delle caratteristiche chimico-fisiche delle frazioni solide e liquide di effluenti zootecnici. Per entrambe è stata fatta la determinazione del quantitativo di solidi totali e di solidi volatili; le frazioni liquide sono state ulteriormente sottoposte ad analisi della viscosità (sia tal quali che a diversi livelli di diluizione con acqua ) per valutarne il comportamento in vista della possibile somministrazione alle colture mediante appositi sistemi a manichetta.

I risultati preliminari indicano che:

- il contenuto in solidi totali del digestato tal quale oscilla fra il 4.14 e il 7.5 % (p/p) in funzione del tipo di impianto in cui è stato campionato
- il contenuto in solidi totali delle frazioni liquide varia dallo 0.8% al 3.6% in funzione del tipo di trattamento cui la frazione è sottoposta in uscita dall'impianto di separazione.
- le frazioni liquide considerate hanno un comportamento di tipo newtoniano e la temperatura agisce sulla viscosità dei fluidi (sia tal quali che in soluzione) operandone una diminuzione.

E' ancora in corso l'analisi delle frazioni liquide di ulteriori campioni di digestato che comprendono reflui sia suini che bovini.



## **1. Attività svolta**

Nell'ambito della Linea 1 sono stati preliminarmente selezionati gli impianti di biogas presenti nelle regioni del Nord Italia, in base alla dieta (colture dedicate, effluenti zootecnici e matrici fermentescibili di diversa natura), modalità di gestione dell'impianto e del digestato (processo e tipologia di estrattori solido/liquido utilizzati), in modo da avere una casistica rappresentativa di campioni di digestato da avviare alla caratterizzazione avvenuta con la Linea 2.

Nell'ambito di questa, il digestato effluente da vari impianti zootecnici è stato campionato sia tal quale che in uscita da impianti che ne operano al separazione delle fasi solide e liquide e, su queste ultime, in un caso si è utilizzata anche l'effluente di una frazione liquida sottoposta ad ultrafiltrazione.

Sui campioni raccolti è stata fatta una caratterizzazione chimico fisica con determinazione dei solidi totali (mediante essiccamento in stufa ventilata a 105°C) e dei solidi volatili (mediante incenerimento dei solidi totali in muffola alla temperatura di 550 °C).

Successivamente, le sole frazioni liquide e ultrafiltrate sono state sottoposte ad analisi della viscosità dinamica mediante viscosimetro rotazionale sia tal quali che a diversi rapporti di diluizione con acqua (1:10, 1:15, 1:20). Come testimoni sono stati utilizzati sia campioni di acqua distillata che campioni di acqua irrigua. Quest'analisi è stata condotta ponendo ciascun campione in congelatore fino ad abbassarne la temperatura al di sotto dei 3°C; successivamente, il becker è stato trasportato in un bagno termostatico (Mettler GmbH, Germany) e nel fluido è stato immessa la girante del viscosimetro in modo tale da applicare alla massa fluida uno shear stress ( $\dot{\gamma}$ ) pari a 32.25 s<sup>-1</sup> e una sonda termometrica collegata allo strumento. Le letture della viscosità dei vari fluidi sono state fatte in continuo con un rateo di acquisizione di 0.5 s<sup>-1</sup> finché il campione non ha raggiunto la temperatura di 30°C e, per ogni misurazione, sono stati fatti tre replicati. Il dataset con le acquisizioni, contenente circa 6000 letture per ciascun replicato, è stato sottoposto ad analisi statistica mediante il software Minitab 17 (Minitab Inc., USA).

Con riferimento alla Linea 3 nel periodo di riferimento sono intercorsi contatti con alcune ditte produttrici di manichette e ugelli per la fertirrigazione. In particolare, con la ditta Irritec S.p.A, azienda leader nel settore, sono state discusse le tecnologie disponibili e definite le caratteristiche e le attività per lo sviluppo degli ugelli di nuova concezione previsti dal Progetto. Questi verranno testati nelle prove sperimentali di fertirrigazione con digestato presso l'azienda Agricola Iraci Borgia, sita a Bevagna (PG), individuata precedentemente, che adotta una gestione innovativa del digestato proveniente dal proprio impianto per la produzione di biogas da effluenti zootecnici. L'azienda dispone di un separatore liquido/solido che, utilizzando un filtro con maglie di 0.05 mm, provvede



alla separazione e microfiltrazione della fase liquida con caratteristiche reologiche compatibili per il sistema di distribuzione che si andrà a testare.

## 2. Risultati e deliverable

Relativamente allo studio delle caratteristiche chimico-fisiche delle frazioni solide e liquide di effluenti zootecnici, i risultati preliminari hanno mostrato che le frazioni liquide dei digestati tendono ad avere un comportamento newtoniano sia tal quali che in diluizione. Questo aspetto è tuttavia da approfondire ulteriormente poiché la relazione diretta fra viscosità dinamica e cinematica tipica dei fluidi newtoniani non è stata ancora verificata.

Per quanto riguarda i fattori che agiscono sulla viscosità, in figura 1 si riporta un *“interaction plot”* che riassume come, nel complesso, variano le viscosità dei campioni al variare della loro origine e della diluizione cui sono stati sottoposti. Varie sono le considerazioni che è possibile fare:

- come ci si attendeva, il comportamento dell'acqua irrigua non si discosta significativamente da quello dell'acqua distillata e questo è importante in vista della eventuale diluizione cui sottoporre la frazione liquida del digestato in condizioni di pieno campo;
- la viscosità dei campioni diluiti è significativamente inferiore rispetto a quella dei campioni tal quali e dello stesso ordine di grandezza delle acque considerate come testimoni;
- con l'aumentare della temperatura la viscosità dinamica dei campioni tende a diminuire: in particolare, l'origine dei campioni appare avere un ruolo significativo in quanto le viscosità medie degli effluenti tendono a seguire andamenti simili all'aumentare della temperatura;
- se da un lato l'effetto della diluizione *maschera* le differenze legate all'origine dei digestati e ai trattamenti cui sono sottoposti, quando tali biomasse sono state analizzate tal quali si vede che quelle aventi viscosità maggiore sono la frazione addensata e chiarificata (appartenenti entrambe all'Azienda C) le cui viscosità si aggirano intorno ai 59 mPas (range 55.0 – 65.0 mPas) mentre la frazione microfiltrata proveniente dalla medesima azienda ha una viscosità media simile a quella di un separato liquido ordinariamente ottenibile in azienda (tra i 29 e i 35 mPas).

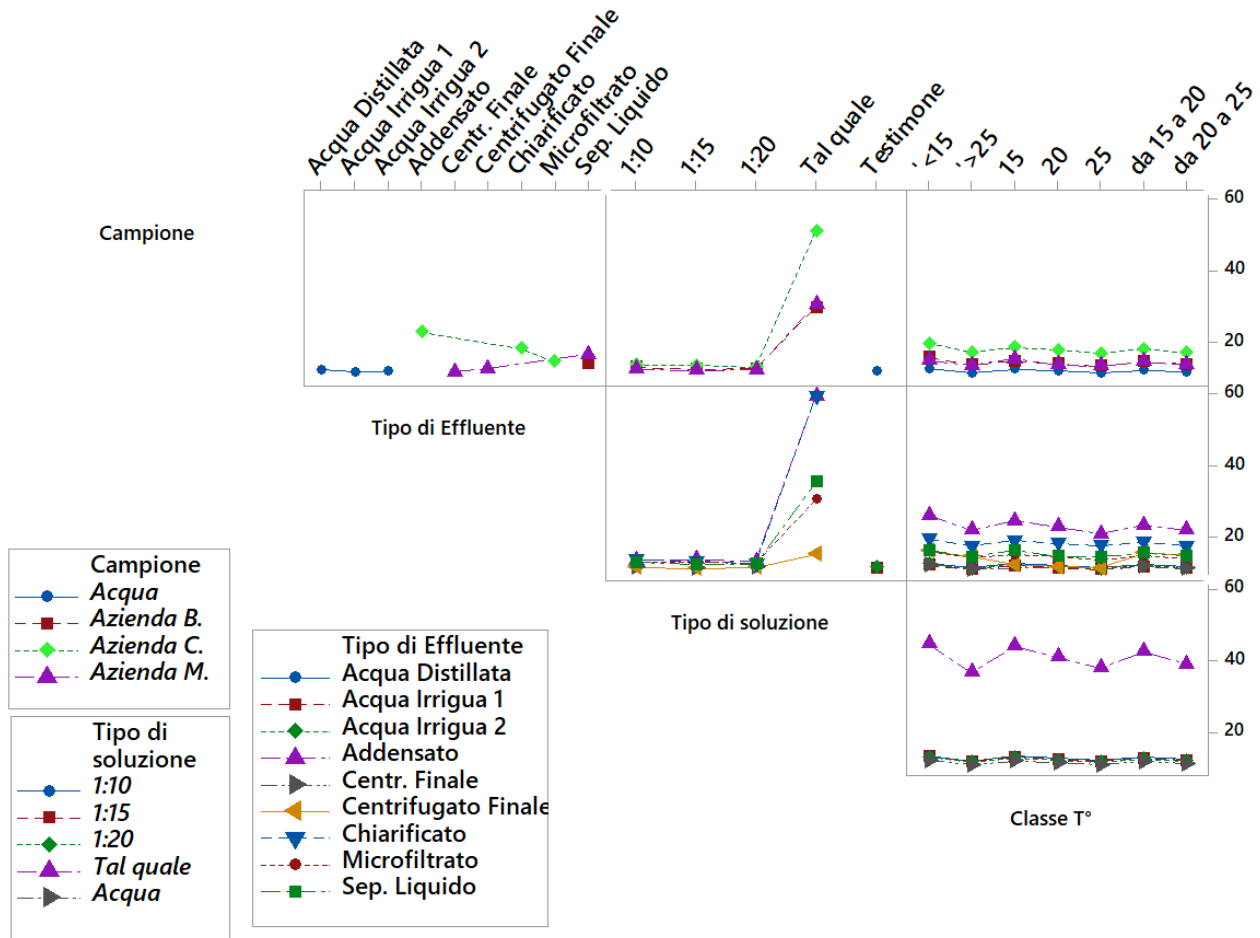


Figura 2. Interaction plot che mostra come i diversi digestati e le diverse diluizioni testate agiscano sulla viscosità dinamica (mPa) dei campioni

E' in corso la redazione di un articolo scientifico che conterrà i risultati delle sperimentazioni che al momento sono ancora in corso.

La Linea 3, inserendosi a valle delle linee precedenti, durante il secondo anno di attività, non ha prodotto risultati quantificabili o oggetto di discussione. Nel periodo di riferimento non sono previste Deliverable.





### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Al momento non si sono registrati scostamenti rispetto a quanto pianificato per Linea 1 e per la Linea 2. Per quanto riguarda la Linea 3 si evidenzia quanto segue. Il confronto delle viscosità cinematiche ottenibili in base alla viscosità dinamica misurata richiede un ulteriore approfondimento poiché per il corretto funzionamento del viscosimetro capillare è necessario sottoporre il campione ad ulteriore filtrazione su membrana con pori di diametro inferiore ai 2  $\mu$  e questo può comportare la creazione di artefatti poiché il comportamento del liquido filtrato non è detto che rispecchi quello del fluido di partenza. Si verificherà sperimentalmente la relazione esistente fra viscosità dinamica e viscosità cinematica per i fluidi newtoniani.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Al momento non si prevedono attività integrative o aggiuntive

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Nessuna

### **6. Elenco pubblicazioni**



**Task 5.5 Innovazione, dimostrazione e divulgazione della qualità del pellet**

Task leader: Dr Corrado Costa

**Linea 1 di attività: Sviluppo e/o valutazione di metodi indiretti di stima delle proprietà chimico-fisiche delle materie prime e pellet da esse derivati**

Referente:

**Linea 2 di attività: Sviluppo e/o valutazione di modelli e tecniche per la qualificazione e la provenienza delle materie prime**

Referente: Dr Corrado Costa

**Linea 3 di attività: Valutazione economica sull'introduzione di tecnologie di tracciabilità elettronica (RFID) nella filiera del pellet ed in relazione alla certificazione**

Referente: Dr Corrado Costa

**Linea 4 di attività: Azioni di dimostrazione e di divulgazione dei risultati**

Referente: Dr Corrado Costa

**Abstract**

L'obiettivo generale della Task, in collaborazione con ENAMA, è la caratterizzazione multi-sensore di materie prime e pellet da esse derivati per una valutazione qualitativa del processo di produzione e dei prodotti finiti. A tal fine sono in corso di sviluppo tecniche ed analisi distruttive e non delle materie prime di differente origine (materiali / provenienze) e del pellet da esse derivati per qualificare e tracciare il prodotto. In particolare sono stati, ad oggi collezionati circa 30 campioni di pellet con caratteristiche di origine, produzione e specie (commerciali e non). I campioni sono stati sottoposti a analisi chimico-fisiche standard e ad analisi distruttive (firmness) e non distruttive (colore, spettro e VOCs). Le attività sono state coadiuvate con ENAMA in conformità ed a supporto di quanto previsto dal paragrafo 1.2 del progetto esecutivo "ENERGIA dall'Agricoltura - ENAGRI". Le analisi sono state condotte in collaborazione con le Università di Padova e di Firenze. Sono stati pubblicati 2 lavori su riviste internazionali e altri due sono in fase di submission.



## **1. Attività svolta**

Linea 1 di attività: Sviluppo e/o valutazione di metodi indiretti di stima delle proprietà chimico-fisiche delle materie prime e pellet da esse derivati

In collaborazione con ENAMA sono stati collezionati circa 30 campioni di pellet con caratteristiche di origine, produzione e specie (commerciali e non). I campioni sono stati sottoposti a analisi chimico-fisiche standard e ad analisi distruttive (firmness) e non distruttive (colore, spettro e VOCs). I dataset prodotti da tali attività verranno arrangiati con la finalità di ottenere dei modelli multivariati con comportamento lineare o non-lineare per ottenere dei metodi indiretti di stima delle proprietà chimico-fisiche delle materie prime e pellet da esse derivati.

Linea 2 di attività: Sviluppo e/o valutazione di modelli e tecniche per la qualificazione e la provenienza delle materie prime

I campioni collezionati per la linea 1 di attività e le rispettive matrici di dati sono state in parte analizzate al fine di valutarne la qualità e la provenienza. I modelli per tali finalità sono in corso di validazione.

Linea 3 di attività: Valutazione economica sull'introduzione di tecnologie di tracciabilità elettronica (RFID) nella filiera del pellet ed in relazione alla certificazione

Questa linea di attività non è stata ancora stata sviluppata.

Linea 4 di attività: Azioni di dimostrazione e di divulgazione dei risultati

Sono stati pubblicati 1 lavoro peer-review, 2 lavori su riviste internazionali ed altri due sono in corso di scrittura. Una partecipazione come poster al XXXVII CIOSTA & CIGR Section V Conference - Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems - 13-15 June, Palermo, Italy (<http://www.aidic.it/ciosta2017/>). E' stata condotta una visita presso gli impianti di produzione di pellet in Calabria. Partecipazione al Maker Faire 2016 (<http://www.makerfairerome.eu/it/>) per presentare il progetto Agroener ed un prototipo di qualificazione rapida del pellet. Sono stati inoltre condotte attività dimostrative in diverse regioni (Calabria, Veneto, Lazio).



## **2. Risultati e deliverable**

### **D.5.5.1 Output dell'attività sulla linea 1:**

Sono state selezionate le tecniche ed i sistemi per la stima indiretta delle proprietà chimico-fisiche delle materie prime e pellet da esse derivati; in particolare, il colore (ottenuto mediante un prototipo di qualificazione rapida sviluppato dal CREA-IT), lo spettro NIR, la firmness (mediante dinamometro digitale) e i VOCs (mediante il PTR-TOF-MS dell'Università di Firenze). È in corso la selezione di modelli statistici per la stima indiretta delle proprietà chimico-fisiche delle materie prime e pellet da esse derivati.

### **D.5.5.2 Output dell'attività sulla linea 2:**

Così come per la linea 1, sono state selezionate le tecniche ed i sistemi per la qualificazione e la provenienza delle materie prime mediante gli stessi strumenti analitici. Sono in corso di selezione i modelli statistici per la qualificazione delle materie prime, per la stima delle provenienze e per la valutazione dei processi produttivi.

### **D.5.5.3 Output dell'attività sulla linea 3:**

Questa linea di attività non è stata ancora stata sviluppata e non ha prodotto deliverables.

### **D.5.5.4 Output dell'attività sulla linea 4:**

Sono stati pubblicati 2 lavori su riviste internazionali ed altri due sono in fase di scrittura.

Partecipazione come poster al XXXVII CIOSTA & CIGR Section V Conference - Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems - 13-15 June, Palermo, Italy (<http://www.aidic.it/ciosta2017/>).

Visita presso gli impianti di produzione di pellet in Calabria.

Partecipazione al Maker Faire 2016 (<http://www.makefairerome.eu/it/>) per presentare il progetto Agroener insieme ad un prototipo di qualificazione rapida del pellet.

Attività dimostrative sono state effettuate in Calabria, Lazio e Veneto.

## **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Ad oggi non sono stati riscontrati o previsti ostacoli per il pieno svolgimento delle attività



#### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Si sta pensando di integrare le blockchain per la tracciabilità elettronica (RFID) nella filiera del pellet ed in relazione alla sua certificazione.

#### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

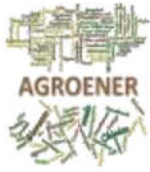
Sono stati pubblicati 2 lavori su riviste internazionali ed altri due sono n corso di scrittura. Una participation come poster al XXXVII CIOSTA & CIGR Section V Conference - Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems - 13-15 June, Palermo, Italy (<http://www.aidic.it/ciosta2017/>). E' stata condotta una visita presso gli impianti di produzione di pellet in Calabria. Partecipazione al Maker Faire 2016 (<http://www.makerfairerome.eu/it/>) per presentare il progetto Agroener ed un prototipo di qualificazione rapida del pellet. Sono stati inoltre condotte attività dimostrative in diverse regioni (Calabria, Veneto, Lazio).

#### **6. Elenco pubblicazioni**

Costa C, Taiti C, Zanetti M, Proto A, D'Andrea S, Greco R, Demattè L, Mancuso S, Cavalli R, 2017. Assessing VOC emission by wood pellets using the PTR-ToF-MS technology. CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, 58: 445-450.

Zanetti M, Greco R, Costa C, Cavalli R, 2018. Changes of particle size classification of wood chips according to the new standard rules for domestic use. EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS, 76: 805-807.

Zanetti M, Costa C, Greco R, Grigolato S, Ottaviani Aalmo G, Cavalli R, 2017. How wood fuels's quality relates to the standards: a class-modelling approach. ENERGIES, 10: 1455.



**Task 5.6 Centro dimostrativo CREA-IT: Filiera energetica biomasse biogas/biometano: Utilizzo della biomassa e qualità delle emissioni dei sistemi di combustione nell'utilizzo del biogas/biometano, syngas e della biomassa**

Task leader: Ing. Francesco Gallucci (CREA-IT)

**Linea 1 di attività: Qualità delle emissioni dei sistemi di combustione nel biogas/biometano e nella biomassa**

Referente: Ing. Francesco Gallucci (CREA-IT)

**Linea 2 di attività: Swotanalysis dei sistemi di upgrading del biometano**

Referente: Dr. Claudio Fabbri (CRPA)

**Linea 3 di attività: Biogas Monitoring System – BMS: sviluppo software per il monitoraggio degli impianti a biogas/biometano**

Referente: Dr. Lorenzo Maggioni (CIB)

**Linea 4 di attività: La gestione dei residui delle lavorazioni agroforestali in termini di sostenibilità ambientale ed economica**

Referente: Prof. Andrea Colantoni (UNITUS)

**Linea 5 di attività: Metodi e procedimento per il calcolo del rendimento e per il rilievo delle emissioni al camino delle caldaie a biomassa e allo scarico cogeneratori alimentati a biogas/biometano e analisi statistica dei risultati**

Referente: Ing. Francesco Gallucci (CREA-IT)

**Linea 6 di attività: Report, giornate dimostrative, organizzazione di workshop e incontri tematici, pubblicazioni scientifiche etc.**

Referente: Ing. Francesco Gallucci (CREA-IT)

**Abstract**

Le attività svolte nel secondo anno riguardano la prosecuzione dell'attività di ricerca relativa alle linee 1 e 5 e l'avvio delle attività relative alle linee 2 e 4. In tal senso sono state realizzate sperimentazioni sulla combustione controllata, in impianto dimostrativo di piccola taglia, di biomassa legnosa quale cippato di olmo e pioppo al fine di valutare l'emissione di sostanze inquinanti con particolare riferimento ai microinquinanti organici ed inorganici. È stata proseguita



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

l'attività di progettazione e realizzazione del banco prova caldaie con la realizzazione del condotto per l'emissione ed il monitoraggio dei fumi di combustione, in tal senso è stata condotta una prima sperimentazione sulla combustione in condizioni incontrollate della paglia di grano e di riso mediante l'impiego di un generatore di aria calda che ha messo in evidenza una possibile correlazione tra produzione di microinquinanti organici e presenza di metalli nella biomassa. Nell'ambito della gestione e recupero dei residui agroforestali, è stato condotto uno studio sulla gassificazione delle potature di olivo, mediante reattore downdraft, che ha evidenziato la possibilità di poter produrre un syngas con caratteristiche adeguate per un suo impiego in ambito energetico in aggiunta alla possibilità di ottenere anche biochar. Relativamente ai sistemi di upgrading del biometano è stato condotto uno studio sui vantaggi, svantaggi e criticità delle principali tecniche ad oggi disponibili.

### **1. Attività svolta**

Le attività svolte, durante il secondo anno, relativamente alla prosecuzione delle linee 1 e 5 hanno principalmente riguardato lo studio delle emissioni al camino prodotte dalla combustione di biomassa. In particolare, nell'ambito della linea 1, sono state condotte prove di combustione controllate su cippato di pioppo ed olmo mediante l'impianto a biomasse a griglia mobile di 350 kW<sub>th</sub> presente presso il CREA-IT di Monterotondo. Per la determinazione del rendimento della caldaia sono state inserite 4 celle di carico sul sistema di alimentazione della biomassa che, attraverso un'unità di controllo, permettono di monitorare in tempo reale la portata massica della biomassa introdotta in caldaia. I test di combustione hanno riguardato la determinazione, negli effluenti gassosi al camino, del contenuto di: microinquinanti organici ovvero policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e policlorobifenili (PCB), composti organici volatili (VOC) e microinquinanti inorganici quali metalli pesanti. Per lo svolgimento della suddetta attività è stata effettuata preventivamente la caratterizzazione chimico-fisica della biomassa presso il Laboratorio Attività Sperimentali – Energia Rinnovabile da Biomassa (LAS-ER-B) del CREA-IT di Monterotondo, in particolare sono state eseguite analisi relative a: umidità, potere calorifico superiore ed inferiore, contenuto in ceneri, contenuto di Carbonio, Idrogeno, Azoto, Zolfo ed Ossigeno.

Relativamente alla linea 5 sono state condotte prove di combustione in condizioni incontrollate (open burning) su paglia di grano e di riso. Differentemente dalle prove con olmo e pioppo, in questo caso è stato impiegato un generatore di aria calda da 80 kW<sub>th</sub> predisposto per l'alimentazione con cippato o pellet, ciò ha reso necessario la modifica di alcune parti del sistema di movimentazione della biomassa per renderlo idoneo alla gestione di biomassa erbacea. Nell'ambito di questi test è stato anche realizzato il condotto di connessione tra l'uscita dei fumi di combustione dal generatore





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

e il camino lungo il quale sono stati predisposti i punti di prelievo degli effluenti gassosi, tale intervento ricade tra quelli necessari per la realizzazione del banco prove caldaie previsto nella linea 5. Anche per queste prove è stata effettuata preventivamente la caratterizzazione chimico-fisica della biomassa mentre le emissioni al camino hanno riguardato la determinazione dei microinquinanti organici ed inorganici.

Relativamente alla linea 2, sulle tecniche di upgrading dei biogas in biometano, è stato condotto uno studio sull'evoluzione della normativa relativa al biometano che di recente è stata aggiornata con il D.M. 2 marzo 2018: "Promozione dell'uso del biometano e degli altri biocarburanti avanzati nel settore dei trasporti" e ed è stata sviluppata un'analisi dei diversi sistemi di upgrading del biogas in biometano per la rimozione dell'anidride carbonica dal biogas. In particolare sono state valutate diverse soluzioni quali l'uso di tecniche di adsorbimento (pressione swing adsorption - PSA), di assorbimento sia chimico mediante ammine sia fisico con acqua di lavaggio o solventi organici, metodi di permeazione mediante membrane e tecniche criogeniche ovvero mediante raffreddamento.

Relativamente alla linea 4, sulla gestione dei residui agroforestali, è stata condotta una sperimentazione sulla possibilità di recupero delle potature di olivo per la produzione di syngas ed eventualmente anche di biochar. Tale attività permette di implementare lo studio condotto già a partire dal primo anno sul recupero energetico di biomassa residuale proveniente dal comparto agricolo e che ha riguardato l'uso di potature di nocciolo e di vite. In particolare i test di gassificazione sono stati eseguiti mediante un reattore di piccola taglia a letto fisso di tipo downdraft. Le prove sono state eseguite per differenti condizioni operative in termini di portata d'aria e sono state incentrate sulla valutazione della composizione del syngas con particolare attenzione al contenuto di monossido di carbonio, idrogeno e metano ottenendo quindi il contenuto energetico in termini di potere calorifico inferiore.

## **2. Risultati e deliverable**

In merito alla linea 1, di seguito sono sintetizzati i risultati ottenuti dalle prove di combustione controllata del cippato di pioppo ed olmo con riferimento alla caratterizzazione della biomassa e ai microinquinanti organici maggiormente presenti nelle emissioni al camino.



**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

Tabella 1: Caratteristiche della biomassa impiegata nelle prove di combustione e contenuto dei maggiori PCDF e PCB rilevati negli effluenti gassosi al camino durante le prove di combustione in centrale.

Biomassa	Umidità (%)	PCI (MJ/kg)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	Ceneri (%)
Pioppo	43.3	17.94	47.36	5.58	0.31	-	3.12
Olmo	27.7	19.40	52.11	6.12	0.30	-	5.09

PCDFs (fg I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )			PCBs (fg I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )		
Composto	Pioppo	Olmo	Composto	Pioppo	Olmo
2,3,7,8-Tetra CDF	126.769	92.530	3,3',4,4'-TetraCB	6.895	4.352
1,2,3,7,8-PentaCDF	13.628	7.769	2,3',4,4',5-PentaCB	41.114	9.850
2,3,4,7,8-Penta CDF	144.591	63.189	2,3,3',4,4'-PentaCB	19.697	4.333
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	4.337	16.699	3,3',4,4',5-PentaCB	168.148	100.612
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	2.881	10.921	2,3,3',4,4',5-HexaCB	4.044	1.055
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	4.922	10.301	3,3',4,4',5,5'-HexaCB	80.521	53.925

I risultati sullo studio delle emissioni evidenziano come il contenuto di PCDF e PCB sia piuttosto basso: inferiore ad 1 pg I-TEQ/Nm<sup>3</sup> mentre per le diossine addirittura minore del limite di rilevanza (LOD). Confrontando i valori è possibile evincere come in generale il contenuto di PCB sia maggiore nel caso del pioppo rispetto all'olmo, ciò è probabilmente dovuto al differente contenuto di umidità della biomassa che risulta maggiore nel cippato pioppo ovvero all'aumentare dell'umidità si ha una riduzione della velocità di riscaldamento della biomassa che quindi permane per un periodo maggiore nel range di temperature associate alla formazione dei microinquinanti organici.

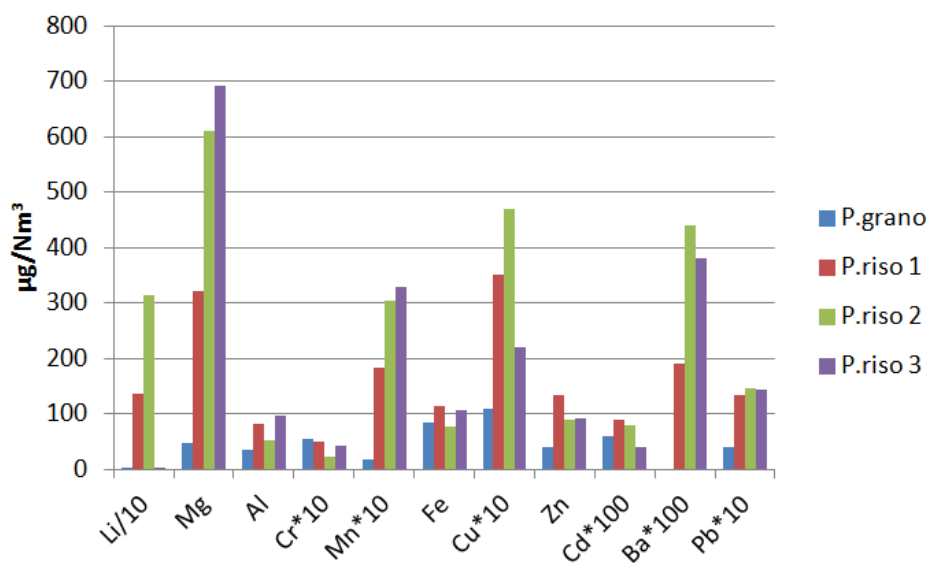
Nell'ambito della linea 5, di seguito sono proposti i risultati ottenuti dalle prove di combustione incontrollate (open burning) su paglia di grano e di riso con riferimento alla caratterizzazione della biomassa e ai dati preliminari delle emissioni dei microinquinanti organici e dei metalli.

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

Tabella 2: Caratteristiche della biomassa impiegata nelle prove di combustione e livello dei PCDF e PCB rilevati negli effluenti gassosi al camino durante le prove di combustione incontrollata.

Biomassa	Umidità (%)	PCI (MJ/kg)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	Ceneri (%)
P. Grano	9.6	15.72	43.19	6.13	0.58	1.71	7.62
P. Riso 1	8.5	13.46	36.36	6.03	0.81	-	18.20
P. Riso 2	8.8	13.39	38.27	5.60	0.68	-	17.06
P. Riso 3	9.2	13.70	37.33	6.02	0.50	-	15.62

Inquinante	P. Grano	P. Riso 1	P. Riso 2	P. Riso 3
PCDD/Fs TEQ (pg/Nm <sup>3</sup> )	2.9	210.7	759.8	94.3
PCBs TEQ (pg/Nm <sup>3</sup> )	15.8	12.0	52.8	18.2



**Figura 3: Contenuto di alcuni dei metalli presenti nelle emissioni da combustione incontrollata di paglia.**

Dai risultati ottenuti si osservano valori più alti di PCDD/Fs e PCBs nella paglia di riso rispetto alla paglia di grano, ciò può essere collegato alla maggiore presenza di rame che funge da catalizzatore nella formazione di tali composti durante il processo di combustione.

Relativamente alla linea 2 di seguito è riportata la sintesi dello studio effettuato sui vantaggi, svantaggi e criticità dei principali sistemi di upgrading del biogas in biometano.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

Tabella 3: Principali caratteristiche dei sistemi di upgrading del biogas.

Tecnologia	Vantaggi	Svantaggi
PSA	Nessun utilizzo di calore, soluzioni acquose, reagenti chimici e/o additivi. Tolleranza alla presenza di contaminanti. Biometano secco. Rimozione contestuale di O <sub>2</sub> e N <sub>2</sub> .	Pretrattamenti per la rimozione di H <sub>2</sub> S e H <sub>2</sub> O. Complessità dell'impianto. Perdite di metano con valori medio/alte. Necessità di trattamento dell'off-gas
Lavaggio con acqua	Nessun utilizzo di calore, reagenti chimici e/o additivi. Rimozione contestuale di CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> S. Semplicità operativa.	Consumo elevato di acqua ( <i>caso senza rigenerazione</i> ) e produzione di acque reflue. Perdita di metano con valori medi. Necessità di trattamento dell'off-gas. Necessità di essiccazione del biometano
Lavaggio con ammine	Impianti compatti. Nessun consumo di acqua e rigenerazione della soluzione solvente. Elevato recupero di metano. Ottima qualità del biometano.	Necessità di pretrattamenti di H <sub>2</sub> S e H <sub>2</sub> O. Uso di sostanze chimiche. Consumo di calore per la rigenerazione del solvente. Degradazione del solvente. Possibili fenomeni di formazione di schiume. Necessità di essiccazione del biometano.
Membrane	Impianti compatti e modulari: flessibilità alle variazioni di portata del biogas. Nessuna richiesta di calore. Pressione in uscita elevata.	Necessità di pretrattamenti. Consigliabile trattamento dell'off-gas.

La principale criticità riscontrata è quella associata ai costi energetici per portare il biometano prodotto alla pressione adeguata per l'eventuale immissione in rete.

Relativamente alla linea 4 sulla gestione dei residui agroforestali, di seguito sono riportati i risultati delle prove di gassificazione eseguiti sulle potature di olivo.

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

**Tabella 4: Caratteristiche della biomassa impiegata nelle prove di gassificazione e caratteristiche del syngas prodotto.**

Biomassa	Umidità (%)	PCI (MJ/kg)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	Ceneri (%)
Olivo	12.4	17.97	48.67	6.91	0.76	-	2.65

Prova	Portata aria (NL/min)	Consumo biomassa (kg/min)	Composizione (% v/v)						PCI syngas (MJ/Nm <sup>3</sup> )
			H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	
1	100	0.30	10.75	1.87	59.14	2.03	10.28	14.80	3,60
2	109	0.32	13.64	1.68	53.85	2.44	13.35	13.93	4,50
3	117	0.38	16.14	1.42	51.82	1.91	13.46	14.41	4,64
4	128	0.57	11.45	1.43	57.61	2.38	11.69	14.29	4,09
5	140	0.77	9.68	1.28	60.19	2.50	11.90	13.65	3,91

Dai risultati ottenuti è possibile osservare che il syngas ottenibile a partire dalle potature di olivo è simile, in termini di contenuto energetico, a quello ottenuto dalle precedenti sperimentazioni condotte con le potature di nocciolo e vite. In particolare risulta adeguato per un utilizzo in ambito energetico. È inoltre da tenere in considerazione la possibilità di associare la produzione di syngas a quella di biochar che nel caso in esame è risultato avere un contenuto di carbonio pari a circa il 74% w/w.

### **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

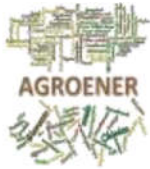
La principale problematica riscontrata nello svolgimento delle attività previste per il secondo anno è quella relativa alla linea 5 con particolare riferimento all'adeguamento del locale adibito ad ospitare il banco prova caldaie. L'iter amministrativo ha avuto inizio a gennaio 2018 e attualmente non è stato ancora possibile individuare la ditta che dovrà effettuare i lavori di adeguamento previsti dalla normativa. Essendo la problematica puramente di carattere amministrativo, nel caso del perdurare di tale situazione, si renderà necessario rimodulare la linea di ricerca 5.

### **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Al momento non si prevedono attività integrative o aggiuntive.

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Le attività di svolte durante il secondo anno, assieme ai relativi risultati, sono state presentate ai seguenti eventi:



---

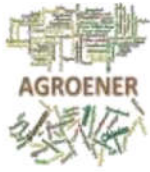
**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

- VIII Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico – PM 2018, Matera 23-25 maggio 2018;
- Conferenza internazionale: European Biomass Conference and Exhibition – 26thEUBCE, Copenhagen, 14-17 Maggio 2018;
- Conferenza presso Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto sull'Inquinamento Atmosferico CNR-IIA, Monterotondo 9-10 maggio 2018;
- Workshop presso Fiera Agricola, Verona 31 gennaio – 3 febbraio 2018.

## **6. Elenco pubblicazioni**

Le pubblicazioni, prodotte e in fase di stesura, relative ai risultati ottenuti durante il secondo anno sono di seguito elencate:

1. Gallucci F., Pari L., Longo L., Carnevale M., Santangelo E., Colantoni A., Paolini V., Guerriero E., Tonolo A.; **Assessment of organicmicropollutants (PCDD/Fs and PCBs) from biomasscombustion in a small chp facility**; European Biomass Conference and ExhibitionProceedings, 2017 (26thEUBCE).
2. Gallucci F, Longo L., Santangelo E., Guerriero E., Paolini V., Carnevale M., Colantoni A., Tonolo A.; **Assessment of syngas produced from gasification of olive tree pruning in a downdraft reactor**; European Biomass Conference and Exhibition Proceedings, 2017 (26thEUBCE).
3. Gallucci F., Longo L., Carnevale M., Santangelo E., Paolini V., Guerriero E.; **Evaluation of VOCs produced from combustion of woodchips in a small CHP plant**; (in fase di stesura).
4. Guerriero E., Khalid A., Gallucci F., Carnevale M., Longo L., Cerasa M., Budonaro A., Perilli M., Rantica E., Frattoni M., Mosca S., Pareti S., Catrambone M., Paris E., Del Giudice A., Rotatori M., Centritto M.; **Characterization of emissions from a straw-fedthermal power plant of wheat and ricestraw**; (in fase di stesura).



**Task 5.7 Sistemi dimostrativi per la produzione di biogas da prodotti derivati contaminati da micotossine**

Task leader: dr. Claudio Fabbri - CRPA

**Linea 1 di attività: valutazione della sedimentazione e della flottazione di digestati di impianti di digestione anaerobica alimentati con differenti tipologie di biomasse**

Referente: dr. Claudio Fabbri

**Linea 2 di attività: uso energetico di farine contaminate da micotossine**

Referente: dott.ssa Mariangela Soldano

**Linea 3 di attività: Clostridi e digestione anaerobica**

Referente: dott.ssa Mariangela Soldano

**Linea 4 di attività: impiego di frumento e prodotti derivati contaminati da micotossine da utilizzare come substrato per la produzione di biogas**

Referente: dott.ssa Mariangela Soldano

**Abstract**

Nella seconda annualità sono proseguite le attività previste nelle linee 1, 2, 3 e 4, avviate nella prima annualità, secondo le tempistiche del progetto. Per la linea 1 è stato progettato e realizzato un sistema da laboratorio per lo studio della sedimentazione e della flottazione. Sono proseguiti i campionamenti su impianti di biogas focalizzando l'attenzione sul recupero di sedimenti da digestori anaerobici; nella linea 2 sono state effettuate prove di digestione anaerobica in laboratorio con sistema batch (test BMP) e con reattori pilota in continuo di farine di mais con dosi di aflatoxine non conformi all'alimentazione (umana e animale) per valutarne l'eventuale degradabilità biologica e influenza sulla produzione in biogas; inoltre è stata valutato l'effetto della presenza residua di aflatoxine sulla fase di stoccaggio dei digestato; nella linea 3 sono state avviati 3 test di digestione anaerobica in mesofilia con reattori dinamici alimentati con una miscela di biomasse e i relativi digestati prodotti raccolti per caratterizzarne la popolazione microbica e per lo studio del genere Clostridium: questa seconda parte dell'attività è attualmente in corso. Nella linea 4 sono stati reperiti e analizzati per le micotossine DON, tossine T2+H2 e alternariolo ulteriori campioni di frumento duro e frazioni della molitura (crusca, cruschetto e semola); sono stati sottoposti a test BMP per la misura del potenziale metanigeno e il relativo digestato analizzato per le micotossine per valutarne l'eventuale abbattimento.



## 1. Attività svolta

### Linea 1

Valutazione della sedimentazione e della flottazione di digestati di impianti di digestione anaerobica alimentati con differenti tipologie di biomasse.

Nel secondo anno è stato realizzato un dispositivo da laboratorio per lo studio dei fenomeni di flottazione e sedimentazione dei digestati degli impianti di biogas. Sono stati condotti le prove preliminari di caratterizzazione del digestato per determinare la cinetica di formazione degli strati galleggianti e il ruolo che riveste la naturale produzione residua del biogas sulla flottazione superficiale dei solidi.



PROGETTO



REALIZZAZIONE



VALUTAZIONE SEDIMENTI E  
FLOTTAZIONE NEL DIGESTATO

L'attività è proseguita anche con la raccolta di campioni di sedimenti prelevati dal fondo di digestori anaerobici di tipo agrozootecnico i quali saranno sottoposti ad una caratterizzazione ulteriore per definire che tipologia di materiale ha maggiore tendenza a formare un deposito sul fondo delle vasche.

### Linea 2

Nella seconda annualità sono stati svolti test di fermentazione di laboratorio con metodo dinamico (reattori con alimentazione in continuo) di farina di mais contaminata da micotossine (AFB1 e AFB2 e FB1+FB2), recuperata nella campagna maidicola 2017, considerata non conforme per uso alimentare (umano e animale) per la presenza di aflatossine superiore ai limiti stabiliti dalla norma, ma idonea all'impiego nei biodigestori.

Sono stati condotti test BMP di 5 farine di mais (replicati 2 o 3 volte) con diverse concentrazioni di micotossine, aflatossina e fumonisina, e 1 test con sistema dinamico replicato 3 volte utilizzando



---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

farina con alta contaminazione di AFB1 (276 ppb) e fumonisine (272 ppb) ein contemporanea un test con contaminazione trascurabile come controllo.

### Linea 3

È stata condotta una sperimentazione che ha previsto l'esecuzione di 3 test di digestione anaerobica nell'impianto sperimentale di CRPALab. La miscela di carico era costituita da un effluente zootecnico (liquame bovino) e due biomasse (insilato e farina di mais). Il test svolto in condizione mesofile (40°C), ha avuto la durata di circa 3 mesi durante la quale sono stati effettuati ripetuti campionamenti di digestato estratto dai 3 reattori per la verifica degli effetti del processo biologico sull'evoluzione del genere *Clostridium* e sulla eventuale formazione di forme patogene di clostridi.

### Linea 4

Nella seconda annualità è proseguito lo studio di processo con l'analisi di ulteriori campioni a base di frumento duro (*Triticum durum Desf.*) per ottenere sia un significativo abbattimento del contenuto in micotossine nel digestato, sia la massima resa in biogas del frumento e dei suoi derivati contaminati da micotossine. L'attività è stata svolta da CRPA e CREA- IT per valutare il comportamento in digestione anaerobica delle micotossine: deossivalenolo (DON), tossine T-2 e HT-2 (somma) e alternariolo soprattutto riguardo alla eventuale variazione dei diversi tipi di micotossina presenti nel substrato prima e dopo il completamento del processo di digestione e al tasso di abbattimento raggiunto da ciascuna di esse al termine del processo stesso. Lo studio è stato effettuato su substrati a base di frumento duro come materia prima e come prodotti di trasformazione in condizione di contaminazione naturale dei substrati stessi. Soltanto nel caso dell'alternariolo sono stati utilizzati anche substrati inoculati artificialmente con funghi micotossigeni. La misurazione della concentrazione delle diverse micotossine nei campioni da sottoporre a digestione è stata effettuata sia tramite analisi immuno-enzimatica sia tramite analisi cromatografica/spettroscopica, quest'ultima utilizzata anche per la determinazione analitica in fase di post-digestione.

I test BMP (Biochemical Methane Potential), condotti su campioni replicati dei diversi tipi di sfarinato sono state eseguiti in reattori batch su scala di laboratorio con il sistema di misura sviluppato dal CRPA , in condizioni mesofile e per la durata di 27 giorni, secondo la norma UNI EN ISO 11734. La produzione di biogas è stata misurata con metodo manometrico e la sua qualità (percentuale di di CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S) mediante analizzatore dei gas a infrarossi.



## 2. Risultati e deliverable

Parte delle attività sono ancora in corso ma in fase conclusiva. Di seguito la sintesi dei deliverable:

**Deliverable 5.7.1:** Gli obiettivi dell'attività sono focalizzati su (1) indagare sui fenomeni di formazione di stratificazione e sedimentazione in diverse tipologie di digestato, (2) realizzare un sistema da laboratorio per identificare e caratterizzare sedimenti e strati flottanti nel digestato, (3) definire indicazioni utili agli operatori degli impianti di biogas per una corretta gestione dei fluidi sia per la sezione di fermentazione che per la sezione di stoccaggio del digestato chiarificato finalizzato all'utilizzo agronomico.

E' stato realizzato un dispositivo da laboratorio per lo studio simultaneo dei fenomeni di flottazione e sedimentazione dei digestati degli impianti di biogas.

**Deliverable 5.7.2:** La sperimentazione ha come obiettivo quello di verificare eventuali effetti inibenti delle aflatossine sulla corretta funzionalità del processo di digestione anaerobica e le conseguenze sul processo biologico e sulla loro eventuale degradazione/inattivazione, verificandone il livello di abbattimento rispetto alla concentrazione iniziale. Lo studio è stato condotto mediante lo svolgimento di test nell'impianto di biogas sperimentale realizzato da CRPALab con alimentazione in continuo. Non si sono osservati effetti di inibizione del processo biologico e i risultati della produzione in biogas delle tesi con farine con alta contaminazione non sono significativamente differenti dal risultato ottenuto dalla tesi con contaminazione trascurabile (controllo). Non sono stati misurati effetti di accumulo come conseguenza del carico giornaliero di micotossine e la concentrazione di AFB1 misurata nei digestati è risultata inferiore a quella attesa. L'abbattimento misurato è risultato per tutte le tesi superiore al 90% della quantità caricata.

**Deliverable 5.7.4:** La sperimentazione ha verificato la produzione di biogas e biometano dalla degradazione anaerobica di sfarinati di frumento duro, naturalmente e/o artificialmente contaminati dalle micotossine sopra citate, per esaminarne l'eventuale influenza sul processo biologico. I test BMP (BiochemicalMethanePotential) sono stati condotti, in doppio, su diversi campioni di sfarinato di frumento duro.

I risultati ottenuti sono incoraggianti sia in merito al tasso di abbattimento delle micotossine nelle varie matrici esaminate che alla produzione di biogas. Per quanto riguarda in particolare gli sfarinati integrali di frumento duro l'abbattimento della concentrazione di DON è risultato compreso tra l'82% e il 100%, come valori medi dei campioni replicati, portando la contaminazione a livelli così bassi da essere considerati, forse, ai fini di un eventuale utilizzo del digestato (es.: fertilizzante) (Figura 1).

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

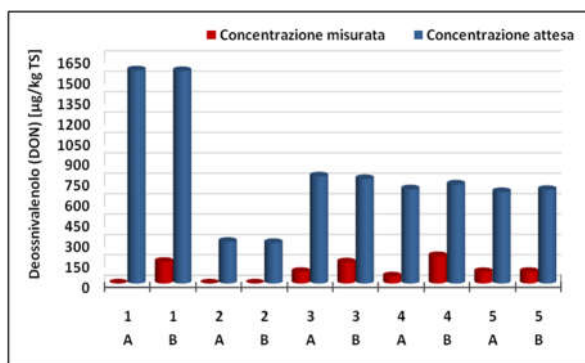


Figura 1– Confronto tra la concentrazione misurata e quella attesa di Deossinivalenolo (DON) nel digestato di sfarinato integrale di frumento duro.

Il potenziale metanigeno (BMP) medio ottenuto dai campioni analizzati (n = 5, replicati due volte) è stato di  $340 \pm 10,8 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$  di solidi volatili (SV) indicando nessun effetto significativo ( $p > 0,05$ ) dovuto alla presenza di DON sulla produzione di metano né sul processo biologico rispetto al valore medio ( $325 \pm 29,4 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{tSV}$ ; n=6) dei campioni con contaminazione trascurabile, non superiore a  $35 \mu\text{g}/\text{kg}$ .

I risultati relativi alla misurazione del potenziale metanigeno e all'abbattimento del DON nei campioni di sfarinato integrale di frumento duro sono stati presentati al 4th Biogas Science Conference.

Per quanto riguarda i risultati relativi al deossinivalenolo nei prodotti di trasformazione, alle tossine T-2 e HT-2 e alternariolo, i dati finora ottenuti, al momento in corso di acquisizione ed elaborazione, dimostrano un'azione efficace del processo di digestione in merito sia all'abbattimento delle stesse nel digestato sia alla produzione di biogas.

### 3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Per la linea 3, Clostridi e digestione anaerobica, ci sono ritardi da parte del laboratorio esterno incaricato di effettuare le analisi del sequenziamento dei 16S con NGS (next generation sequencing) con analisi tassonomica e avanzata sui campioni di biomasse e digestato, in quanto l'estrazione del DNA ha necessitato più tempo del previsto.

### 4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna richiesta

### 5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Nessuna attività svolta



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

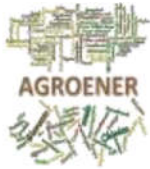
MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

### 6. Elenco pubblicazioni

Soldano M., Aureli G., Fabbri C., Piccinini S. 2018. "Anaerobic digestion of deoxynivalenol contaminated wheat: methane production efficiency and mycotoxin decrease in digestate". Atti 4th Biogas Science Conference, 17-19 settembre 2018, Torino, p.34.



**Task 5.8 Centro dimostrativo per la produzione aziendale di biogas e biometano e l'utilizzo in motorizzazioni sperimentali (gruppi elettrogeni, trattrici)**

Task leader: Daniele Pochi (CREA-IT)

Partecipanti:

Roberto Fanigliulo - UO CREA-IT, Ricercatore

Francesco Gallucci - UO CREA-IT.

**Abstract**

La task 5.8 ha l'obiettivo di realizzare un impianto dimostrativo di produzione di energia elettrica alimentato con una miscela di biogas e idrogeno. Tale sistema vuole valorizzare le caratteristiche del digestore a due stadi oggetto dell'attività della task 3.B.1 i cui prodotti sono biogas (al 60% di metano) e idrogeno. L'utilizzo di tali gas prevede un trattamento di upgrading del biogas per l'eliminazione della CO<sub>2</sub>, fino ad ottenere un gas con oltre il 98% di metano. La miscela costituita da tale gas e da idrogeno, sarà utilizzata in un generatore di corrente con sistema di alimentazione appositamente modificato. Lo studio servirà anche ad individuare la più corretta miscela biogas-idrogeno attraverso il monitoraggio del consumo, del rendimento energetico e della qualità delle emissioni.

**Linea 1: Realizzazione di un sistema per l'upgrading del biogas, in grado cioè di abbattere in maniera significativa il contenuto di CO<sub>2</sub> ed acqua, consentendone l'utilizzo diretto in azienda.**  
(Referente: Francesco Gallucci).

1. Attività svolta

Il sistema di upgrading del biogas a base di zeoliti è stato messo a punto ed è disponibile per l'attività della task. Contemporaneamente è stato anche messo a punto un processo per la produzione di idrogeno a bassa pressione.

2. Risultati principali

Il sistema di upgrading è in grado di produrre biogas con un elevato grado di purezza (oltre 98% di metano). L'idrogeno a bassa pressione potrà essere utilizzato nella formazione di miscele con biogas per alimentare un gruppo elettrogeno sperimentale.



**Linea 2: Realizzazione di un sistema in grado di utilizzare una miscela di bio-metano e bio-idrogeno come combustibile per la produzione di energia elettrica e termica (Referente: Daniele Pochi)**

1. Attività svolta

E' stata stipulata una convenzione di ricerca con il Dipartimento di Ingegneria – UniRomaTRE. Sono stati analizzati gli aspetti tecnici dell'impianto da realizzare ed è stata individuata la soluzione più rispondente alle esigenze del progetto consistente in un gruppo elettrogeno di piccola potenza (5 kW) con sistema di alimentazione convertibile a metano (biogas) e successivamente integrabile con iniezione di idrogeno.

2. Risultati principali

Con il supporto scientifico del Dipartimento di Ingegneria sono stati definiti tutti i dettagli e le caratteristiche degli elementi da utilizzare e sono state avviate le procedure per l'acquisto.

E' stato definito l'approccio metodologico alla base dell'attività sperimentale, concernente le modalità di formazione delle miscele da provare, il tipo di test da effettuare con il gruppo elettrogeno e i rilievi da svolgere, compresa l'analisi delle emissioni.





**Task 5.9 Organizzazione e archiviazione risultati trasferibili. Formazione, trasferimento partecipato delle conoscenze. Focus group.**

Task leader: Dott. Daniele Lolletti

**Linea 1 di attività: Organizzazione e implementazione della banca dati in ragione dei requisiti dell'intero progetto.**

Referenti: Dott. Daniele Lolletti, Dott. Alessandro Piscicelli, Dott. Corrado Lamoglie.

**Linea 2 di attività: Definizione dei requisiti e gestione di una piattaforma e-learning e di interazione 2.0**

Referenti: Dott. Alessandro Piscicelli, Dott. Daniele Lolletti, Dott. Corrado Lamoglie.

**Linea 3 di attività: Approfondimenti in presenza (Focus Group).**

Referenti: Dott. Corrado Lamoglie, Dott. Daniele Lolletti, Dott. Alessandro Piscicelli

**Abstract**

Le prime due linee di attività della Task 5.9 prevedono la realizzazione di strumenti informatici specifici di supporto per la raccolta, descrizione e organizzazione in archivi dedicati dei risultati prodotti dalla ricerca e la loro condivisione tramite appositi strumenti informatici.

L'analisi delle metodiche e degli strumenti per la raccolta e della modalità di visualizzazione dei risultati, già descritti nel primo report di attività, si basavano interamente sul coinvolgimento dell'Ufficio Sistemi Informativi (DA-7) del CREA e sull'utilizzo degli strumenti informatici a disposizione dell'Ente. La completa riorganizzazione dell'Ufficio DA-1, subentrato durante il secondo anno di attività del progetto ed il ricorso a strumenti informatici alternativi, ha determinato un profondo ripensamento degli strumenti utilizzabili dalla Task 5.9.

Pertanto, nel secondo anno di attività l'Unità operativa responsabile della Task 5.9 ha ritenuto necessario soffermare la propria attenzione solo sulla seconda linea di attività, lasciando lo sviluppo della prima linea di ricerca al momento in cui si disporranno di nuovi ed efficienti sistemi informatici. Come previsto e descritto nel report riferito alla prima annualità di attività, è stata implementata una specifica Comunità di Pratiche, il cui perfezionamento avverrà anche sulla scorta delle indicazioni specifiche che verranno presentate dagli utilizzatori della stessa.

La terza linea di attività è sequenziale alle prime due e sarà implementata quando le prime due saranno già a pieno regime.



## **1. Attività svolta**

### **Linea 2 di attività: Definizione dei requisiti e gestione di una piattaforma e-learning e di interazione 2.0\_Implementazione della Comunità di Pratiche AGROENER.**

Le Comunità di Pratiche del CREA (CdP CREA) hanno rappresentato un approccio operativo che l'Ente ha già collaudato attraverso l'attivazione di progetti dimostrativi sin dal 2010, e in cui sono state poste le basi per lo sviluppo di una sistema partecipativo di tipo bottom-up. Con tale approccio i diversi soggetti partecipanti, organizzati in gruppi di lavoro co-partecipato, collaborano per affrontare problematiche pratiche ed eventualmente trasferire soluzioni innovative già tradotte in risultati applicabili dalla ricerca CREA. L'esperienza delle Comunità di Pratiche già realizzate per alcuni settori produttivi e supportate da un'apposita procedura web, ha consentito di verificare quali siano le modalità più appropriate di verifica del fabbisogno di innovazioni, di calibrare gli studi dei ricercatori verso ambiti di maggior interesse delle imprese, di migliorare il dialogo fra tecnici e ricercatori e uniformare il linguaggio di condivisione.

L'attività condotta nel primo anno di attività del progetto, relativamente alla linea di attività 2 si è concretizzata nella implementazione di quanto previsto nel documento di analisi realizzato durante il primo anno di attività. Pertanto nella piattaforma informatica Moodle, già in uso da parte del CREA, è stata realizzata la specifica Comunità di Pratiche del progetto AGROENER.

## **2. Risultati e deliverable**

Per maggiori chiarimenti ed informazioni relativi alla Comunità di Pratiche (CdP Agroener) e ai principi di funzionamento della stessa, si faccia riferimento al documento "Descrizione della Comunità di Pratiche AGROENER" (D.5.9.2.2), allegato alla presente relazione.

## **3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**

Dal punto di vista delle attività pianificate, non si rilevano sostanziali scostamenti rispetto a quanto realizzato.

## **4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**

Non sono previste attività integrative o aggiuntive.



## **Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)**

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

### **5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**

Tali attività, come previsto dal Progetto e come già anticipato al paragrafo 1, saranno calibrate in ragione dei prodotti e attività realizzate dalle diverse Task.

### **6. Elenco pubblicazioni**

Non sono state fatte pubblicazioni.



## **Elenco completo delle pubblicazioni effettuate sul progetto**

### **Internazionali peer-reviewed**

1. Assirelli A., Caracciolo G., Cacchi M., Sirri S., Pallottino F., Costa C., 2018 "Evaluation of the Detachment Force Needed for Mechanical Thinning of Green Peach Fruits". *Sustainability* 2018, 10, 2291 10(7)
2. Assirelli A., Santangelo E., 2018 "An extractor for unloading the wet biomass stored in silo-bag" *Industrial Crop and Product* 123. 128-134.
3. Bardi L., 2018. "Production of bio-oils from microbial biomasses". In: R. Prasad (ed.), *Mycoremediation and Environmental sustainability, Fungal Biology*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018, 61-89
4. Bisaglia C., Brambilla M., Cutini M., Fiorati S., Howell M., 2018. "Methane/gasoline bi-fuel engines as a power source for standard agriculture tractors: development and testing activities". Accepted by *Applied Engineering in Agriculture* 34(2)365-375ISSN:0883-8542
5. Chiariotti A., Crisà A., 2018 "Bio-Hydrogen Production From Buffalo Waste With Rumen Inoculum and Metagenomic Characterization of Bacterial and Archaeal Community. *Front. Sustain. Food Syst.*"
6. Cianchetta S., Bregoli L., Galletti S., 2017. "Microplate-Based Evaluation of the Sugar Yield from Giant Reed, Giant Miscanthus and Switchgrass after Mild Chemical Pre-Treatments and Hydrolysis with Tailored *Trichoderma* Enzymatic Blends". *Applied biochemistry and biotechnology*, 183(3), 876-892. ISSN: 0273-2289
7. Colantoni A., Longo L., Gallucci F., Monarca D., 2016. "Pyro-gasification of hazelnut pruning using a downdraft gasifier for concurrent production of syngas and biochar". *Contemporary Engineering Sciences*, 9(27), 1339-1348.
8. Costa C., Biocca M., Pallottino F., Nardi P., Figorilli S., 2017. "Structure of the precision agriculture research in Italy from 2000 to 2016: a term mapping approach". *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 58: 643-648. ISSN: 2283-9216
9. Costa C., Figorilli S., Proto A.R., Colle G., Sperandio G., Gallo P., Antonucci F., Pallottino F., Menesatti.P., 2018 "Digital stereovision system for dendrometry, georeferencing and data management" *Biosystems Engineering*. ISSN: 1537-5110 (IF2017=2.132, Q2) 174, 126-133
10. Costa C., Taiti C., Zanetti M., Proto A., D'Andrea S., Greco R., Demattè L., Mancuso S., Cavalli R., 2017. "Assessing VOC emission by wood pellets using the PTR-ToF-MS technology". *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 58: 445-450. ISSN: 2283-9216
11. Faugno S., Cacchi M., Sirri A., Caracciolo G., Giovannini D., Quacquarelli I., Civitarese V., Assirelli A., 2017. "Mechanical thinnings of Apricots Fruitlets". *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 58, 259-264.ISSN:2283-9216



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

12. Faugno S., Quacquarelli I., Civitaresse V., Crimaldi M., Sannino M., Ricciardiello G., Caracciolo G., Assirelli A., 2017. "Two Steps Arundo Donax L. Harvesting in South Italy". CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, 58, 265-270. ISSN:2283-9216
13. Gallucci F., Longo L., Carnevale M., Santangelo E., Paolini V., Guerriero E.; (in fase di stesura). "Evaluation of VOCs produced from combustion of woodchips in a small CHP plant"
14. Garofalo P., Campi P., Vonella A.V., Mastroilli M., 2018 – "Application of multi-metric analysis for the evaluation of energy performance and energy use efficiency of sweet sorghum in the bioethanol supply-chain: A fuzzy-based expert system approach". Applied Energy 220, 313–324
15. Guerrieri M., Fedrizzi M., Antonucci F., Pallottino F., Sperandio G., Pagano M., Figorilli S., Menesatti P., Costa C., 2016. "An innovative multivariate tool for fuel consumption and costs estimation of agricultural operations". Spanish Journal of Agricultural Research, 14(4), e0209. eISSN: 2171-9292.
16. Guerriero E., Khalid A., Gallucci F., Carnevale M., Longo L., Cerasa M., Budonaro A., Perilli M., Rantica E., Frattoni M., Mosca S., Pareti S., Catrambone M., Paris E., Del Giudice A., Rotatori M., Centritto M.; (in fase di stesura) "Characterization of emissions from a straw-fed thermal power plant of wheat and rice straw"
17. Manici L.M., Caputo F., Rossi A., Topp A.R., Zago M., Kelderer M., 2018. "Thermal disturbance of fertile soils to search for new biological control options in strawberry crops affected by yield decline". Biological Control 126 (2018) 65–73
18. Manici L.M., Caputo F., Rossi A., Topp A.R., Zago M., Kelderer M., 2018. "A first survey on the health quality of soils in Martell valley with the perspective of implementing organic production of strawberries". Short Contributions 213-217
19. Pallottino F., Biocca M., Nardi P., Figorilli S., Menesatti P., Costa C., IN PRESS "Science mapping approach to analyze the research evolution on precision agriculture: world, EU and Italian situation" ON PRECISION AGRICULTURE.
20. Pallottino F., Menesatti P., Figorilli S., Antonucci F., Tomasone R., Colantoni A., Costa C., 2018 "Machine vision retrofit system for mechanical weed control in precision agriculture applications". SUSTAINABILITY 10(7): 2209.
21. Picchio R., Pignatti G., Marchi E., Latterini F., Benanchi M., Foderi C., Venanzi R., Verani S., 2018. "The Application of Two Approaches Using GIS Technology Implementation in Forest Road Network Planning in an Italian Mountain Setting". Forests 9, 277.
22. Salerno M., Gallucci F., Pari L., Zambon I., Sarri D., Colantoni A., 2017. "Costs-benefits analysis of a small-scale biogas plant and electric energy production". Bulgarian Journal of Agricultural Science, 23(3), 357-362.
23. Sallustio L., Pettenella D., Merlinia P., Romano R., Salvati L., Marchetti M., Corona P., February 2018. "Assessing the economic marginality of agricultural lands in Italy to support land use planning". Land Use Policy, 76, 526-534



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

24. Sallustio, L., Pettenella, D., Merlini, P., Romano, R., Salvati, L., Marchetti, M., Corona, P., 2018. "Assessing the economic marginality of agricultural lands in Italy to support land use planning". *Land Use Policy* 76, 525-534.
25. Zanetti M., Costa C., Greco R., Grigolato S., Ottaviani A., Cavalli R., 2017. "How wood fuels's quality relates to the standards: a class-modelling approach". *ENERGIES*, 10, 1455. ISSN 1996-1073.
26. Zanetti M., Greco R., Costa C. & Cavalli R., 2018. "Changes of particle size classification of wood chips according to the new standard rules for domestic use". *Eur. J. Wood Prod.* (2018) 76:805-807.

**Divulgative**

27. Assirelli A., Quacquarelli I., Caracciolo G., Santangelo E., 2017. "Estrattore di biomasse umide in silobag". *L'Informatore Agrario* 14, 61-64 ISSN:0020-0689
28. Assirelli A., Quacquarelli I., Caracciolo G., Santangelo E., 2017. "Prototipo di estrattore per biomasse umide in silobag". *Macchine Agricole Domani*, 5 maggio 2017, pp. 1-5.
29. Aureli G., 2017. "Uso energetico di substrati a base di frumento contaminato da micotossine". Presentazione orale al seminario "Mais: la cooperazione incontra la ricerca. Una giornata di approfondimento e confronto", Confcooperative Emilia Romagna, Bologna 15 Marzo 2017.
30. Cacchi M., Sirri S., Caracciolo G., Giovannini D., Assirelli A., 2016. "Pesco: diradamento meccanico, l'effetto sui fiori". *L'Informatore Agrario* 27, 36-39 ISSN:0020-0689
31. Civitarese V., Sperandio G., Acampora A., Santangelo E., Tomasone R., 2018. "Pioppo da SRF per produrre pellet. Caratterizzazione del materiale di 3 e 6 anni". *Sherwood N.* 232: 31-38
32. Civitarese V., Sperandio G., Acampora A., Santangelo E., Tomasone R., 2018. "Pioppo da SRF per produrre pellet". Caratterizzazione del materiale di 3 e 6 anni. *Sherwood Foreste ed alberi oggi* 232:31-34 ISSN:1590-7805
33. Pagano M., Tomasone R., Cedrola C., Sperandio G., Fedrizzi M., Assirelli A., Pochi D., Fanigliulo R., 2018. "RIPUNTATURA: IL PIEDE VIBRANTE, MIGLIORA LE PRESTAZIONI DEL SUOLO". *L'Informatore Agrario* 37/2018: p.68-71
34. Verani S., Calienno L., Pignatti G., Sperandio G., 2017. "Esbosco di legna da ardere a soma con trattore. Un caso di studio su produttività e costi". *Sherwood, foreste ed alberi oggi*, 230(7), 35-38. ISSN:1590-7805
35. Verani S., Sperandio G., Civitarese V., Spinelli R., 2017 "La meccanizzazione nella raccolta di piantagioni arboree da legno: produttività di lavoro e costi". 14: 237-246 *Forest@*

**Atti convegni e congressi**



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

36. Amalfi M., Palmieri F., Gallucci F., Guerriero E., 2017. "Indirect analysis of a moving grate furnace: flue gas moisture sensing and faulty condition on packed bed". EUBCE
37. Amalfi M., Palmieri F., Gallucci F., Guerriero E., 2017. "Mimo modelling of a moving grate furnace by finite impulse response filters". EUBCE
38. Assirelli A., Caracciolo G., Quacquarelli I., Santangelo E., 2017. "A new machine for unloading fresh biomass from silo-bag". 25th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden, pp. 289-293.
39. Assirelli A., Quacquarelli I., Caracciolo G., Dal Re L., 2017. "Innovative system for industrial hemp harvesting". 25th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden, pp. 294-297.
40. Assirelli A., Santangelo E., Caracciolo G., Brambilla M., Bisaglia C., Spinelli R., 2018. "TECHNIQUES FOR WHOLE-PLANT REMOVAL IN PEACH ORCHARD FOR ENERGY PURPOSE". Proceedings 26th European Biomass conference and Exhibition 14-17 may 2018 Copenhagen Denmark.
41. Brambilla M., Romano E., Cutini M., Fedrizzi M., Pagano M., Burchi G., Cacini S., Massa D., Terrosi C., Bisaglia C., 2018. "Effect of Bench Heating on Growing Medium Temperature and Heat Loss From a Greenhouse in Wintertime" AgEng conference July 8–12, 2018, Wageningen, the Netherlands.
42. Brambilla M., Romano E., Cutini M., Fedrizzi M., Pagano M., Burchi G., Cacini S., Massa D., Terrosi C., Bisaglia C., 2018. "Sensitivity Analysis of a Modified Equation for Greenhouse Energy Demand Assessment" AgEng conference July 8–12, 2018, Wageningen, the Netherlands.
43. Campi P., Navarro A., Modugno F., Mastroianni M., 2017. "Energy yield of BioMAss in Sorghum grown under deficit irrigation". Atti del XX Convegno AIAM e XLVI Convegno SIA Milano 12 - 14 settembre 2017. 52-54
44. Ceotto E., Castelli F., 2017. "Response of the Energy Grass Giant Reed to Three Harvest Strategies: Crop Growth Rate and Dry Matter Yield". Proceedings at 25th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden, pagg 283 - 285. ISBN 978-88-89407-17-2, ISSN 2282-5819
45. Ceotto E., Cianchetta S., Galletti S., In stampa. "Summer harvests Greatly Increase the Nitrogen Uptake of the Energy Grass Giant Reed". (Proceedings of 26th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2018)
46. Chiariotti A., Calì M., 2017. "Livestock byproduct into energy: hydrogen". Proceedings of 17th International Ramiran Conference Sustainable utilization of manure and residues in Agriculture. Wexford (IR). 4-6 September 2017.
47. Chiariotti A., Concetti S., Calì M. and Crisà A., 2018. "Bio-hydrogen and bio-methane production from buffalo wastes: research activity at CREA Research Centre for Animal Production and Aquaculture – Monterotondo". February 1 - 4 2018. Proceedings IX ASIAN BUFFALO CONGRESS. Hisar (India).





---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

48. Chiariotti A., M. Calì., 2018 “Buffalo rumen as inoculum for bio-hydrogen production”. February 1-4 2018. Proceedings IX ASIAN BUFFALO CONGRESS. Hisar (India)
49. Cianchetta S., Ceotto E., Galletti S., 2018. “Giant reed and milk thistle sugar yield after alkaline pre-treatment and enzymatic hydrolysis in comparison with standard wheat straw”. 14-17 maggio 2018, Copenhagen, pp 1169-1173. Atti del 26th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2018.
50. Cianchetta S., Galletti S., 2017. “ALKALI PRE-TREATMENT AND ENZYMATIc HYDROLYSIS OF ARUNDO DONAX FOR SINGLE CELL OIL RODUCTION”. 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT – ICEEM09 6 - 9 SEPTEMBER 2017 BOLOGNA, ITALY.
51. Cianchetta S., Galletti S., 2017. “Alkali pretreatment and enzymatic hydrolysis of Arundo donax for single cell oil production” Bologna, 6-9 settembre 2017. Pp. 371-372. Atti del 9th International Conference on Environmental Engineering and Management (ICEEM).
52. Cianchetta S., Nota M., Galletti S., 2017. “Biological activity of alkali pre-treated Arundo donax extract towards different filamentous fungi”. Poster al XXII Convegno nazionale Società Italiana di Patologia Vegetale - SIPaV. Piacenza 4-6 ottobre. Rivista di patologia vegetale Vol 99 S43-S44, Ottobre 2017.
53. Cianchetta S., Vasmara C., Galletti S., Orsi A., Marchetti R., 2018. “Effect of alkaline pre-treatment of giant reed biomass on biogas production”. ELB 2018, Reims 26-29 giugno 2018.
54. Colantoni A., Gallucci F., Monarca D., Cecchini M., Proto A.R., Longo L., 2017. “Characterization of biochar obtained from pyro-gasification of Jatropha Curcas residues through an updraft reactor” AIIA Conference.
55. Costa C., Biocca M., Pallottino F., Nardi P., Figorilli S., 2017. “Structure of the precision agriculture research in Italy from 2000 to 2016: a term mapping approach”. Book of Abstracts of the XXXVII CIOSTA & CIGR Section V Conference, Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems, 13-15 June, Palermo, Italy, 153.
56. Costa C., Taiti C., Zanetti M., Proto A., D’Andrea S., Greco R., Demattè L., Mancuso S., Cavalli R., 2017. “Assessing VOC emission by wood pellets using the PTR-ToF-MS technology”. Book of Abstracts of the XXXVII CIOSTA & CIGR Section V Conference, Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems, 13-15 June, Palermo, Italy, 105.
57. Cutini M., Brambilla M., Bisaglia C., 2018. “Tractor Drive Line Efficiency Evaluation taking into account Power Lost in Slippage”. AgEng conference July 8–12, 2018, Wageningen, the Netherlands.
58. Fantappiè M., Costantini E.A.C., 2018. “Elaborating and mapping Italian soil typological units and their properties on a 500 m grid”. Abstract of the European Society for Soil Conservation congress, Imola, 6-8 Giugno 2018, p 64.
59. Gallucci F., Longo L., Carnevale M., Santangelo E., Paolini V., Guerriero E.; (in fase di stesura) “Evaluation of VOCs produced from combustion of woodchips in a small CHP plant”.



---

**Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018**

60. Gallucci F., Longo L., Santangelo E., Guerriero E., Paolini V., Carnevale M., Colantoni A., Tonolo A., 2017. "Assessment of syngas produced by gasification with air of vine prunings through a downdraft reactor". EUBCE.
61. Gallucci F., Pari L., Longo L., Carnevale M., Santangelo E., Colantoni A., Paolini V., Guerriero E., Tonolo A., 2017. "Assessment of organicmicropollutants (PCDD/Fs and PCBs) from biomasscombustion in a small chp facility" European Biomass Conference and ExhibitionProceedings, (26thEUBCE)
62. Gallucci F., Salerno M., Guerriero E., Amalfi M., Palmieri F., 2017. "Research facility assessment for biomass combustion in moving grate fornace". EUBCE.
63. Guerriero E., Khalid A., Gallucci F., Carnevale M., Longo L., Cerasa M., Budonaro A., Perilli M., Rantica E., Frattoni M., Mosca S., Pareti S., Catrambone M., Paris E., Del Giudice A., Rotatori M., Centritto M.; (in fase di stesura). "Characterization of emissions from a straw-fedthermal power plant of wheat and ricestraw".
64. Manici L.M., Caputo F., Ceotto E., 2018. "Can Digestate From Biogas Production Improve Soil Suppressiveness And Support Crop Yield?". Proceedings of the XLVII Conference of the Italian Society for Agronomy. University of Palermo – Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali – Complesso Monumentale di San Pietro. Marsala (TP) 12-14 Settembre 2018
65. Manici L.M., Rossi A., Caputo F., Topp A.R., Zago M., Kelderer M., 2018. "A first survey on the health quality of soils in Martell valley with the prospective of implementing organic production of strawberries". February 19 to 21, 2018. pp. 213-217. Proc. 18th Eco Fruit Conference University of Hohenheim (Germany)
66. Menesatti P., Bisaglia C., Ceotto E., Buttazzoni L., Pochi D., Gallucci F., Cecchini C., Ripa C., Antonucci F., 2017. "Energy from agriculture: sustainable innovations for the bio-economy" (AGROENER project). Poster presentation, Book of Abstracts of the XXXVII CIOSTA & CIGR Section V Conference, Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems, 13-15 June, Palermo, Italy, 130.
67. Pagano M., Santangelo E., Acampora A., Guerrieri M., Cedrola C., Sperandio G., Tomasone R., Gallucci F., Caracciolo G., Assirelli A., 2018. " EXPLOITATION OF PRUNING RESIDUES ALONG WITH BIOLOGICAL CONTROL: A CASE STUDY FOR SWEET CHESTNUT (Castaneasativa, MILL.) ORCHARDS IN CENTRAL ITALY". Proceedings 26th European Biomass conference and Exhibition 14-17 may 2018 Copenhagen Denmark
68. Paolini V., Petracchini F., Lo Piano C., Longo L., Colantoni A., Carnevale M., Gallucci F., 2017. "Tar removal from syngas with natural zeolites from tuffs: wet scrubbing and catalytic cracking" EUBCE
69. Petracchini F., Liotta F., PaoliniV., Perilli M., Cerioni D., Gallucci F., Carnevale M., Bencini A., 2017. "Multi-stage semi-dry anaerobic digestion of msw and cattle manure improved by natural zeolites". EUBCE.
70. Soldano M., Aureli G., Fabbri C., Piccinini S. "Anaerobic digestion of deoxynivalenol contaminated wheat: methane production efficiency and mycotoxin decrease in digestate". Atti 4th Biogas Science Conference, 17-19 settembre 2018, Torino, p.34.



## Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (AGROENER)

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

---

### Relazione progettuale 2° anno – giugno 2017 – giugno 2018

71. Sperandio G., Civitarese V., Pagano M., Fedrizzi M., Tomasone R., Santangelo E., Biocca M., Costa C., Gallucci F., Verani S., Pignatti G., Mughini G., 2017. "UNA MICROFILIERA DI PRODUZIONE DI CIPPATO E PELLETT PER AUTOCONSUMO ENERGETICO". Poster alla FIERA NAZIONALE AGRALIA – AGRICOLTURA & AMBIENTE, Sora (FR), 10-12 marzo 2017.
72. Terrosi C., Cacini S., Massa D., Fedrizzi M., Costa C., Cutini M., Brambilla M., Burchi G., 2018. "Valutazione di un sistema innovativo di riscaldamento basale per la coltivazione invernale in serra di piante orticole" Acta ItalyHortus XII giornate scientifiche SOI. Bologna 19-22 giugno 2018.
73. Tomasone R., Pagano M., Sperandio G., Fedrizzi M., Civitarese V., Assirelli A., 2017. "RISPARMIO ENERGETICO E SISTEMI DI PRECISIONE NELL'IRRIGAZIONE IN AGRICOLTURA". Poster alla FIERA NAZIONALE AGRALIA – AGRICOLTURA & AMBIENTE, Sora (FR), 10-12 marzo 2017.
74. Verani S., Pignatti G., Sperandio G., 2017. "Valorizzazione delle biomasse forestali residuali: primi risultati del progetto Agroener". Poster al XI Congresso nazionale SISEF, 10-13 Ottobre, CNR Centro Congressi P.le Aldo Moro - Roma.
75. Verani S., Tomaiuolo M., Menta F., Pignatti G., 2018. "Utilizzazioni legnose e biodiversità in boschi peri-urbani". XII Convegno Nazionale Biodiversità, Ambienti, Salute. Teramo 13-15 Giugno 2018. Book of abstracts, p. 278 (Poster).