

Energia dall'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia

MiPAAF DD n 26329 del 1 aprile 2016

RELAZIONE SINTETICA ATTIVITA' 3° ANNO

Periodo di riferimento: 09/06/2018 – 09/06/2019



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.....	19
Task 1.4 Sviluppo e testing sperimentale di algoritmi per la stima efficiente dei consumi delle lavorazioni agricole (ettaro-coltura)	27
Task 1.5 Agricoltura di precisione come tool di efficientamento energetico, ambientale ed economico .	32
Task 1.6 Risparmio energetico nell'irrigazione anche attraverso sistemi di precisione	37
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	45
Task 1.8 Riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento delle serre	51
WP2: Sviluppo della filiera delle biomasse solide agroforestali.....	55
Task 2.1 Sistemi di compattamento per biomasse residuali.....	59
Task 2.2 Colture e tecniche innovative per la produzione di bioenergia	67
Task 2.3 Valorizzazione delle biomasse lignocellulosiche per la produzione di energia termica	77
Task 2.4 Valorizzazione delle biomasse forestali residuali.....	82
Task 2.5 Recupero di residui lignocellulosici da gestione del verde urbano.....	89
Task 2.6 Potenzialità produttiva e servizi ambientali di colture da energia su suoli marginali.....	94
WP 3: Produzione di biogas negli allevamenti	107
Task 3.1 Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica	114
Task 3.2 Produzione d'inoculi per digestori anaerobici	120
Task 3.3 Nuovo prototipo di digestore a due stadi	125
Task 3.4 Impatto dei biodigestati sulle comunità microbiche sui suoli agrari	130



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Task 3.5 Valutazione dell'efficacia agronomica deidigestati anaerobici e loro valorizzazione per l'uso agricolo	137
Task 3.6 Utilizzo del pastazzo di agrumi e di altre biomasse residuali tipiche mediterranee come matrici alternative per la produzione di biogas.....	143
WP4: Bioraffinerie integrate in cicli produttivi agroalimentari.....	159
Task 4.1 Idrolizzati enzimatici a basso tenore di azoto e di inibitori da biomassa lignocellulosica per la filiera del biodiesel di II generazione.....	161
Task 4.2 SCO (Single Cell Oils) da scarti agroalimentari per biodiesel e biolubrificanti	168
Task 4.3 Valutazione di colture oleaginose non alimentari per l'autoproduzione di biocarburanti e/o lubrificanti nei trattori ed in altri utilizzi agricoli	170
Task 4.4 Valutazione sperimentale dell'attitudine di oli "bio-based" all'utilizzo sulle macchine agricole per ridurre l'impatto dei lubrificanti sull'ambiente	176
WP 5: Realizzazione impianti sperimentali, dimostrazioni e divulgazione.	180
Task 5.1 Dimostrazione e divulgazione sull'uso della biomassa da piantagioni dedicate e da formazioni forestali di prossimità territoriale	182
Task 5.2 Produzione dimostrativa di pellet su piccola scala per la valorizzazione della biomassa di diversa origine.....	191
Task 5.3 Verifica della fattibilità del recupero di biomasse erbacee per impianti dimostrativi a biogas..	198
Task 5.4 Sistema innovativo per la valorizzazione agricola del digestato	209
Task 5.5 Innovazione, dimostrazione e divulgazione della qualità del pellet	211
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	215
Task 5.7 Sistemi dimostrativi per la produzione di biogas da prodotti derivati contaminati da micotossine	226
Task 5.8 Centro dimostrativo per la produzione aziendale di biogas e biometano e l'utilizzo in motorizzazioni sperimentali (gruppi elettrogeni, trattrici)	230
Task 5.9 Organizzazione e archiviazione risultati trasferibili. Formazione, trasferimento partecipato delle conoscenze. Focus group.	233



WPO: Coordinamento

WP Leader: Paolo Menesatti

Task 0.1: Coordinamento

Task Leader: Paolo Menesatti

Referente: Mariangela Salerno

Abstract

Il monitoraggio del percorso progettuale attraverso il Coordinamento anche in questo terzo anno di attività si è concluso positivamente, sia dal punto di vista tecnico-scientifico che amministrativo-finanziario. Varie attività hanno permesso l'Ente finanziatore e i vari partecipanti al progetto Agroener (wp leader, task leader e gruppi di ricerca) di interloquire e partecipare attivamente scambiando informazioni di tipo organizzativo, scientifico, divulgativo e amministrativo - finanziario sia all'interno che all'esterno del progetto. Sono stati presentati i risultati della ricerca e divulgati attraverso giornate dimostrative, partecipazione a convegni, workshop, seminari e incontri. Il sito web appositamente predisposto e costantemente aggiornato mette in evidenza gli eventi, le attività, i risultati e tutto ciò che riguarda il progetto (documentazione e relativa modulistica).

1. Attività svolta

L'attività di coordinamento, nel terzo 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 (EIMA International 2018 – Esposizione Internazionale di macchine per l'Agricoltura e il Giardinaggio. Workshop EIMA Campus "meccanizzazione forestale" organizzato a AIIA, intervento dal titolo "Recente esperienza con Microsoft in merito ad applicazioni della blockchain per il settore forestale") (P. Menesatti). 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



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

divulgazione e disseminazione dei risultati è stata realizzata con seminari, workshop, convegni e soprattutto con pubblicazioni scientifiche e divulgative. Inoltre, si è svolto a metà durata progetto un evento di particolare rilievo riguardante la presentazione dei risultati in stretta aderenza agli obiettivi perseguiti.

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: EIMA International 2018;

27th European Biomass Conference and Exhibition. 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.

Giornata dimostrativa dedicata alle agrobioenergie: "Innovazioni per la filiera biomasse e l'efficiamento energetico in agricoltura" con presentazione dei risultati dell'attività del terzo anno, presso CREA-IT Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari – Via della Pascolare 16, Monterotondo (ROMA), 26 Giugno 2019.

Giornata divulgativa dedicata alla efficienza della digestione anaerobica: "Da liquami suinicoli a inoculi per biogas", presso CREA-Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura – Sede di Modena, Via Beccastecca 345, San Cesario sul Panaro (MO), 19 Settembre 2019.

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



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

WP leader: Carlo Bisaglia (CREA-IT)

Il principale obiettivo del presente WP è quello di migliorare l'efficienza dei processi di produzione. In particolare, il WP1 intende individuare azioni tese alla riduzione dell'uso di input per unità di output. In altre parole, lo scopo principale delle azioni di ricerca svolte nelle diverse tasks è quello di migliorare la produttività dei processi attraverso l'individuazione di nuove agrotecniche: "produrre di più con meno" è il concetto che sta alla base dell'ipotesi sull'"intensificazione sostenibile" i cui presupposti sono, tuttavia, ancora da dimostrare pienamente. Alcune recenti ricerche, infatti, iniziano a porre il dubbio che l'efficienza sia l'unico parametro per rendere sostenibili i processi produttivi. Ad esempio, l'accresciuta efficienza dei motori a combustione interna dei moderni trattori non ha fatto diminuire i consumi globali di combustibile poiché, nel frattempo, è aumentata la loro potenza e dimensione. In altre parole, l'aumento dell'efficienza dei processi sembrerebbe postulare il conseguente aumento dei consumi energetici introducendo un effetto "rebound" che, di fatto, a livello globale riduce o vanifica gli effetti benefici della nuova tecnologia. Un altro esempio potrebbe essere individuato nell'utilizzo di lampade led la cui maggior efficienza rispetto alle lampade a incandescenza ne ha fatto espandere l'utilizzo oltre alla semplice sostituzione, aumentando di fatto i consumi globali di energia. Appare, quindi, sempre più chiaro come l'aumento dell'efficienza – pur essendo un presupposto necessario – non sia sufficiente a garantire la sostenibilità dei processi produttivi anche agricoli poiché sarà necessario progettare processi che portino ugualmente ad una reale riduzione dei consumi energetici globali. Sembra quindi necessario introdurre il nuovo concetto di "sufficienza". Ciò appare chiaramente in un recente rapporto commissionato dalla Commissione permanente della Commissione Europea per la ricerca agricola (SCAR 2011, 3rd SCAR foresight exercise: Sustainable Food Consumption and Production in a Resource-Constrained World. Brussels: Standing Committee on Agricultural Research, Foresight Expert Group) in cui si sottolinea l'importanza di focalizzare le ricerche anche sulla riduzione dei livelli assoluti di consumo senza i quali ogni sforzo sembra, a lungo termine, destinate a non produrre i risultati attesi (vedi anche: EEB 2019, Decoupling debunked. Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability. European Environmental Bureau, eeb.org/library/decoupling-debunked).

In tale contesto, il WP1 nel 3° anno di attività oltre ad aver proseguito le azioni ormai ben delineate (efficienza dei trattori agricoli, utilizzo di carburanti di ultima generazione - in particolare biometano – automazione, modellazione della stima dei tempi di lavoro, agricoltura di precisione articolata in diverse azioni di ricerca come meglio dettagliato nei paragrafi successivi) sta cercando di orientare i risultati delle ricerche considerando anche il possibile contributo che essi possano portare non solo all'incremento dell'efficienza dei processi, ma anche ad una riduzione significativa degli input,



compatibilmente con il concetto di “sviluppo sostenibile” che dovrà cercare di risolvere, nelle sue applicazioni pratiche anche agricole, il dilemma tra l’aumento della sola “efficienza” e le limitazioni dettate dalla “sufficienza” dettata dalla finitezza delle risorse disponibili.

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, l'utilizzo dei trattori e delle relative operatrici di un modello di azienda cerealicolo-zootecnica. L'attività del terzo anno è proseguita nella definizione di modelli semplificati per la valutazione del rendimento energetico di un trattore agricolo approfondendo i temi legati al rendimento della trasmissione e degli pneumatici. In particolare, i risultati degli anni precedenti sono stati estesi al comportamento su campo. È risultato pertanto necessario poter disporre di algoritmi che consentissero di prevedere la forza di trazione di un trattore e la possibilità di ottimizzarne l'efficienza in termini di consumo di combustibile. Sono ovviamente presenti modelli in letteratura che consentono il calcolo della forza di trazione ma richiedono il rilievo di numerosi parametri, fortemente customizzati, e non sono comunque offerti in una forma predisposta alla valutazione dell'efficienza di trazione. Sono stati quindi elaborati e validati algoritmi semplificati per il calcolo della forza di trazione di un trattore su terreno in funzione dello slittamento e si è approfondito il ruolo dello pneumatico. In particolare, nel caso degli pneumatici, si è dimostrato che con semplici rilievi geometrici delle impronte è possibile prevedere la trazione del trattore.

1. Attività svolta

Al fine di valutare l'efficienza in trazione di un trattore agricolo occorre stimare i rendimenti dei parametri che vi concorrono. In particolare, questo studio non si basa sull'efficienza del motore, fra l'altro facilmente misurabile con metodologie normative e già ampiamente analizzata in letteratura, ma su ciò che avviene a valle di esso. Di conseguenza è fondamentale un'analisi della trasmissione, dell'interazione degli pneumatici con il suolo, dell'operatrice accoppiata e, solo a questo punto dell'utilizzo del motore. Tuttavia, determinare l'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 complesso. Tale rendimento varia ad ogni marcia del cambio di velocità e/o ad ogni velocità di avanzamento nel caso di trattori a variazione continua. Inoltre, l'efficienza in trazione è funzione dello slittamento degli pneumatici. A tal fine 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.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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 presa di potenza, fosse la massima disponibile. Sulla base di quanto descritto, l'algoritmo atteso avrebbe dovuto presentarsi come in Eq.1:

$$P_{db}(kW) = \alpha \cdot P_{PTO}(kW) - \beta \cdot P_{vd}(kW) - P_s(kW) \quad (1)$$

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);
- P_s è la potenza persa per slittamento.

Durante la prima fase del progetto tali ipotesi sono state confermate ed hanno condotto all'equazione di regressione ($R^2=0.99$, Eq. 2):

$$P_{db} = 0.918 \cdot P_{PTO} - 0.026 \cdot W \cdot s - 0.009 \cdot P_{PTO} \cdot \% \quad (2)$$

Ciò significa che per sviluppare un primo modello da considerare durante le lavorazioni del terreno è possibile adottare 0.918 come rendimento per la trasmissione e 0.026 come coefficiente di resistenza al rotolamento. Tali valori sono risultati in linea con lo standard ASAE D497.7, 2011. Inoltre, tale equazione dimostra come sia possibile considerare la potenza persa per slittamento pari alla percentuale di slittamento, difatti il coefficiente 0.009 conferma come il 20% di slittamento corrisponda al 18% di potenza perduta per lo stesso.

L'equazione 1 ha costituito la base su cui estendere la ricerca alla dinamica della trazione del trattore su campo. Pertanto, durante il terzo anno di attività è stata elaborata una funzione che consentisse di ricavare la forza di trazione di un trattore su campo in funzione del peso e dello slittamento.

A tal fine sono stati elaborati i dati di 84 test di trazione condotti con differenti trattori, pneumatici e slittamenti. 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 (3):

$$Slip(\%) = f[D(daN)/W(kg)] \quad (3)$$

dove:

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

Con tali ipotesi è stato possibile elaborare un algoritmo che tenesse conto della potenza persa alla trasmissione, per slittamento e per resistenza all'avanzamento in condizioni di trazione su campo. Da tale modello risulta immediato elaborare i consumi di combustibile e la relativa efficienza di lavorazione.



Fig. 1: Esempio di una prova di trazione su campo

Inoltre, 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. I rilievi svolti negli anni precedenti hanno consentito di dimostrare che l'analisi di parametri geometrici delle impronte degli pneumatici agricoli su un substrato deformabile, quindi impronte a 3 dimensioni, consentono di prevederne la forza di trazione a diversi valori di slittamento.

2. Risultati e deliverable

Il termine considerato per l'analisi della forza di trazione su campo è la net traction (NT), definita come la forza parallela alla direzione di avanzamento sviluppata dall'operatrice al gancio e trasferita al veicolo. Il coefficiente di trazione viene ottenuto dividendo tale termine per il carico dinamico del veicolo (W_d), definito come la forza normale agente sulla superficie su cui il veicolo sta operando. Tale forza è la somma del carico statico, ad esempio il peso del trattore, e di ogni forza addizionale, quali i trasferimenti di carico. Tale coefficiente risulta funzione dello slittamento.

Il risultato è un'equazione di secondo grado riportata nella forma schematica dell'Eq. 4

$$\frac{NT}{W} = a + b \cdot \% - c \cdot \%^2 \quad (4)$$

I coefficienti verranno riportati nella prossima relazione in quanto fanno parte del paper Cutini et al., 2019a, attualmente in revisione.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

L'eq. 4 ($R^2 = 99.6\%$) è stata sviluppata tenendo in considerazione i valori medi di sei livelli di slittamento, la deviazione standard per ogni slittamento è risultata mediamente dello 0.044% e l'RMSE dello 0.046 %. A questo punto al fine di valutare il consumo specifico, indice dell'efficienza, inteso come grammi di gasolio per kWh utile al gancio, è necessario conoscere la potenza richiesta al motore. A tal fine è sufficiente mettere in relazione l'eq. 1 con l'eq. 4. A tal fine è possibile considerare le relazioni riportate in Eq. 5.

$$P_{db} = F_{db} \cdot s = NT \cdot s = W \cdot (NT/W) \cdot s \quad (5)$$

Di conseguenza con il semplice passaggio indicato nell'eq. 6

$$P_{db} = W \cdot (NT/W) \cdot s \quad (6)$$

Lo sviluppo analitico è riportato nella pubblicazione citata. Tramite l'algoritmo sviluppato è possibile ottenere le condizioni del lavoro per cui risulti massima l'efficienza al gancio. Basandosi sulla simulazione, i valori di slittamento che identificano la migliore efficienza sono del 9%. Il limite di questo valore è dato dalla resistenza al rotolamento sul campo. Questa considerazione appare valida sia per i lavori pesanti come l'aratura sia per i lavori leggeri. Un dato di pratica applicazione è ad esempio che la massa del trattore da adottare deve essere pari a 3,4 volte la forza richiesta al gancio. Tuttavia, maggiore è la massa del trattore, maggiore è la resistenza all'avanzamento. Si deve comunque considerare che la diminuzione dello slittamento sotto il valore ideale del 9% ha un basso impatto sul consumo di carburante, mentre aumentando la resistenza al rotolamento da 0,06 a 0,08 (questi dati possono essere considerati entrambi realistici in condizioni di campo) si ottiene una perdita di efficienza del 5% che è paragonabile a mantenere costante lo 0,06 come coefficiente di avanzamento ed adottare uno slittamento del 17%. In pratica, l'adozione di un trattore sottodimensionato come massa e compensato con zavorre, bassa pressione degli pneumatici ed in condizioni di 20% di slittamento potrebbe comportare un'efficienza inferiore del 20% rispetto ad una configurazione ideale.

Inoltre, è da sottolineare l'attenzione richiesta con lavori su terreno soffice (ad esempio l'erpatura dopo l'aratura). In effetti, anche se la forza di trazione su di suolo soffice non è un problema, in termini di slittamento, l'operatore potrebbe essere indotto ad aumentare la velocità di avanzamento che aumenterà, di conseguenza, il consumo di carburante dovuto alla resistenza all'avanzamento che, in queste condizioni, potrebbe risultare anche di 0,12.

L'algoritmo è stato verificato su un trattore 4WD con potenza massima di 73 kW alla presa di potenza. Il trattore è stato sottoposto ai rilievi alla presa di potenza, alla prova di trazione su pista in asfalto e su campo.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Come accennato nelle precedenti relazioni si è proseguito nello studio dell'interazione tra pneumatico e suolo agrario. I risultati dello studio confermano l'ipotesi che sia possibile correlare la forma dell'impronta degli pneumatici con alcune caratteristiche prestazionali degli stessi, in questo caso la forza di trazione. I risultati mostrano che il parametro più importante è la lunghezza dell'impronta: aumentando la lunghezza, la trazione aumenta di conseguenza. Tuttavia, la profondità dell'impronta è risultata molto importante: in generale, deve essere minore possibile, ma il suo valore ideale è correlato alla lunghezza dell'impronta in modo che aumenti all'aumentare di quest'ultima. Il volume dello pneumatico penetrato nel terreno deve essere il minore possibile, a causa della sua correlazione con l'energia persa sia per il maggior volume di terreno deformato, sia per l'avanzamento. Questi risultati spiegano anche perché la scelta di pneumatici più larghi non comporti sempre un aumento della trazione: infatti, esiste una combinazione ottimale di dimensioni dello pneumatico correlata alla pressione dei pneumatici ed alla massa del trattore.

Queste proprietà, possono essere immediatamente valutati con una impronta a tre dimensioni (3D). Inoltre, il fatto che il volume dello pneumatico penetrato nel terreno e la profondità massima dell'impronta risultino significativamente correlati alla trazione conferma che l'impronta 3D fornisce più informazioni dell'impronta 2D.

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

6. Elenco pubblicazioni



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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

Cutini, M.; Brambilla, M., Bisaglia, C., Pochi D., Fanigliulo R. 2019a. *Efficiency of tractor drawbar power taking into account soil-tire slippage*. Biosystems Engineering for sustainable agriculture, forestry and food production, International Mid-Term Conference 2019 (AIIA). Matera, September 12-13, 2019. **Under review**

Cutini M., Costa C., Brambilla M., Bisaglia C., 2019b. *Prediction of the traction performance of agricultural tires from 3D footprint shape*. Journal of Terramechanics, JTerra_2019_57, **Under review**



Task 1.2 Trattori ad alimentazione esclusiva o combinata a biometano

Task leader: Carlo Bisaglia

Abstract

Oltre alla disponibilità di trattori alimentati a biometano (vedi relazione 2 anno), stanno iniziando ad apparire altre macchine agricole alimentate a metano (e, quindi, potenzialmente, a biometano) tanto da poter iniziare a delineare linee di meccanizzazione quasi completamente alimentate con questo tipo di carburante. Al fine di conoscere il livello di interesse nei confronti di questo settore, è stata immediatamente effettuata un'indagine conoscitiva presso alcuni costruttori e/o trasformatori di macchine agricole ed è stato sorprendentemente possibile individuare le seguenti attrezzature: un carro miscelatore semovente alimentato a metano ed un caricatore telescopico in fase di trasformazione per l'alimentazione a metano. Si può pertanto iniziare ad ipotizzare linee di meccanizzazione composte da: trattori multifunzione per il trasporto di prodotti agricoli, caricatori telescopici per il carico/movimentazione di prodotti agricoli e carri miscelatori per la preparazione e distribuzione di razioni zootecniche. Ipotizzando che tali attrezzature fanno tutte capo ad aziende cerealicolo-zootecniche, appare evidente l'opportunità, per le numerose aziende zootecniche produttrici di biogas, di prendere in considerazione una parziale sostituzione del proprio parco macchine con attrezzature alimentate da carburante autoprodotta. Inoltre, questo utilizzo potrebbe essere un'opportunità di sviluppo sia per i costruttori tradizionali, sia per i trasformatori di macchine; per questi ultimi potrebbe esistere un mercato molto interessante qualora i costruttori non fossero interessati a progettare direttamente i modelli a metano per lo scarso numero di macchine attualmente ipotizzabile nel breve-medio periodo (da 1 a 4 per ogni impianto di produzione di biometano).

1. Attività svolta

Alla fiera zootecnica di Cremona, edizione 2018, è stato presentato un prototipo di carro miscelatore semovente alimentato a biometano denominato Rotomix Eco 5. È stato immediatamente contattato il costruttore (Bravo Srl, Savigliano CN) e concordato un incontro per valutare opportunità di collaborazione. Durante l'incontro è emerso che il costruttore si appoggia ad un trasformatore di macchine (agricole e industriali) per l'esecuzione della trasformazione a metano (Ecomotive Solutions Srl, Serralunga di Crea AL). Pertanto, anche il trasformatore è stato contattato e coinvolto nel progetto. Da un incontro con il trasformatore è emerso che è in atto un'altra

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

trasformazione riguardante un caricatore telescopico di produzione nazionale (Merlo SpA, S. Defendente di Cervasca CN). Non sono state, all'epoca, evidenziate altre realizzazioni da parte nei costruttori nazionali. A livello italiano emerge, quindi, la seguente realtà: esistono prodotti OEM (original equipment manufacturer), cioè concepiti senza intermediari da aziende che li realizzano e ne offrono garanzia diretta (è il caso, ad esempio di New Holland che produce direttamente il trattore a metano provato nei due anni precedenti del progetto AGROENER). Inoltre, potrebbe avviarsi un mercato di trasformatori in grado di apportare le modifiche necessarie ad alimentare una macchina con metano, rispettando le specifiche del progetto originario (ad esempio: massa, potenza, ecc.), ma intervenendo autonomamente e offrendo una propria garanzia sulla trasformazione effettuata. Sulla base di questa interessante "scoperta" ed in considerazione che il caricatore telescopico era ancora in fase di trasformazione, si è organizzata una prima campagna sperimentale sul carro miscelatore in collaborazione con il costruttore ed il trasformatore.

Il carro miscelatore era il Rotomix 6000 Eco 5 (Fig. 1) le cui caratteristiche principali sono riportate in Tab. 1. La sigla Eco 5 distingue la produzione di motori a metano da quella convenzionale a gasolio.



Fig. 1 – Il Rotomix 6000 Eco 5 modificato per poter essere alimentato a metano/biometano. La freccia indica la posizione dell'unica bombola installata.

Tab. 2 – Caratteristiche principali del Rotomix 6000 Eco 5 a metano

Caratteristica	Valore
Volume nominale del cassone (m ³)	26
Lunghezza (mm)	10.200
Larghezza totale (mm)	2.540
Altezza, in posizione di trasporto (mm)	3.420
Sistema di miscelazione (tipologia)	Botte rotante
Assi totali (n.)	3
Assi sterzanti (n., posizione)	2, anteriore e posteriore
Trazione	Asse anteriore
Potenza (kW/CV)	125/170

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Massa a vuoto (kg)	20.400
--------------------	--------

Questa tipologia di carri miscelatori si basa su un telaio portante a longheroni su cui è relativamente semplice trovare lo spazio per il posizionamento della/e bombola/e. Inoltre, essendo il razionamento delle bovine un'operazione che si compie una o al massimo due volte al giorno con la preparazione di un numero limitato di miscele ed in un raggio di azione sempre molto vicino al centro aziendale, il dimensionamento delle bombole per massimizzare l'autonomia di lavoro non presenta le forti criticità che, invece, erano state riscontrate per il trattore a metano (Bisaglia et al. 2018). Il carro miscelatore individuato è stato modificato dalla Ditta *Rotomix* che è intervenuta sulla testata del motore (Fig. 2), sull'alimentazione dello stesso e sui sistemi di controllo e gestione elettronica del carro oltre che al dimensionamento e posizionamento della bombola.



Fig. 2 – Il motore a 6 cilindri in linea del Rotomix 6000 modificato nella testata. E' in evidenza il sistema di iniezione elettronica Bosch deputato all'alimentazione del motore con metano.

Le prestazioni del prototipo sviluppato sono state testate con l'obiettivo di avere una prima impressione sull'autonomia del carro nel preparare razioni unifeed standard. È stato utilizzato il metano comune delle normali stazioni di servizio e, per la misura del consumo, è stato usato il metodo di riempimento della bombola, piena all'inizio della prova e riempita dopo ogni prova registrando semplicemente il peso del metano introdotto. Per non influenzare il consumo durante il trasporto da e per il distributore, il carro miscelatore è stato spostato con un autocarro adibito al trasposto di mezzi pesanti. Le prime prove del carro miscelatore si sono svolte nel gennaio 2019 presso l'azienda agricola "Vanzetti" situata a Candiolo (TO) (44°57'21.59"N, 7°33'54.66"E, 243 m slm) caratterizzata dalla produzione di latte bovino e dotata di un impianto per la produzione di biogas. L'azienda è dotata di un carro miscelatore di caratteristiche analoghe a quelle del prototipo, ma alimentato a gasolio.

La razione era quella normalmente utilizzata dall'azienda per le vacche da latte (Tab. 2). Sono state realizzate due ripetizioni della stessa miscela, calcolata per 100 vacche da latte, per un totale di



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

2.605 kg/carro. Tale quantità, pur non costituendo una prova impegnativa per la macchina (le cui potenzialità a pieno carico, secondo il costruttore, sono di 7.100 kg), rappresenta un primo elemento di confronto con quanto fatto normalmente dall'azienda che utilizza un carro miscelatore analogo, ma con alimentazione a gasolio.

Tab. 2 – La razione utilizzata per le prove

Ordine di carico	Quantità (kg/vacca)	Ingrediente	Quantità totale (kg)
1	2,30	Farina di soia	230
2	5,40	Concentrato	540
3	6,0	Fieno di loietto	600
4	1,10	Fieno di prato stabile	110
5	4,5	Insilato di medica	450
6	0,15	Melasso	15
7	4,7	Pastone di mais	470
8	19,0	Insilato di mais	190

Sono state registrate le distanze percorse all'interno dell'azienda per la preparazione e distribuzione della razione stessa.

L'operatore ha caricato il carro come d'abitudine senza modificare il protocollo consolidato in azienda.

Al termine delle operazioni, il carro miscelatore a metano è stato caricato su un autocarro e portato presso un distributore di metano per ripristinare le condizioni iniziali della bombola (bombola piena, massima pressione di riempimento).

2. Risultati e deliverable

Il prototipo sviluppato costituisce la prima generazione di carri miscelatori semoventi che usano il metano come combustibile. In condizioni operative, il prototipo ha mostrato prestazioni simili a quelle di un modello comparabile, ma azionato da motore diesel (Tab. 3), presente presso l'azienda ospitante.

Caratteristica	Carro miscelatore a gasolio	Carro miscelatore a metano
Consumo unitario di carburante (l/t di razione preparata)	4,6	3,7

Densità energetica unitaria (KWh/t di razione preparata)	45,0	35,0
--	------	------

Figura 1. Le prestazioni di consumo tra le due alimentazioni (gasolio e metano) di un carro miscelatore semovente

Il problema principale dell'autonomia di lavoro, riscontrato con il trattore a metano (60% in meno rispetto ad un trattore standard comparabile), non è stato evidenziato nel caso del carro miscelatore per le peculiari condizioni in cui quest'ultimo opera (piccoli spostamenti nell'ambito delle strutture aziendali, numero limitato di miscele giornaliere, orari fissi di lavoro). A tal proposito (e a titolo puramente esemplificativo data la grande variabilità dei lay-out aziendali) è stata rilevato anche il raggio di azione del carro miscelatore per il carico e la distribuzione della razione alle vacche da latte (Fig. 3).



Fig. 3 – Ordine di carico degli ingredienti (vedi anche Tab. 2) e distribuzione in mangiatoia della razione (frecce). L'ambito operativo non supera i 1000 m di percorrenza all'interno del plesso aziendale (nell'azienda ospitante).

L'autonomia di un carro miscelatore a gasolio sembra pertanto non essere un problema sia se l'azienda agricola produce in proprio il bio-metano o se si trova vicino a una stazione di rifornimento, ma anche, nella peggiore delle ipotesi, si potrebbe ricorrere a carri bombolai da rifornire periodicamente il cui costo potrebbe essere ampiamente ripagato dal costo del biometano (che potrebbe aggirarsi secondo stime sui 0,55 €/l). I primi risultati saranno arricchiti da ulteriori prove comparative e da valutazioni di lungo periodo fornite dall'azienda agricola che ha acquistato il primo esemplare commerciale.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Le macchine agricole alimentate a metano (trattori e altre macchine operatrici semoventi), nonostante la pressione mediatica e il potenziale interesse dimostrato dal legislatore e da alcuni



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

costruttori, rappresentano oggi una popolazione estremamente ridotta di mezzi per lo più prototipali (in Italia ci sono circa sei esemplari di trattore di due costruttori diversi, in continuo movimento presso le varie sedi di prova, anche all'estero, un esemplare di carro miscelatore venduto ad un'azienda nel piacentino ed un caricatore telescopico modificato da un trasformatore di macchine, quindi non OEM). 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

Sulla base di quanto emerso nel terzo anno di attività, si chiede di valutare la possibilità di modificare la denominazione della Task 1.2 in: "Trattori **e macchine agricole** ad alimentazione esclusiva o combinata a biometano".

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

È in corso di redazione un articolo divulgativo sulle prove preliminari condotte su un carro miscelatore semovente ad alimentazione esclusiva a metano.

6. Elenco pubblicazioni



Task 1.3 Meccanizzazione ad elevata automazione per l'efficientamento energetico

Task leader: Alberto Assirelli

Linea 1 di attività: titolo Valutazione delle necessità di meccanizzazione inerenti a determinate operazioni colturali

Referente: Andrea Cocchi

Nell'ambito della linea 1 la valutazione è stata estesa nel settore zootecnico all'intera linea produttiva includendo l'intera gestione dell'allevamento, mentre per quanto riguarda le specie arboree è stato inserito il gelso come specie da frutto in cui tutte le operazioni possono considerarsi ancora svolte manualmente, ma che con il crescente interesse verso i prodotti superfood sta progressivamente assumendo importanza soprattutto per il consumo come prodotto disidratato pronto consumo. È stata valutata l'importanza delle operazioni di scouting periodico durante i cicli colturali per controllo sviluppo e rilievo malattie e parassiti ed a tal proposito è stata avviata un'attività di rilevamento da remoto di parassiti animali su colture di patata tramite rilievo da drone; qualora i risultati dovessero rivelarsi promettenti tale attività sarà estesa ad altre colture.

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

Referente: Andrea Cocchi

Nell'ambito di questa linea si sono concluse le attività relative allo sviluppo di una macchina estrattrice di biomassa umida da silobag che solo ora a brevetto depositato è stata posta in commercio. L'attività era iniziata con un progetto precedente e l'iter di concessione del brevetto ha limitato la diffusione dei dati. Per quanto riguarda la coltura del gelso è stata valutata una linea di raccolta agevolatrice per i frutti che al primo anno ha mostrato interessanti risultati. Per la messa a punto di tali soluzioni sono stati svolti alcuni test sulle caratteristiche fisico-chimiche dei frutti alla raccolta e sulle forze di distacco dei frutti. È stata conclusa un'attività sullo studio dei sistemi meccanici di controllo infestanti volto all'applicazione dell'agricoltura di precisione.

Abstract

Nell'ambito della terza annualità di progetto, per quanto riguarda il settore zootecnico, si sono conclusi i rilievi sulla stalla completamente automatizzata dall'alimentazione, pulizia, mungitura e controlli sanitari. Tali rilievi hanno coperto sia la stagione invernale sia quella estiva in modo da poter comprendere un'intera annata produttiva. I risultati, soprattutto inerenti all'analisi degli aspetti energetici (es. consumo energia elettrica) sono in fase di elaborazione pur segnalando un positivo riscontro sia degli animali sia degli allevatori verso l'introduzione dell'automazione nel settore zootecnico con notevole riduzione della forza lavoro necessaria. È stato concluso uno studio



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

sui sistemi di controllo meccanici delle infestanti in colture arboree che esaminava le diverse tipologie di utensili (zappette, denti, lame, ecc.) e principi funzionali (asse orizzontale, verticale singolo/doppio) nel controllo meccanico interfilare/interceppo soprattutto in termini di movimentazione degli organi di lavoro e loro influenza sul terreno (profilo/profondità) e sulla coltura. Sono stati condotti test su un sistema innovativo per la raccolta di frutti di gelso che, pur non presentando alcuna particolare innovazione tecnologica consente di ridurre notevolmente di oltre 15 volte il tempo necessario per raccogliere un chilogrammo di prodotto, rendendo gestibile per la raccolta giornaliera un appezzamento di circa mezzo ettaro da sole quattro presone.

1. Attività svolta

Per quanto riguarda il settore zootecnico sono stati eseguiti i rilievi energetici nella stazione estiva dei tre sistemi di automazione individuati nell'annata precedente, in particolare sistema di mungitura, di alimentazione e di pulizia della stalla. Tali attività vengono svolte periodicamente dai robot senza alcun intervento diretto dell'allevatore delegato a funzioni di controllo o intervento per emergenze. Uno degli impegni che rimangono comunque a carico di quest'ultimo riguarda il rifornimento della cucina ed il suo mantenimento in pulizia. In particolare, le diverse tipologie di alimenti devono essere mantenute ben distinte ed in file parallele in modo da consentire al robot un'agevole individuazione e presa del preciso quantitativo necessario secondo dieta impostata.

Per lo scopo sono stati sensibilizzati i punti di collegamento alla rete elettrica mediante rilevatori e memorizzatori dei dati relativi ai consumi energetici. Della totalità delle macchine ed attrezzature coinvolte sono stati rilevati i principali aspetti dimensionali e funzionali in modo da poter agevolmente risalire ai tempi di impiego di ogni singolo componente e relativa motorizzazione; ad esempio per il sistema di alimentazione viene monitorata la gestione della cucina con il prelievo calibrato secondo esigenze dei singoli alimenti, il trasporto verso il carro robot dedicato alla miscelazione e distribuzione, le fasi di miscelazione, trasporto e distribuzione in stalla.

I dati sono in fase di elaborazione e saranno oggetto di futura pubblicazione a carico del gruppo di lavoro coinvolto. Uno degli aspetti di maggior interesse dell'attività svolta riguarda l'analisi comparativa degli assorbimenti energetici intercorrenti fra una gestione ordinaria seppur meccanizzata ed una gestione completamente automatizzata con riduzione drastica degli interventi dell'allevatore.

Per quanto riguarda il sistema di controllo meccanico delle infestanti è stato concluso uno studio sui principali sistemi di movimentazione degli organi di lavoro in applicazione interfilare prendendo a riferimento diverse tipologie costruttive ad uno o più assi di rotazione, tipologie di utensili e movimento di entrata ed uscita dall'area interceppo.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

La progressiva riduzione della disponibilità di molecole chimiche per il controllo delle infestanti, i crescenti fenomeni di resistenza, spingono la ricerca verso soluzioni alternative e sostenibili di diserbo. I mezzi fisici, attuabili anche in agricoltura biologica/biodinamica stanno riscoprendo crescente interesse in tutte le loro forme dal meccanico al termico. Tra questi, il controllo meccanico seppur diffuso da diverso tempo rimane spesso di approccio piuttosto generalizzato. Un controllo mirato, guidato e versatile degli utensili e del loro percorso in lavoro rappresentano una possibilità interessante ed efficiente per definire precisamente le aree di intervento. Nel presente studio sono stati modellizzati diversi sistemi di elusione delle piante coltivate.

Questo approccio anche interdisciplinare porta ad attuare un nuovo compito verso l'agricoltura intelligente. In questo studio, prevalentemente teorico verranno proposti e analizzati nuovi approcci per eseguire il diserbo meccanico all'interno della fila nei campi di orticoltura. L'idea è quella di diserbare la fila con sistemi adeguati alla sua stessa disposizione e condizioni pedoclimatiche variando adeguatamente soluzioni e funzionalità. In questo modo l'attrezzo segue la direzione (non per tutti i modelli proposti) della direzione di lavoro evitando lo spostamento della massa inerziale ortogonalmente alla traiettoria di lavoro, che tende a complicare l'operazione, il bilanciamento degli organi mobili aumentando consumo di carburante e l'usura dei componenti con più difficile guida e alterazione del profilo del terreno.

Lo scopo del presente studio è stato quindi quello di valutare diversi sistemi di elusione delle piante coltivate per rimuovere meccanicamente le malerbe presenti sulla fila, evidenziando differenze operative tra i sistemi e i possibili approcci futuri per l'evoluzione di questi sistemi verso l'automazione e l'agricoltura di precisione.

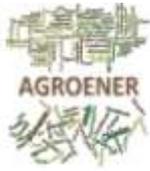
Le soluzioni operative che sono state esplorate in questo studio, nell'ambito di diversi in numero e forma di elementi rotativi su asse verticale ed orizzontale sono le seguenti:

CDSS: Crosswise Displacement Plant-Skipping System, sistema che prevede movimento trasversale, perpendicolare alla direzione di avanzamento della macchina, operando una lavorazione del terreno sulla fila ma interessando anche buona parte dell'interfila (Fig. 1);

Un'altra categoria di soluzioni invece, prevedono l'uso di telai (Tool Holder Frame-THF) rotanti sul loro asse verticale (Rotating Tool Holder Frame – Vertical Rotation Axis). Tra queste attrezzature sono state osservate: RPSS-VA: Rotary Motion Plant-Skipping System – Vertical Rotation Axis: con 2, 3 o 4 organi lavoranti portati da supporti disposti radialmente attorno al corpo rotante, il cui movimento permette di lavorare tra una pianta e la successiva lungo la fila; FBTS: Forward-Backward Tilting Plant-Skipping, ovvero un sistema che si basa su una rotazione invertita avanti/indietro. Da questo sistema di base sono stati analizzati un sistema FBTS-CR (Constant Return Angular Speed), quindi a velocità angolare costante di ritorno e uno detto FBTS-VR (Variable Return Angular Speed), con velocità di ritorno diversa rispetto alla velocità di entrata sulla fila.

Altra soluzione prevede telai ruotanti attorno al loro asse orizzontale:

RPSS-HA: Rotary Motion Plant-Skipping System – Horizontal Rotation Axis che ruotando nel senso dell'avanzamento della macchina (come una ruota) permette che i 2, 3 o 4 organi lavoranti vengano a contatto con il suolo, scavalcando le piante, lavorando esclusivamente il suolo lungo la fila.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Per quanto riguarda l'attività sul gelso è stato valutato un sistema di agevolazione della raccolta sviluppato per il mantenimento dei costi pur mantenendo un buon standard qualitativo del prodotto ottenuto per l'avvio alla disidratazione per la produzione di frutta snack in minidosi.

La pianta del gelso è caratterizzata da foglie piuttosto rigide, cuoriformi alla base, ruvide alla pagina superiore e pelose in quella inferiore, per questo meno appetita dal filugello. Abbastanza interessante la sua produzione frutticola: le more sono nere, più o meno sessili, succose, abbastanza consistenti, di sapore gradevole, dolci-acidule e bene si prestano alla produzione di confetture e sciroppi (G Reali, Meneghini, and Trevisan 1985). Come detto, la coltivazione degli arboreti di gelso (*M. alba*) storicamente è sempre stata strettamente collegata alla produzione industriale di seta, tanto da parlare di "gelsibachicoltura", mentre per quanto riguarda la coltivazione del Moro (*M. nigra*) veniva usato per la bachicoltura solo laddove il *M. alba* non trovava le condizioni ottimali di sviluppo. Con la decadenza della sericoltura nostrana, si è assistito anche a un diminuire dell'interesse agronomico nei confronti di questa coltura arborea, che resta però assai frequente in parchi e giardini e che oggi torna a destare interesse per la riscoperta dei suoi frutti (Glauco Reali, Meneghini, and Trevisan 1985). Infatti, mentre in Italia la coltivazione di questi alberi è sempre stata eseguita quasi esclusivamente per alimentare le larve di *Bombix mori* L., in altri paesi, come ad esempio la Turchia, esistono antiche tradizioni di coltivazione di *Morus* spp. al fine di raccogliere ed utilizzare i frutti. In particolare, in Turchia, *M. alba* lo si trova nel 95% delle coltivazioni, mentre la restante quota di piante allevate è rappresentato da *M. nigra* e *M. rubra* (una specie minore). In questa regione i frutti vengono consumati freschi o essiccati oppure tramite trasformazione in sciroppi, bevande, coloranti o composti medicamentosi (Ercisli 2004; Ercisli and Orhan 2007). Quest'ultimo utilizzo viene effettuato tradizionalmente sfruttando l'alto contenuto di fenoli, calcio, manganese e potassio di questo tipo di frutto (Lin and Tang 2006; SINU-Società Italiana Nutrizione Umana 2018). Con il presente studio si è cercato di testare un'attrezzatura che agevoli la raccolta del sorosio di gelso al fine di velocizzare le operazioni di raccolta, ottimizzare la resa uomo/ora prevenendo il più possibile eventuali danni ai frutti, ispirandosi a quanto utilizzato per la raccolta delle olive e della frutta pendente.

I test sono stati condotti su impianto originariamente concepito per altro fine (Foglie per allevamento baco da seta) poi riconvertito alla produzione di frutta ma i risultati sono stati comunque interessanti ed in corso di pubblicazione. È stata esaminata l'intera filiera di raccolta dal campo fino all'impianto di disidratazione comprendendo anche le fasi di selezione pulizia e lavaggio pre-essiccazione.

2. Risultati e deliverable



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

I risultati relativi all'attività sull'automazione zootecnica sono ancora in fase di elaborazione e saranno oggetto di pubblicazione dedicata ad opera del gruppo di lavoro coinvolto.

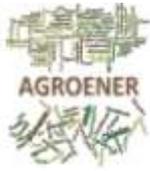
Per quanto riguarda il controllo delle infestanti il modello di riferimento utilizzato è quello classico che utilizza lo spostamento / spostamento del corpo del portautensile nella direzione trasversale rispetto alla direzione di guida per uscire dalla riga ed evitare il contatto o danneggiare l'impianto. I modelli di scopi nel presente lavoro, tuttavia, usano anche la rotazione del corpo del potautensili per uscire dalla zona interceppo; la rotazione può essere continua nella direzione di avanzamento, o discontinua, sia nella direzione di avanzamento che in opposizione ad essa (per entrare e uscire dalla fila).

Per tutti gli schemi proposti sono stati realizzati modelli di simulazione numerica, compresa quella per la traslazione con lo scopo di valutare in termini comparativi i principali indici di elaborazione in funzione di alcuni parametri operativi (velocità operativa, velocità angolare di rotazione dell'opera, raggio di rotazione, ecc.).

Questo nuovo approccio potrebbe inoltre consentire di progettare utensili meno pesanti rispetto a quelli effettivamente usati in agricoltura. Il sistema di spostamento dello strumento di lavoro, la sua traiettoria sul piano orizzontale e verticale per il posizionamento e il taglio dall'area interceppo rappresentano i problemi che questo comporta. Inoltre, un nuovo approccio dovrebbe essere focalizzato rispetto allo strumento di lavoro per sostituire, ad esempio, gli strumenti di lavoro classici (lame, denti, zappe).

Gli elementi di lavoro per il controllo interceppo delle infestanti possono essere di diversa tipologia costruttiva e funzionale in grado di operare anche a diverse profondità di lavoro. La possibilità di avere un modello funzionale che possa permettere di valutare anticipatamente le interazioni con pianta e terreno può aiutare notevolmente nella scelta dell'utensile soprattutto in funzione del sesto d'impianto. Tale possibilità consente inoltre una buona panoramica anche per la valutazione degli aspetti energetici del cantiere di lavoro. La tipologia costruttiva inoltre influenza direttamente la catena cinematica e la complessità generale del sistema di lavoro individuato. Le tipologie di azionamento possono prevedere diverse possibilità dalla tradizionale meccanica a quella idraulica fino a quella elettrica soprattutto in funzione delle coppie di lavoro necessarie con evidenti risvolti sul piano energetico richiesto. La maggior parte delle trattrici moderne dispone di sufficienti potenzialità sotto tutti gli aspetti citati; anche l'azionamento elettrico non richiederebbe nella maggior parte dei casi integrazioni significative agli impianti elettrici disponibili.

La scelta della migliore opzione disponibile per il controllo delle infestanti può essere agevolata utilizzando sistemi di supporto decisionale in considerazione i diversi fattori che ne influenzano l'efficacia (specie infestanti, fase dello sviluppo, sesto d'impianto, condizioni pedo-climatiche) e



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

l'economia dei trattamenti. Alcuni modelli previsionali sono stati sviluppati per aiutare nella selezione di diverse opzioni di controllo delle infestanti su piante arboree. Utilizzando aspetti dimensionali e funzionali diversificati degli organi di lavoro, della loro forma e posizionamento sul telaio principale i modelli simulano il comportamento sugli impianti nei confronti delle aree da trattare, delle tipologie di infestanti multispecie e mostra le diverse opzioni di controllo ottenibili.

Altro aspetto che potrebbe interessare le attività sviluppate riguarda non il controllo infestanti ma una sorta di effetto sarchiante utile ad eliminare la crosta superficiale con positivi effetti sulla gestione dell'acqua e degli scambi gassosi del terreno soprattutto in vivaio e nelle aree direttamente interessate dagli apparati radicali delle giovani piante. Nei modelli proposti è possibile ipotizzare un sistema di rotazione dello THF (Tool Holder Frame) effettuato con un motore passo-passo, per poter adeguare continuamente la velocità di rotazione in funzione della velocità di avanzamento. In particolare, per il modello FBS-VR, il controllo continuo della rotazione in fase di rientro sulla fila diventa indispensabile. Per quanto riguarda il sensore di ostacolo utilizzabile nei modelli presentati, possono essere utilizzati i medesimi sviluppati per il pioppo, articolo 2015, Assirelli, A.; Liberati, P.; Santangelo, E.; Del Giudice, A.; Civitarese, V.; Pari, L. "Evaluation of sensors for poplar cutting detection to be used in intra-row weed control machine" *Computer and Electronics in Agriculture* 115, 161-170. In questo caso, ovviamente, sarà necessario di un SW di gestione del segnale e della rotazione dello HTF.

La possibilità di scegliere sistema di traslazione in funzione o direttamente legato al tipo di utensile permette di massimizzare l'efficienza della soluzione proposta e quindi di avere anche importanti risvolti sul piano tecnico ed economico della macchina sviluppata.

Questo approccio gestionale degli elementi di lavoro può essere applicato singolarmente od in abbinamento ad altre operatrici dai costruttori di macchine agricole anche per una gestione sito-specifica secondo tecniche di agricoltura di precisione in impianti arborei e non solo nell'ottica di offrire maggiori soluzioni nei settori dell'agricoltura integrata, biologica e biodinamica. Le soluzioni descritte consentiranno applicazioni diverse a seconda delle necessità consentendo, variando anche il livello di implementazione tecnologica, un sistema di gestione interfilare che estende il concetto di controllo infestanti adeguandosi specificatamente in base a suolo, clima, sostanza organica, scambi gassosi, ecc. I principali vantaggi di questo approccio gestionale degli elementi di lavoro possono essere rappresentati dalla possibilità di applicazione singola od in abbinamento ad altre operatrici dai costruttori di macchine agricole anche per una gestione sito-specifica secondo tecniche di agricoltura di precisione in impianti arborei e non solo nell'ottica di offrire maggiori soluzioni nei settori dell'agricoltura integrata, biologica e biodinamica. Le soluzioni descritte consentiranno applicazioni diverse a seconda delle necessità consentendo, variando anche il livello di implementazione tecnologica, un sistema di gestione interfilare che estende il concetto di controllo infestanti adeguandosi specificatamente in base a suolo, clima, sostanza organica, scambi gassosi, ecc. La presente prova è stata eseguita su un impianto di Gelso (*Morus alba* L.) di varietà Kokuso. L'impianto è stato realizzato da talee autoradicate ed impiantate nel 2014: quindi al momento della prova era al terzo anno. Distribuito su una superficie totale di 1,1 Ha, presso un'azienda di Faenza (Ra), l'impianto presenta un sesto di 3x4,5, con forme in volume, tipo fusetto



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

piuttosto libero, non molto regolare nelle quali varia considerevolmente il numero di branche per pianta così come la loro distribuzione sulla stessa pianta ed il loro diametro. Questa gestione dell'allevamento ha permesso alle piante di raggiungere una dimensione di circa 300 cm in larghezza per 360 cm circa di altezza. Il sistema di raccolta dei sorosi di gelso attuato dall'agricoltore, che il presente articolo si prepone di presentare, è costituito da un carrello formato da due unità distinte combacianti in modo tale che sia possibile avvolgere completamente in fusto dell'albero di gelso al di sotto del primo palco di brache (che si trova a circa 50 cm dal suolo) lasciando libero appunto, solo lo spazio occupato dal fusto legnoso della pianta. Ciascuna di queste due unità del carrello è costituita da un tubolare di ferro con funzione di struttura a una rete plastica a maglia fine (2x2mm) affinché questa assuma una forma a cono rovesciato alla cui base è presente un foro di dimensioni corrispondenti alla superficie del contenitore di raccolta idoneo all'incastro di una vaschetta in plastica forata. Per tanto, il carrello presenza due pendenze diverse per ciascuno dei due imbusti simmetrici, che consentono di fatto di raccogliere 2 vaschette per ogni pianta. Lo scopo di questo tipo di attrezzatura è dunque raccogliere i sorosi di gelso distaccati. Per distaccare i frutti è stato utilizzato un attrezzo artigianale con funzione di scuotitore. Formato da un manico di lunghezza al cui apice è applicato un organo in ferro a forma di "V" con i due bracci ricurvi, in modo da poter afferrare un ramo per volta e scuoterlo affinché i frutti maturi si stacchino dalle branche cadendo nel carrello di raccolta precedentemente descritto.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Le tematiche hanno riguardato aspetti che dallo studio iniziale hanno evidenziato la necessità di maggior contenimento dei costi di produzione in relazione alle soluzioni di automazione disponibili

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

- EUropean Biomass Conference and Exhibition 2019 Lisbona (Pt)
- Giornata dimostrativa CREA-IT Monterotondo (Rm) del 26/06/2019

6. Elenco pubblicazioni



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Alberto Assirelli, Mattia Cacchi, Sandro Sirri, Daniela Giovannini, Gianluca Baruzzi, Giuseppina Caracciolo. Evaluation of a New Machine for Flower and Fruit Thinning in Stone Fruits. Sustainability, 2018, vol. 10(11), pages 1-12, November

Alberto Assirelli, Silvia Cappellozza, Sandro Sirri, Fiorella Stagno, Daniela Giovannini. Innovative system for mulberry fruit harvesting. Peer review su Journal of Berry Research

Liberati, P., Assirelli, A. 2019. A new approach towards a smart mechanical intra-row weeding. International Journal of Agriculture and Environmental Research IJAER. Volume:05, Issue:01 pg 167-193

Alberto Assirelli, Paolo Liberati, Andrea Cocchi. 2019 Un nuovo approccio nell'ottica di un diserbo meccanico sottofila intelligente. Scheda raccolta risultati progetto AGROENER divulgate durante giornata dimostrativa del 26/06/2019 a Monterotondo (Rm).



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, Alberto Assirelli

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 pubblicati su una rivista internazionale con Impact Factor. È stata inviata ad una rivista internazionale con IF una pubblicazione che copre alcuni interessanti aspetti sulle stime economiche dei cantieri forestali. È in corso la convezione con il CNR IVALSÀ per la realizzazione di modelli di ettarocoltura in campo forestale. La parte client dell'infrastruttura software è stata realizzata. La parte server, è stata implementata, ma a seguito della migrazione dei servizi in cloud, si sta provvedendo all'installazione e all'attivazione di tutti i servizi annessi per poter garantire la fruibilità dell'applicazione over internet.

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



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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 Partial Least Squares (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 pubblicati su una rivista internazionale con Impact Factor.

È stata inviata ad una rivista internazionale con IF una pubblicazione che copre alcuni interessanti aspetti sulle stime economiche dei cantieri forestali. In particolare, sono stati confrontati due approcci modellistici multivariati (multiple linear regression model (MLR) e artificial neural network (ANN)) per predire il tempo lordo, la produttività e i costi a partire da una serie di variabili qualitative e quantitative di cantieri forestali.

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

L'infrastruttura software che verrà implementata su internet è in fase di pubblicazione. 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 realizzativa si sta provvedendo alla migrazione di quanto sviluppato su servizi cloud offerti dall'attuale sotto-progetto Agriinfo che si occupa della gestione dei servizi informatici su cloud.



2. Risultati e deliverable

D.1.4.1: Ricerca bibliografica inerente le metodologie multivariate.

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 stata effettuata una ricerca bibliografica al fine di conoscere a livello internazionale come vengono applicati modelli per la ettarocoltura nel settore forestale. Parte dei risultati di tale ricerca sono presenti su una pubblicazione inviata ad una rivista internazionale con IF.

D.1.4.4: Sviluppo dei modelli matematici multivariati.

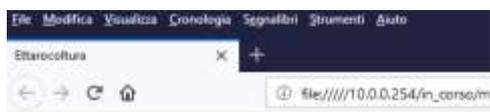
I modelli fin qui sviluppati nel settore agricolo sono inclusi nella pubblicazione allegata (Guerrieri et al., 2016) e sono stati inviati ad una rivista internazionale con Impact Factor. I modelli fin qui sviluppati nel settore forestale sono presenti su una pubblicazione inviata ad una rivista internazionale con IF. È in corso la convezione con il CNR IVALSÀ per la realizzazione di ulteriori modelli di ettarocoltura in campo forestale.

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

La parte client dell'infrastruttura software è stata realizzata.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019



Progetto AGROENER

Ettarocoltura calculator

Step 1: Dati Lavorazione

Tipologia

Pisci 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

La parte server è costituita da più elementi costituenti servizi web necessari all'esecuzione degli algoritmi sviluppati. In dettaglio, verranno, secondo le specifiche e le attuali logiche di servizi cloud, compilati gli script di modellazione sviluppati in un formato eseguibile tenendo conto dei criteri di interfaccia con servizi cloud, prendendo in input i parametri necessari provenienti dal client sopra descritto e restituendo il risultato del calcolo al client che ha inoltrato la richiesta. La parte server è costituita da un insieme di servizi che operano in background.

Come previsto dal sotto-progetto Agriinfo il cloud di riferimento è Azure di Microsoft. Nell'ottica dell'attivazione dei servizi su cloud, quanto sviluppato ed in corso di sviluppo, è facilmente migrabile su altri fornitori di cloud (es. Google, Amazon, ecc.).

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

Pubblicazioni internazionale con Impact Factor (Guerrieri et al., 2016; Fedrizzi et al., 2019) 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. Per l'infrastruttura informatica, essendo la primissima esperienza dell'ente con servizi cloud, potrebbero presentarsi delle difficoltà tecnologiche per l'integrazione dei modelli sviluppati con una conseguenza di rallentamento della pubblicazione online.

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).

È stata proposta un'attività per la realizzazione di modelli di stima economica per l'implementazione di macchine a trazione elettrica.

Si è inoltre proposto di provare a sviluppare dei modelli per la determinazione analitica del consumo di combustibile in funzione del carico motore impegnato nell'operazione specifica.

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

Fedrizzi M., Antonucci F., Sperandio G., Figorilli S., Pallottino F., Costa C., 2019. An Artificial Neural Network model to predict the effective work time of different agricultural field shapes. SPANISH JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH, 17(1): e0201.

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. Il trattore di gamma alta dotato lo scorso anno di ricevitore satellitare, interfaccia uomo-macchina di tipo tattile e volante elettrico è stato utilizzato per 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 anche in collaborazione con Università italiane (Politecnico di Milano). Anche quest'anno alcune pubblicazioni scientifiche sono riportate nell'apposito paragrafo



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

ed incrementano il contributo scientifico del WP; altre azioni divulgative e formative sono state intraprese in occasione del Master di I livello sull'AdP organizzato dall'Università di Teramo, in collaborazione con le Università della Tuscia e di Padova, il CREA e il CNR e da alcuni interventi presso alcune Camere di Commercio (Reggio Calabria, Sanremo, Alessandria, Imperia).

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 proseguite le ricerche bibliografiche sulla diffusione dell'AP sia nel settore aziendale sia nel settore della ricerca indagando le tematiche maggiormente trattate ed emergenti. Il materiale raccolto ha consentito la redazione di un articolo scientifico di revisione pubblicato sulla rivista *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, IF 2018: 3.171).

Il trattore di alta gamma di proprietà del CREA-IT dotato di un sistema avanzato per la guida automatica con precisione centimetrica è stato utilizzato in alcune prime sperimentazioni di campo.

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

Sono proseguite 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

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Descrizione dei risultati ottenuti e/o sintesi dei deliverable prodotti (max 2 pagine + eventuali 1-2 foto/grafici)

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 pubblicato sulla rivista Computers and Electronics in Agriculture (Elsevier, IF: 2018: 3.171).

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. Il trattore di alta gamma dotato di volante elettrico comandato da ricevitore satellitare a doppia frequenza con precisione centimetrica, centralina ISOBUS, monitor da 10" acquistati grazie al Progetto AGROENER presso la sede di Treviglio del CREA-IT.

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. Inoltre, sono stati indagati anche gli aspetti ergonomici che conseguono dall'adozione di un sistema di guida automatico. In

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Fig. 2 si riportano tre parcelle in cui sono state adottate diverse strategie di guida (1: manuale; 2: assistita; 3: automatica) in cui l'operatore è stato monitorato in alcune funzioni fisiologiche (Figg. 3 e 4) per apprezzare differenze nello stato di confort (o discomfort) associato alle tre strategie di guida.

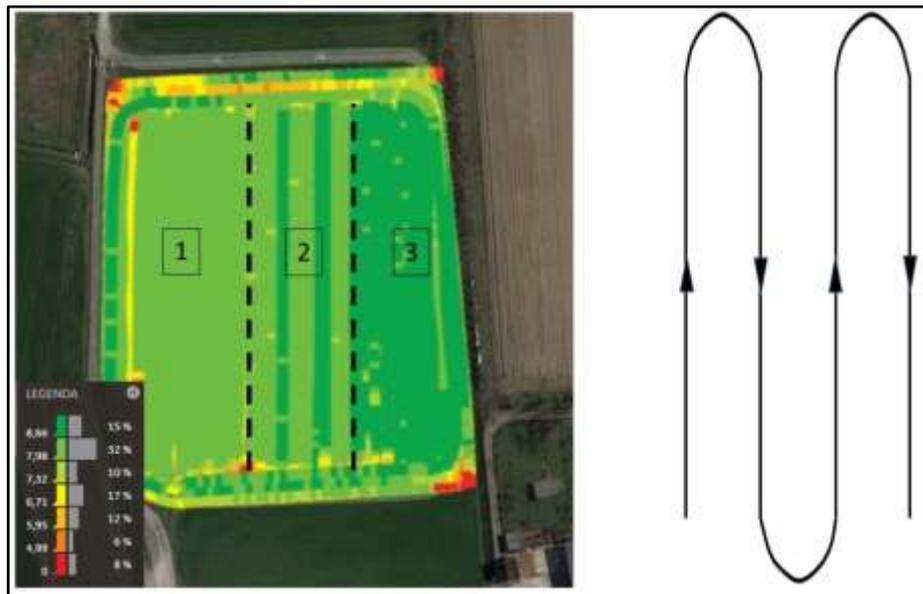


Figura 2. Le tre parcelle di prova (a destra) i cui falsi colori rappresentano le velocità di esecuzione della lavorazione (erpicatura) in tre modalità di guida (1: manuale, 2: assistita, 3: automatica). A destra si riporta il percorso eseguito dall'operatore in ogni parcella.





Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Fig. 3. Sensori per elettromiografia sul conducente

Fig. 4. Sensore per barometria sul sedile

I dati raccolti sono oggetto di un manoscritto da pubblicare su rivista. Saranno anche indagate le implicazioni sugli aspetti energetici in quanto si ipotizza che un miglior confort e rapidità di esecuzione delle lavorazioni si ripercuota anche sulle prestazioni generali delle lavorazioni.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Nessun ostacolo

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna proposta

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., Antonucci F., Costa C., Bisaglia C., Figorilli S., Menesatti P. 2018. Optoelectronic proximal sensing vehicle-mounted technologies in precision agriculture: a review. *Computers and Electronics in Agriculture* 162, 859-873. ISSN 0168-1699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.034>. (I.F. 2017 = 2.427).



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, Claudio Beni, Andrea Acampora

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 attualmente in corso una collaborazione tecnico-scientifica con la società TORO-IRRITROL (sede di Fiano Romano), che ha fornito indicazioni e materiali per implementare il sistema di controllo digitale per la gestione di un impianto d'irrigazione di tipo dimostrativo (microirrigazione); l'attività sperimentale viene svolta presso il campo dimostrativo realizzato per conseguire l'efficiamento idrico ed il conseguente risparmio energetico.

I risultati derivanti da questa prima fase sono stati utilizzati per adottare soluzioni diverse a seconda delle necessità di fabbisogno idrico delle colture in atto (*Bambù gigante e Pioppo*).

Attività sviluppata nella **Linea 2:**

- È stato necessario consociare al bambù una specie alternativa che in passato ha dimostrato di potersi meglio adattare alle condizioni pedoclimatiche del sito di prova, potendo quindi garantire l'esecuzione dei rilievi relativi all'accrescimento delle piante (altezza, diametro dell'astone). Le talee di pioppo sono state inserite lungo le file ad una distanza di 100 cm, la messa a dimora è stata



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

effettuata alla fine del mese di marzo. Il numero dei gocciolatori presenti lungo le linee dell'impianto irriguo è stato quindi incrementato in modo opportuno.

Attività sviluppata nella **Linea 3**:

- Al fine di migliorare la permeabilità del suolo e per contrastare il ristagno idrico sono state condotte alcune lavorazioni del terreno impiegando una particolare attrezzatura innovativa denominata 'ripuntatore a piede vibrante'. I passaggi con il ripuntatore hanno fatto osservare un discreto miglioramento della permeabilità del suolo, caratterizzato da un elevato contenuto in argilla, sarà quindi importante poter ripetere le lavorazioni con cadenza almeno trimestrale al fine di evitare l'eccessivo compattamento del terreno e la conseguente asfissia radicale delle colture in atto.

1. Attività svolta

In riferimento alla **Linea 1** è stata avviata ed è attualmente in corso una collaborazione a carattere tecnico-scientifico con la TORO-IRRITROL (sede di Fiano Romano). In particolare, è stato condotto uno studio volto all'analisi delle soluzioni attuabili, secondo i dettami delle moderne tecniche irrigue, al fine di conseguire il "risparmio energetico" anche mediante tecniche di irrigazione localizzata "*di precisione*".

I primi risultati scaturiti dalle attività svolte nel semestre sono stati presentati al convegno organizzato dalla International Society for Horticultural Science (ISHS), tenutosi a Matera, dal titolo "IX INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, 17-20 JUNE 2019, Matera, Italy".

L'attività fino ad oggi espletata nell'ambito della task, è stata presentata durante lo svolgimento dei lavori previsti per la giornata dimostrativa organizzata presso il centro CREA-IT di Monterotondo, in data 26 giugno 2019, dal titolo "Innovazioni per la filiera biomasse e l'efficientamento energetico in agricoltura", interamente dedicata a dimostrazioni sperimentali in campo. In particolare, per la specifica tematica di questa linea, il titolo dell'intervento è stato: "Gestione efficiente dell'irrigazione localizzata per il risparmio idrico ed energetico". È stato realizzato ed esposto un poster per inquadrare gli obiettivi dell'attività e presentare l'allestimento della prova, con la descrizione dei materiali e della sensoristica utilizzati.

Relativamente alla **Linea 2**, il campo dimostrativo realizzato presso la sede del CREA-IT di Monterotondo è stato ulteriormente implementato. Il bambusetto sperimentale è stato realizzato con un sesto d'impianto di metri 3x3, disposto in quattro filari su una superficie complessiva di 600 m². Nel corso della stagione 2018 ha mostrato notevoli difficoltà di sviluppo vegetativo. Per ovviare alle condizioni edafiche del sito, rivelatesi inaspettatamente non ottimali per questa specie vegetale, è stato necessario mettere in atto una serie di accorgimenti volti al miglioramento della



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

struttura e della fertilità del terreno. Le cure colturali realizzate nel corso della passata stagione vegetativa hanno riguardato: concimazioni periodiche secondo le indicazioni del consulente agronomo della società *BambooLife*, esperto nella coltivazione del bambù nel centro Italia; lavorazioni di erpicatura e ripuntatura periodiche; pacciamatura sulla fila con cippato ottenuto dalle colture agro-forestali presenti in sede (km Ø); distribuzione di ammendanti organici; semina di coltura di copertura autunno-vernina impiegando leguminosa azotofissatrice per arricchire il terreno con sostanza organica e per sfruttare la copertura vegetale per il contenimento delle erbe infestanti.

Il campo sperimentale (bambuseto), nonostante i ripetuti interventi colturali, ha fatto registrare un numero elevato di fallanze. Inoltre, lo sviluppo vegetativo delle piante sopravvissute non è omogeneo. Purtroppo, un numero elevato di piantine mostrano uno sviluppo vegetativo stentato ed uno stato di sofferenza generale. Abbiamo avuto la possibilità di confrontarci e di avere indicazioni utili per ovviare alle problematiche riscontrate.

La Soc. *BambooLife* Srl, (con la quale è stato sottoscritto un apposito accordo di collaborazione ad attività di ricerca e sperimentazione), si è impegnata a fornire le piante di bambù per effettuare la compensazione delle fallanze riscontrate durante la passata fase di sperimentazione. Le fallanze nel complesso sono risultate essere piuttosto elevate, corrispondendo al 34% di piante morte sul totale. Le operazioni di messa a dimora delle piante in sostituzione saranno eseguite dalla fine dell'estate, quando verranno rese disponibili dal vivaio di riferimento. Nel frattempo, sono state predisposte le sedi di messa a dimora, scavando le apposite buche e aggiungendo terriccio compostato. Inizialmente si era previsto di trapiantare le piantine per fine primavera, ma l'andamento stagionale particolarmente piovoso e freddo, fino a fine maggio, non lo hanno consentito. Per evitare lo stress da trapianto, al quale sembrerebbe essere particolarmente sensibile tale materiale di propagazione, sarà necessario attendere la fine dell'estate. Durante la scorsa annata di attività, è proseguito il confronto e lo scambio d'informazioni a carattere tecnico scientifico con il consulente agronomo della società *BambooLife*, per decidere insieme le cure colturali da realizzare nel corso della stagione.

Per ovviare alle limitazioni manifestate nell'insediamento della coltura principale (bambù gigante), inizialmente scelta per la sperimentazione, è stata valutata l'opportunità di integrare la prova con una coltura aggiuntiva. Pertanto, come soluzione correttiva, è stato deciso di consociare al bambù talee di pioppo da biomassa (colture SRF). A fine inverno (marzo 2019) sono state prelevate le talee di pioppo necessarie dai campi sperimentali presenti in sede, scegliendo un clone di pioppo (clone AF18) già utilizzato nelle precedenti prove di campo, che ha dato ottimi risultati nelle specifiche condizioni pedoclimatiche del nostro campo sperimentale.

Le talee di pioppo sono state messe a dimora lungo le file del bambuseto, tra le piante di bambù, interponendo tre talee ogni due piante di bambù, per un totale di 45 talee di pioppo per ciascuna delle 4 file e un totale complessivo di 180 piante. Tale soluzione ha consentito di mantenere

lo stesso disegno sperimentale utilizzato per il bambuseto (blocchi completamente randomizzati) (fig. 1). Ciò consentirà di realizzare il confronto delle tesi irrigue e delle rispettive repliche, per poter valutare statisticamente gli effetti della sperimentazione. In questa prima fase colturale, a circa 3 mesi dal trapianto, è stato riscontrato un elevato grado di attecchimento delle talee (oltre il 95 %) ed uno sviluppo vegetativo soddisfacente dei nuovi germogli emessi in questo periodo.

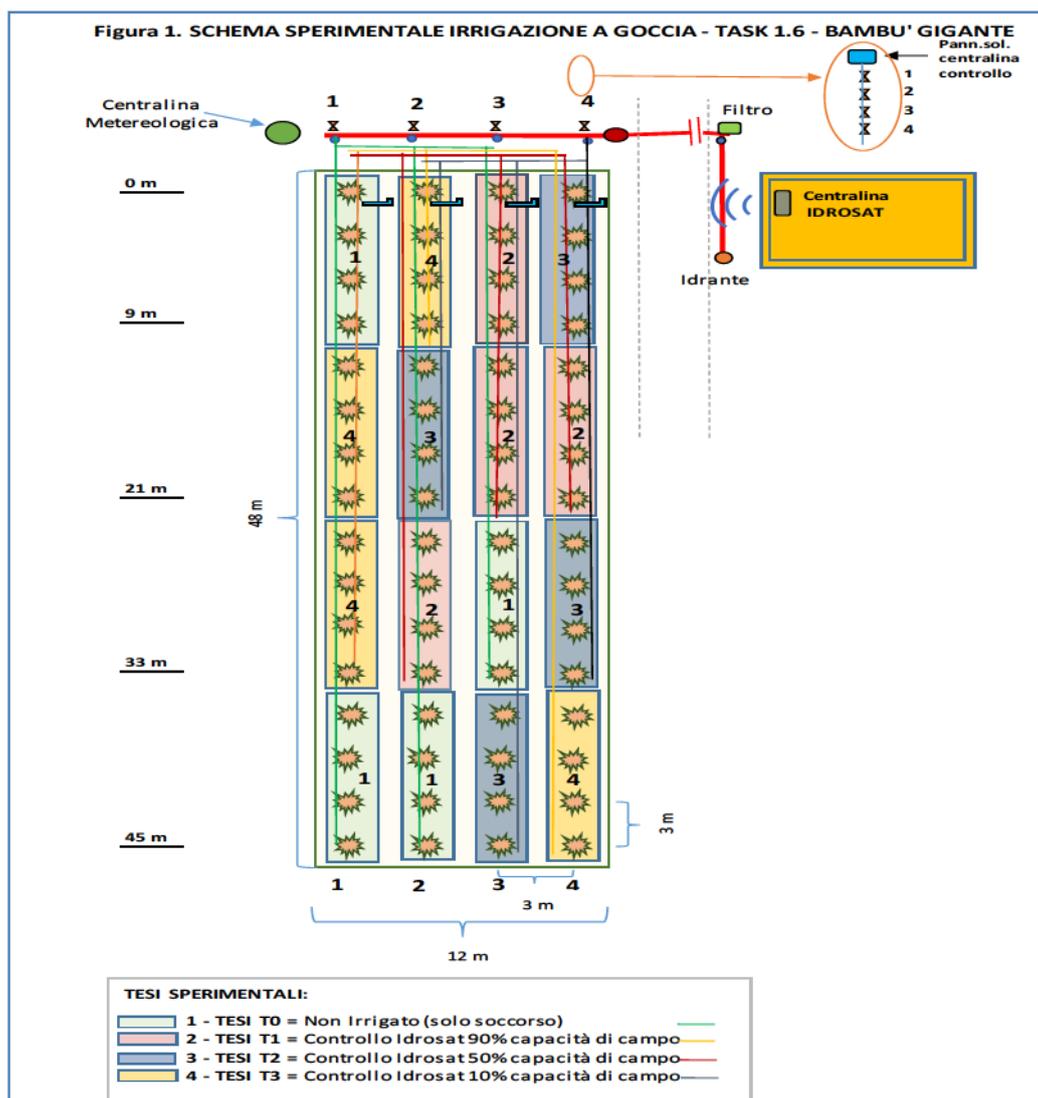


Figura 1. Schema sperimentale a blocchi completamente randomizzati dell'impianto di bambù implementato con talee di pioppo del clone AF18, presso il CREA-IT

Relativamente all'acquisizione dei dati di campo, sono state riscontrate alcune problematiche legate al sistema di rilevamento della centralina irrigua elettronica 'Idrosat' in relazione ai parametri ambientali, temperatura e dati pluviometrici, che hanno reso necessario un frequente 'resettaggio' del sistema di monitoraggio di tali parametri irrigui. Nello specifico, il contatore volumetrico dell'acqua (conta-litri) inizialmente installato ha dimostrato di non essere correttamente



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

dimensionato per l'impianto, di non consentire la misurazione del flusso ad una risoluzione di scala idonea, data la dimensione limitata del campo e dunque della bassa portata di acqua richiesta per irrigare le singole tesi.

Come *upgrade* del sistema, è stato sostituito il pluviometro precedentemente installato per la centralina meteorologica, con un modello dalle migliori caratteristiche costruttive. È stata anche effettuata la predisposizione per l'installazione di un sensore di irraggiamento solare (piranometro), previsto come accessorio da installare per completare la centralina meteo. Siamo in attesa dell'approvazione della variazione di bilancio per poter disporre dei fondi sul capitolo di spesa indicato per l'acquisto richiesto.

Ad inizio primavera è stato effettuato un controllo generale del sistema, per verificare il corretto funzionamento dei componenti: sensori di umidità del terreno, elettrovalvole, centralina irrigua, pannello fotovoltaico e batteria accumulo del pannello ricetrasmittente, linee irrigue e gocciolatori.

In riferimento alla **Linea 3** sono state condotte più volte le lavorazioni di ripuntatura impiegando il "*ripuntatore a piede vibrante*" (nella porzione di terreno interfilare) per migliorare la permeabilità del suolo e contrastare l'asfissia degli apparati radicali. Durante l'esecuzione delle prove di ripuntatura sono stati rilevati i parametri operativi della macchina operatrice, al fine di valutare le prestazioni operative, tra cui l'assorbimento energetico alla pdp della trattrice, i tempi di lavoro ed i consumi di carburante. Successivamente è stata effettuata la pacciamatura lungo le file con materiale vegetale (cippato di Eucaliptus) e materiale organico (compost) quindi è stata effettuata la semina a spaglio di una leguminosa di copertura (favino) nello spazio interfilare con lo scopo di apportare sostanza organica, per migliorare la struttura del terreno e per ostacolare lo sviluppo di erbe infestanti tra le file.

2. Risultati e deliverable

D1.6.7. Organizzazione/partecipazione workshop tematico

In riferimento alla sopraindicata Deliverable, si è svolta la partecipazione agli eventi di seguito elencati.

- Partecipazione ad ottobre 2018 alla fiera "Maker Faire" 12-14 Ottobre 2018. The European edition – Fiera di ROMA. Presso lo Stand del padiglione CREA, è stato illustrato il lavoro realizzato nell'ambito della Linea 2 della task 1.6. È stato realizzato un poster descrittivo del sistema. Inoltre, con la partecipazione della ditta Idrobit, è stato allestito un piccolo modello dimostrativo di irrigazione localizzata, completo di centralina irrigua, sensori di umidità del terreno, stazione meteo, componenti di trasmissione dati via radio, linea di irrigazione con gocciolatori, postazione PC per l'accesso da remoto al portale 'Idrocentral', per il controllo del programma ed il settaggio dei parametri irrigui. Nell'ambito del programma degli eventi della



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Fiera, è stata prevista la partecipazione alla sezione “Lezione aperta tecnologia a cura del CREA”, con un intervento dal titolo: Modelli Di Gestione Irrigazione Sostenibile E Di Precisione (data: domenica 14 Ottobre, 14.00 - 14.15, presso Area Agricoltura Digitale). Si allega la relativa presentazione in PDF predisposta per l'evento.

- Partecipazione alla giornata dimostrativa “Progetto Agroener - Innovazioni per la filiera biomasse e l'efficientamento energetico in agricoltura” del 26 giugno, presso il CREA-IT sede di Monterotondo. Come indicato nel programma della giornata, la partecipazione ha riguardato l'intervento dal titolo: “Gestione efficiente dell'irrigazione localizzata per il risparmio idrico ed energetico”. È stata allestita una postazione dimostrativa presso il campo sperimentale, dove è stato esposto il poster descrittivo dell'attività e l'attrezzatura utilizzata per l'impianto (centralina Idrosat, sensore umidità del terreno), con la collaborazione dei tecnici della ditta Idrobit.

D1.6.8. Acquisizione dati nell'ambito dello svolgimento attività III anno

Nell'ambito della **Linea 1**, è stato effettuato uno studio sul criterio di scelta dell'ala gocciolante, in collaborazione con Piero Santelli, Technical Supervisor della Toro-Irritrol con sede in Fiano Romano (RM). Lo studio ha riguardato l'acquisizione dei dati sui diversi materiali utilizzabili per la realizzazione dell'impianto micro-irriguo, con particolare riferimento alla scelta dell'ala gocciolante, tramite una analisi di convenienza economica ed energetica. I dati tecnici ed i dati economici sono stati impiegati per effettuare un'analisi comparativa di scelta tecnica ottimale in relazione alle specifiche caratteristiche del campo. Per un approfondimento si rimanda alla pubblicazione presentata nell'ambito del convegno ISHS di Matera.

Nell'ambito della **Linea 2**, sono stati rilevati i dati relativi al campo sperimentale, riferiti alle fallanze subite, l'accrescimento vegetativo delle piante di bambù (numero di getti, accostamento, altezza) per una prima valutazione dello sviluppo colturale. Purtroppo, la piena attuazione del programma differenziato di irrigazione (tesi irrigue definite da disegno sperimentale) non si è realizzata a causa delle problematiche di attecchimento del bambù, precedentemente illustrate.

La ditta IDROBIT ha fornito supporto tecnico riferito alla programmazione degli interventi irrigui, ha fornito assistenza tecnica per risolvere alcune problematiche legate al settaggio del sistema di controllo digitale e per l'utilizzo in remoto del portale dedicato alla gestione del programma.

Sono stati eseguiti campionamenti nel campo di prova, per definire le caratteristiche fisico-meccaniche del suolo, in collaborazione con il dott. Claudio Beni, inserito nella task con richiesta inoltrata al coordinatore del progetto ad inizio del terzo anno. Sono stati acquisiti i dati relativi alle caratteristiche di massa volumica, umidità e sforzo di taglio con scissometro.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Nell'ambito della **Linea 3**, sono state condotte le prove meccaniche con il ripuntatore a piede vibrante, per caratterizzare le prestazioni operative dell'attrezzatura innovativa nella esecuzione della lavorazione di ripuntatura localizzata dinamica. I risultati delle prove tecniche sono riportati nella pubblicazione sull'Informatore Agrario, di seguito specificata.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

- Mancato riscontro circa la richiesta di varianti tecnico-scientifiche rispetto a quanto inizialmente previsto in fase di stesura della task. Ad oggi le richieste presentate sono in attesa di essere valutate per l'approvazione.
- Osservata la problematica riferita al mancato sviluppo/accrescimento del materiale vegetale (bambù) potrebbe essere necessario poter concentrare le osservazioni sull'accrescimento delle piante di pioppo, abbandonando la coltivazione del bambù.
- Carezza di personale interno per supportare le attività di campo, che spesso limita il regolare e tempestivo svolgimento delle operazioni colturali necessarie alla buona manutenzione della parcella sperimentale.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Per osservare (in termini sperimentali) l'effettivo e reale consumo energetico richiesto nella tecnica della microirrigazione di tipo localizzato, si sta valutando l'ipotesi di implementazione dell'impianto irriguo con 4 pompe idrauliche ed un serbatoio di accumulo dell'acqua al fine di rilevare direttamente il consumo di energia elettrica per ogni singola tesi sperimentale con sistema di acquisizione digitale collegato ad ogni singola pompa.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Partecipazione al Convegno sull'Irrigazione organizzato dall'ISHS -Irrigation Matera 2019 (IX International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 17-20 June 2019 Matera, Italy). Nell'ambito del programma scientifico del convegno, il lavoro è stato presentato nella sessione poster del 17 giugno, dal titolo "SESSION 1 - Climate and water resource perspectives: social and economic aspects". Il contributo poster: PS1-02 Drip line size selection in micro irrigation design for



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

tree crops: economic and energetic sustainability R. Tomasone, M. Pagano, G. Sperandio, C. Cedrola, A. Acampora, P. Santelli. (link: <http://irrigationmatera2019.com/symposium/programme/>)

Si allega il poster dell'attività presentato al convegno in oggetto.

6. Elenco pubblicazioni

Articolo divulgativo:

M. Pagano, R. Tomasone, C. Cedrola, G. Sperandio, M. Fedrizzi, A. Assirelli, D. Pochi, R. Fanigliulo (2018). Ripuntatura: il piede vibrante, migliora le prestazioni del suolo. *L'informatore Agrario* 37/2018:68-71

Articolo su atti Convegno ISHS Matera:

R. Tomasone, P. Menesatti, M. Pagano, G. Sperandio, C. Cedrola, A. Acampora, P. Santelli (2019). Drip line size selection in micro irrigation design for tree crops: economic and energetic sustainability. IX International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 17-20 June 2019 Matera, Italy. Book of Abstracts

R. Tomasone, P. Menesatti, M. Pagano, G. Sperandio, C. Cedrola, A. Acampora, P. Santelli (2019). Drip line size selection in micro irrigation design for tree crops: economic and energetic sustainability. Full Paper in fase di preparazione per la stampa sugli atti del IX International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, in un volume dedicato di *Acta Horticulturae* dell'ISHS.



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 terzo 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 della terza, quarta e quinta linea di ricerca. Lo studio si è infatti concentrato principalmente nello sviluppo del sistema dinamico della struttura di protezione per individuare, in un arco temporale, le variabili che maggiormente influiscono sul bilancio energetico della stessa struttura produttiva. È avanzato,



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

nell'anno di svolgimento del progetto, il lavoro già attivato, relativo alla 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. Le informazioni raccolte e la ricerca di metodi di trasmissione ed elaborazione dei dati in tempo reale hanno avuto l'obiettivo di creare uno stato dell'arte atto alla valutazione delle possibili vie di implementazione del software di supporto alle decisioni per la messa a punto di un'applicazione informatica, orizzonte della quinta linea di ricerca.

L'attività di ricerca di quest'ultimo anno di studio ha prodotto due articoli scientifici, uno relativo alla sensoristica low-cost per i valori RGB ed uno relativo al monitoraggio delle condizioni micro-climatiche di una struttura di protezione.

1. Attività svolta

Nel terzo anno di attività di ricerca, la Task 1.7 del Work Package 1, al fine di predisporre un sistema dinamico di simulazione che permetta di individuare, nel tempo, le variabili che maggiormente influiscono sul bilancio energetico della struttura produttiva, ha messo a punto un impianto di monitoraggio del microclima del sistema protetto. È stato scelto a tal proposito un sistema semplificato e al contempo rappresentativo della serricoltura del comprensorio, basato su una struttura costituita da un tunnel formato da archi metallici coperti con film plastico normalmente utilizzato per la coltivazione di diversi ortaggi. È stato scelto di coltivare, al suo interno, il basilico (*Ocimum basilicum* L.), una coltura che ha una risposta rapida alle condizioni termo-igrometriche. Tale apprestamento è stato quindi sottoposto a monitoraggio per un periodo di quattro settimane, attraverso un sistema low-cost basato sulla scheda Arduino (fig. 1). Pertanto, sono stati collocati i sensori di temperatura e umidità dell'aria, temperatura e umidità del terreno dei vasi, la radiazione incidente e gli ultravioletti. Sono stati posti sensori anche all'esterno della struttura di protezione per la valutazione del delta termico tra interno ed esterno.



Fig. 1 – scheda Arduino-Uno programmabile per il monitoraggio



Fig. 2 – Sensore per il monitoraggio micro-climatico della struttura

Lo schema di distribuzione della sensoristica è stato scelto in modo tale da ripetere il medesimo assemblaggio in tre moduli al fine di avere le ripetizioni necessarie ai fini delle elaborazioni statistiche.

La disposizione dei sensori in maniera regolare ha permesso di realizzare delle griglie di estrazione dei dati al fine di processamenti di tipo Kriging per la valutazione della distribuzione delle masse d'aria nei diversi momenti della giornata e dell'intero arco temporale anche rispetto alle variazioni dell'energia incidente (luce solare), delle ore del giorno e della notte e delle variazioni meteorologiche avvenute nel periodo di osservazione.

Tali valutazioni predispongono per lo studio delle soluzioni adottabili in serricoltura ai fini del miglioramento dell'uniformità di distribuzione della temperatura e dell'umidità per la coltivazione omogenea dell'intera coltivazione e per la prevenzione della formazione di zone disformi potenzialmente causa di fenomeni patologici.



Fig. 3 – Sistema di monitoraggio termigrometrico

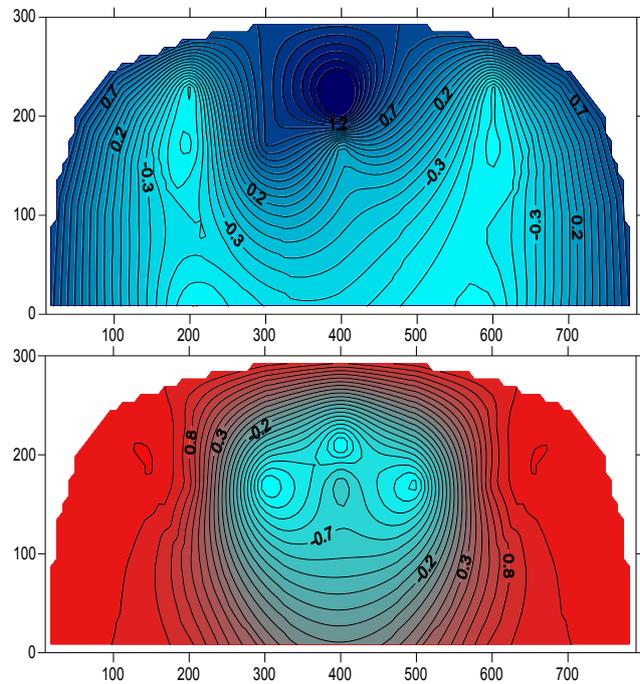


Fig. 4 – Studio delle distribuzioni dei valori per la valutazione della stratificazione delle masse d'aria.

Contestualmente altri studi sono stati rivolti all'utilizzo di sensori a basso costo basati sui sistemi di acquisizione delle caratteristiche fenotipiche e delle variazioni a seguito di input. Sono stati utilizzati sensori RGB, calibrati ed adattati a strutture atte alla lettura immediata della pagina fogliare (Fig. 5). Sono state quindi osservate sia le piante di basilico coltivate nella struttura protetta sia piante coltivate in una struttura irradiata con uno spettro artificiale composto dalla radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), al fine di studiarne la differente lettura ed interpretazione dei valori. A tal fine sono stati eseguiti rilievi in diversi momenti colturali ed in diverse fasi del giorno.

Le frequenze registrate dal sensore sono state convertite in valori RGB e testati con una scheda colorimetrica composta da 18 campioni cromatici e 6 acromatici le cui cromaticità sono fornite dal produttore (X-Rite Color Checker) per valutarne la correlazione (fig. 6).

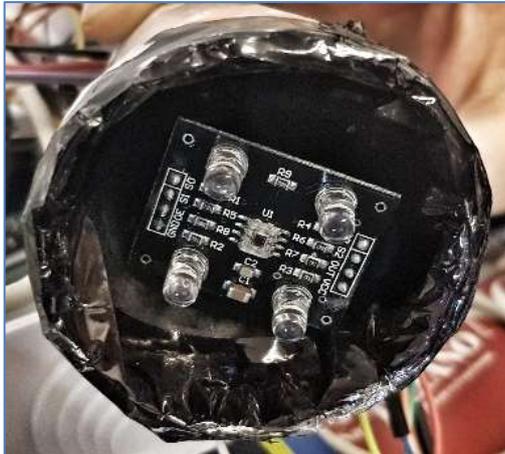


Fig. 5 – Sensore RGB con cameretta di lettura.

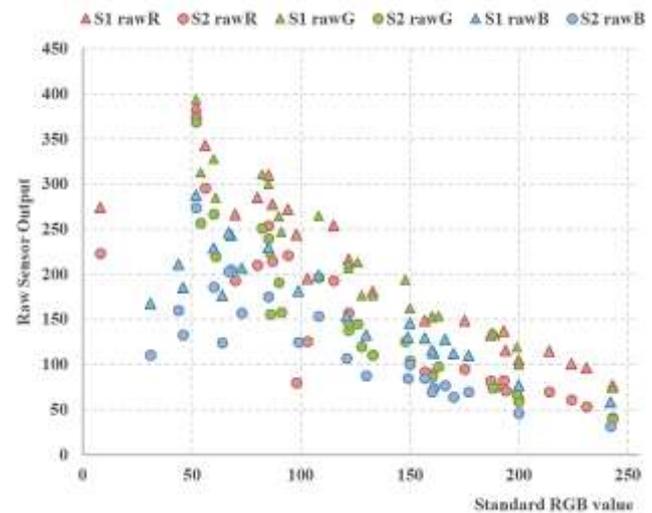


Fig. 6 - rappresentazione grafica dei valori dei sensori a basso costo rispetto alla cromaticità standard del Color controller.

L'attività di studio del bilancio energetico ha previsto, anche in questo anno, 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 di ricerca di quest'ultimo anno di studio ha permesso di predisporre due articoli scientifici, uno in corso di stesura relativo alla capacità scientifica di una sensoristica low-cost basata sulla lettura dei valori di RGB correlabile alla condizione nutritiva di una coltura posta in condizioni controllate ed in una struttura di protezione. Il secondo articolo dal titolo "A METHOD TO IMPLEMENT A MONITORING SYSTEM BASED ON LOW-COST SENSORS FOR MICRO-ENVIRONMENTAL CONDITIONS MONITORING IN GREENHOUSES" è stato accettato per essere presentato alla International Mid-Term Conference 2019 dell'AIIA (Italian Association of Agricultural Engineering sul tema della "Biosystems Engineering for sustainable agriculture, forestry and food production" che si terrà a Potenza e Matera presso l'Università della Basilicata il 12 e 13 settembre 2019.



3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Per quanto riguarda la terza linea di ricerca, da cui dipende la quarta linea, il sistema di simulazione, già prestante, necessita ancora di essere completato e poi validato con i dati raccolti in differenti sessioni. Sono previsti pertanto ulteriori momenti di raccolta dei dati micro-climatici presso la nostra struttura e presso aziende operanti nel settore.

La quarta linea di ricerca, consistente nella predisposizione del software di supporto alle decisioni in base alle caratteristiche costruttive della struttura di protezione, si consoliderà in base ai risultati ottenuti dal sistema di simulazione e potrà dare le basi per l'implementazione della quinta linea di ricerca relativa alla possibilità di uso di strumenti basati su realtà aumentata o applicazioni informatiche (App).



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 terzo anno di attività del progetto, in riferimento alla linea 1 di attività, è stata condotta una prova di confronto e valutazione di due sistemi di riscaldamento basale di tipo innovativo installati nella serra in dotazione a CREA-OF utilizzando come sorgente di calore due pompe di calore installate secondo due differenti schemi impiantistici. Per la coltivazione è stata utilizzata la specie *Impatiens Walleriana*, in combinazione con trattamenti a base di *Trichoderma* e 2 diversi substrati di coltivazione a base di torba in un caso e fibra di cocco nell'altro. Quest'ultimo aspetto è stato particolarmente rilevante per la valutazione di substrati di coltivazione più ecosostenibili della torba nella coltivazione di piante da bordura allevate con la tecnica del riscaldamento basale. Dai risultati delle prove, non ancora sottoposti ad analisi e valutazione per quanto riferibile alla linea 2 di attività, sembra emergere che lo schema impiantistico testato, che prevede il posizionamento dell'evaporatore della pompa di calore in un ambiente chiuso confinante, consenta di ottenere il riscaldamento della coltura con consumi energetici inferiori.

1. Attività svolta

Nell'inverno 2018-2019 è stato impostato un esperimento per testare la crescita in vaso di *Impatiens Walleriana* in ambiente protetto, affiancata dalla simbiosi con *Trichoderma* (fungo simbiotico ad elevata attitudine biostimolante) utilizzando due sistemi di riscaldamento simili che differivano soltanto per la collocazione della sorgente di calore. Le reti idrauliche di distribuzione del calore, identiche nelle due tesi e consistenti in innovative tubazioni in PE di tipo coassiale, erano già state precedentemente testate in altre prove in funzione di impianto per il riscaldamento basale. Queste



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

reti idrauliche innovative sono state integrate con l'impiego di sorgenti di calore basate sulla tecnologia delle pompe di calore. A ciascuna di queste reti idrauliche era collegata una pompa di calore e la fondamentale differenza tra i due impianti era rappresentata dalla collocazione degli evaporatori (unità esterne) delle pompe di calore: nella prima tesi l'evaporatore era collocato all'esterno della serra ed esposto alle condizioni climatiche naturali. Nella seconda tesi l'evaporatore era invece collocato all'interno di una serra non riscaldata adiacente a quella in cui si conducevano le prove. La coltura e l'ambiente interno ed esterno sono stati dotati di strumentazione per il monitoraggio della temperatura mentre i consumi di energia elettrica delle pompe di calore sono stati rilevati con datalogger. La temperatura del substrato e l'umidità in prossimità della coltura nonché degli ambienti interno ed esterno sono state monitorate con strumenti datalogger. I consumi di gasolio e di energia elettrica sono stati monitorati con strumenti presenti installati sul bruciatore e sulle pompe di calore. In totale sono stati utilizzati 27 datalogger: 24 distribuiti nei bancali (2 per ogni bancale), 2 posizionati all'interno della serra e 1 all'esterno della serra. I substrati utilizzati sono stati analizzati per la determinazione dei principali parametri fisici: sono state effettuate analisi attraverso curve di ritenzione idrica secondo il metodo De Boodt et al. (1974) per la determinazione di

- Densità apparente
- Porosità totale
- Contenuto volumetrico idrico a diverse tensioni (1, 2, 3, 4, 5 e 10 kPa)
- Percentuale in volume di acqua disponibile

Per quanto riguarda i parametri chimici sono state condotte analisi per la determinazione di:

- pH (tramite estratti acquosi)
- EC (tramite estratti acquosi)
- C
- tutti i macro elementi
- tutti i micro elementi + Cl e Na

Le piante sono state sottoposte a rilievi distruttivi per la determinazione della biomassa prodotta in termini di foglie, steli, radici e fiori. I tessuti delle piante sono stati quindi campionati e stoccati per le analisi che saranno condotte in laboratorio. Inoltre, sono state condotte analisi per la valutazione ecofisiologica della pianta durante la coltivazione.



2. Risultati e deliverable

I dati rilevati sono ancora in corso di valutazione ma da una prima analisi sembra emergere che il posizionamento dell'evaporatore in un ambiente confinato non riscaldato (serra fredda) possa consentire una riduzione dei consumi energetici il cui ammontare non appare trascurabile. Per ciò che concerne la combinazione con Trichoderma è stata evidenziato un maggiore (significativo) sviluppo della parte vegetativa e riproduttiva della pianta con conseguente miglioramento delle qualità commerciali. La presenza di due diversi substrati non ha evidenziato particolari effetti in termini quali-quantitativi sul prodotto finale. Tuttavia, si deve rimarcare che con la sperimentazione del terzo anno è stato possibile valutare, in impianti con riscaldamento basale coassiale, la possibilità di utilizzare un substrato alternativo alla torba come il cocco che per alcuni aspetti risulta un materiale maggiormente ecosostenibile della torba essendo un prodotto di scarto di altre attività industriali.

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

Le attività del task 1.8 del progetto AGROENER sono state proposte ed accettate come parte principale del progetto di dottorato di ricerca in Engineering for energy and environment del dott. Marco Fedrizzi, in svolgimento presso il dipartimento DEIM dell'Università degli studi della Tuscia (Viterbo). Il dott. Gianluca Burchi è stato scelto come tutor del dottorando.

Nel periodo in esame è stato bandito un concorso pubblico per l'assegnazione di un assegno di ricerca della durata di 16 mesi: è risultato vincitore il dott. Alessandro Orlandini.



6. Elenco pubblicazioni

In corso di pubblicazione

Fedrizzi M., Terrosi C., Cacini S., Burchi G., Cutini M., Brambilla M., Bisaglia C., Figorilli S., Costa C., Massa D. Evaluation of coaxial pipes for basal heating as alternative heating system for leafy vegetables Biosystem Engineering for sustainable agriculture, forestry and food production, Conference Proceedings Book, International Mid-Term Conference 2019, Italian Association of Agricultural Engineering (AIIA) Potenza/Matera, University of Basilicata, September 12-13, 2019



WP2: Sviluppo della filiera delle biomasse solide agroforestali

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

Abstract

Il WP2 riunisce una serie di studi incentrati sulla filiera delle biomasse solide agroforestali, che ricadono in due distinti settori di ricerca. In particolare, i Task 2.1, 2.3, 2.4 e 2.5 rientrano 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 Taks 2.1 (Sistemi di compattamento per biomasse residuali), nel terzo anno di attività sono stati studiati, per le colture erbacee, la possibilità di raccolta dei residui colturali di una coltura di canapa di secondo raccolto, e per le colture arboree prove di espianco di colture di pesco, con possibilità di raccolta della biomassa dell'intera pianta e della sola parte aerea. Le prove di compattamento delle biomasse raccolte sono state eseguite con attrezzature di provenienza non agricola, ed hanno permesso di individuare metodologie in grado di ridurre gli interventi necessari a portare all'impianto di trasformazione energetica un prodotto idoneo. Di particolare importanza per gli impianti è che le biomasse prodotte non siano inquinate dalla presenza di terra. Le attività di divulgazione sono proseguite con la partecipazione alla 27 Conferenza internazionale EUBCE2019, tenutasi a Libona dal 27 al 30 maggio 2019, e con la giornata dimostrativa tenuta presso il CREA-IT di Monerotondo in data 26 giugno 2019.

Il Task 2.2 (Colture e tecniche innovative per la produzione di bioenergia) è articolato su due linee di ricerca: Linea 1 canna comune (*Arundo donax*) e Linea 2 cardo mariano (*Silibum marianum*). Per la Linea 1 è stato condotto, per il terzo ed ultimo anno, un esperimento di confronto fra tre strategie di raccolta della canna comune (due doppie raccolte ed una raccolta unica a fine estate). I dati raccolti hanno fornito 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 il primo taglio ed il secondo taglio dei trattamenti DR1 ed DR2 è avvenuto in periodi di elevata concentrazione di N della biomassa; iii) malgrado la minore produzione di biomassa, le raccolte estive hanno determinato un sensibile incrementato delle quantità di azoto asportato dalla coltura. I dati raccolti nel terzo anno sono coerenti con quelli raccolti nel biennio precedente. Le attività di divulgazione sono proseguite con la presentazione di contributi alla 27 Conferenza internazionale EUBCE2019, tenutasi a Libona dal 27 al 30 maggio 2019

Per la linea 2, durante l'annata agraria 2018-2019 è stata avviata la valutazione agronomica del cardo mariano seminato su sodo e con due livelli di concimazione azotata. Utilizzando il genotipo di *S. marianum* denominato G20 che durante le prime 2 annate di sperimentazione ha dato i risultati più interessanti da un punto di vista quantitativo e qualitativo, si è allestito un campo sperimentale



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

seminato su sodo (precessione girasole, presso l'azienda sperimentale di Anzola, Bologna). La semina è stata eseguita utilizzando una seminatrice portata (Gaspardo). Durante lo sviluppo della coltura sono stati eseguiti i rilievi di accrescimento oltre alla misura della densità di piante per m² e della produttività finale. La raccolta delle parcelle è stata effettuata alla fine del mese di giugno 2019 e i campioni sono attualmente in fase di essiccazione e trebbiatura. La risposta del cardo mariano alla semina su sodo è stata molto buona, in particolare nelle parcelle che hanno ricevuto la concimazione azotata più elevata (100 U), questo ha causato un significativo allettamento della coltura in varie zone del campo rendendo difficoltose le operazioni di raccolta.

Per il task 2.3 (Valorizzazione delle biomasse lignocellulosiche per la produzione di energia termica), nel terzo anno di attività, sono state condotte presso il CREA-IT di Monterotondo tre distinte prove di stoccaggio di eucalipto giunto a fine turno (5° anno) del ciclo di rotazione MRF: i) Stoccaggio di eucalipto in tronchi interi accatastati; ii) Stoccaggio di eucalipto in tronchetti confezionati in sacchetti retati; iii) Stoccaggio di eucalipto cippato in cumulo coperto e scoperto. Lo stoccaggio delle piante intere è risultato migliore in termini di perdita di umidità, evidenziando anche ridotte perdite di sostanza secca rispetto agli altri sistemi utilizzati. Lo stoccaggio dei tronchetti insacchettati ha mostrato risultati molto simili a quello delle piante intere. Per contro, il cippato stoccato in cumuli ha evidenziato perdite più elevate di sostanza secca, ed un'umidità finale molto simile alle condizioni di partenza.

Il task 2.4 (valorizzazione delle biomasse forestali residuali), è articolato su due linee di ricerca: Linea 1 (Coltivazioni) e Linea 2 (Analisi dell'impatto ecologico). Per il terzo anno, per prima linea di attività sono stati effettuati rilievi dendrometrici su una piantagione di *Pinus radiata* ubicata all'interno dell'azienda del CREA-FL di Roma Casalotti. Rispetto al programma originario, si è deciso di intervenire sul pino piuttosto che sul cedro poiché è in atto una moria diffusa e rapida di pini e si prevede la rinaturalizzazione dei popolamenti di conifere più colpiti. I rilievi hanno permesso di individuare i soggetti da sottoporre a taglio nel diradamento che sarà effettuato nel prossimo anno. La piantagione ha un'età di circa 40 anni, un sesto d'impianto in quadro con interdistanza di m 3 ed una superficie di circa 4 ha. Sono stati effettuati, inoltre, nelle due parcelle di ceduo di eucalipto utilizzate tra il 2017 e il 2018, dei rilievi per verificare la vitalità delle ceppaie al quarto ciclo agamico. In collaborazione con la task 5.1, è stata costituita una piantagione SRF con cloni diversi di pioppo. Sono inoltre proseguiti i rilievi iniziati nel 2018, all'interno di transect, nelle due aree di ceduo di eucalipto sottoposte a taglio con l'applicazione di due diversi sistemi di lavoro: quello del "legno corto" e quello "dell'albero intero". I risultati raccolti sono stati presentati al IV Congresso Nazionale di Selvicoltura, tenutosi a Torino il 5-9 Novembre 2018. Inoltre, il giorno 10 ottobre 2018 è stata organizzata una giornata dimostrativa sul recupero e la valorizzazione delle biomasse forestali residuali. presso dell'azienda del CREA-FL di Roma Casalotti, in collaborazione con il CREA-IT.

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



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

del materiale legnoso). Nel terzo anno di attività è proseguito lo schema di lavoro consolidato nell'anno precedente, con il rilievo dei tempi nei cantieri di lavoro condotti con le due modalità operative principali ("tree-climber" in arrampicata, e con piattaforma elevabile PLE) seguendo cantieri di abbattimento e potatura di alberi in ambiente urbano. Sono state inoltre stimate le quantità di biomassa ottenibile da ciascuna lavoro. Un'analisi economica analitica ha inoltre permesso di evidenziare i costi dei cantieri, fornendo una stima del valore di produttività e permettendo il confronto tra i cantieri tramite indici di comparazione. Sono inoltre proseguite le valutazioni analitiche del contenuto in metalli pesanti e in micro e macro-elementi di campioni di legno e foglie raccolti dagli alberi soggetti agli interventi di gestione. Le due modalità di lavoro (tree-climbing o PLE) presentano valori simili di ripartizione delle fasi di lavoro quando viene effettuata la potatura della pianta, con valori non troppo dissimili sia in termini assoluti che relativi. Un altro dato da notare è che con la PLE emerge una quota non trascurabile di TME, probabilmente legati alla maggiore complessità nell'uso della piattaforma oppure all'organizzazione del cantiere di lavoro quando questo è localizzata lungo le strade. Le operazioni di abbattimento della pianta, invece, si differenziano maggiormente nelle due modalità, evidenziando che l'impiego della PLE presenta maggiori quote di tempi produttivi e una generica maggiore velocità di esecuzione del lavoro. Nell'ambito delle attività del task 2.5 sono state realizzate due giornate dimostrative: il giorno 10 ottobre 2018, "Biomassa forestale: da residuo a risorsa" tenutasi presso l'Azienda Ovine di Roma del CREA-FL, ed il giorno 26 giugno 2019, "Recupero della biomassa da gestione del verde urbano: dimostrazione potatura in tree-climbing" presso il CREA-IT di Monterotondo.

Il Task 2.6 (Potenzialità produttiva e servizi ambientali di colture da energia su suoli marginali) 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).

Linea 1 – E' stata estesa la base dati relativa ai parametri colturali da utilizzare nelle fasi di calibrazione e applicazione delle soluzioni di modellazione (MS) a scala nazionale. Gli strati informativi pedologici prodotti nei primi due anni di attività (profondità utile e degli orizzonti funzionali, pH, contenuto di carbonio organico, tessitura, scheletro e capacità di scambio cationico; 500 x 500 m di risoluzione a copertura nazionale) sono stati validati mediante analisi di incertezza ed errore, grazie al confronto con altre banche dati (e.g. SOILGRID del Joint Research Centre della Commissione Europea). La metodologia utilizzata nella definizione degli strati informativi è stata formalizzata per essere pubblicata su una rivista scientifica ISI. La risorsa dati prodotta è stata trasferita in cloud e condivisa con il progetto AgriDigit, anch'esso finanziato dal MIPAAFT. Sono state prodotte mappe di produttività potenziale delle colture in termini di biomassa anidra (250 m di risoluzione), che sono state poi incrociate con le mappe di land suitability e availability precedentemente prodotte: tale operazione ha consentito di costruire una mappa di land assignment che attribuisca ad un dato pixel ricadente nelle aree ad elevata marginalità mappate la coltura più produttiva e più vocata (> suitability score) tra tutte quelle considerate. È stato infine effettuato il calcolo della biomassa potenzialmente ottenibile nel raggio di 70 km da ciascun pixel,



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

informazione che è stata successivamente usata come proxy della disponibilità di materia prima da filiera corta per alimentare bioraffinerie di nuova realizzazione.

Linea 2 - In questo ambito le attività si sono focalizzate sull'aggiornamento delle MS sviluppate nel corso dei primi due anni di attività, integrando modelli specifici per simulare le produzioni di camelina (CAMEL - Camelina sativa L. Crantz) e crotalaria (SunnGro - Crotalaria juncea L.) in risposta a diverse strategie di gestione colturale (date e densità di semina, epoche di raccolta). Tali modelli sono stati implementati come componenti indipendenti nella piattaforma BioMA, che consente la rappresentazione modulare dei sistemi caratterizzata da elevata granularità. Un altro importante filone di attività ha riguardato la progettazione prima, e la realizzazione poi, dell'infrastruttura cloud - basata su tecnologia Microsoft Azure - all'interno della quale tutti i dati (i.e. meteo, suolo, pratiche gestionali, parametri dei modelli) e le procedure da utilizzare nell'ambito del progetto verranno via via trasferiti in specifici repository. A ciascun repository è associata una API (Application Program Interface) Web che permette di estrarre dati sempre aggiornati ed accessibili da qualsiasi punto della rete, senza necessità di conoscere la struttura logica sottostante. Tale scelta operativa è di cruciale importanza per la pubblicazione dei dati in modo FAIR e per garantire la tracciabilità delle versioni degli artefatti software sviluppati, la loro massima riutilizzabilità, la standardizzazione delle procedure di analisi e la ripetibilità dei risultati.

Linea 3 - L'attività svolta ha riguardato la calibrazione e validazione di quattro MS BioMA: 1) CropSyst e WOFOST utilizzando dati raccolti su cardo nel periodo 2010-2012 presso la località di Rutigliano (BA). Le variabili target selezionate per la calibrazione sono state: contenuto idrico del suolo, biomassa aerea (AGB) e indice di area fogliare (LAI); 2) CAMEL con dati raccolti nel periodo 2015-2017 presso la località di Cadriano (BO). Le variabili guida per la calibrazione hanno incluso la resa e il contenuto di olio nel seme; 3) SunnGro adoperando dati raccolti nel periodo 2016-2018 presso la località di Cadriano (BO). Le variabili target selezionate per la calibrazione sono state: numero di branche e foglie per pianta, AGB e LAI. I risultati ottenuti hanno rivelato un'elevata accuratezza dei modelli utilizzati nel simulare le dinamiche stagionali delle variabili biometriche selezionate per le colture annuali; risultati più incerti sono stati ottenuti nella simulazione del cardo, dove appare necessario ridurre la sottostima sistematica prodotta nella fase precoce e centrale del ciclo produttivo per entrambe le variabili produttive.

Il completamento dell'attività delle linee 1, 2, 3 e 4 è prodromico per le attività della linea 4.

Attività di divulgazione nell'ambito del Task 2.6: 1) seminario intitolato "Colture Agroenergetiche: potenzialità nell'ambiente mediterraneo" tenuto presso la sede di Bari del CREA-AA; 2) in data 3 luglio 2018; 2) Partecipazione al 21esimo Congresso Mondiale della Scienza del Suolo (21st World Congress of Soil Science) tenutosi a Rio de Janeiro, Brasile, dal 12 al 17 agosto, 2018 durante il quale è stata presentata la carta del carbon stock italiano (<http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data-new/global-soil-organic-carbon-gsoc-map/en/>), che costituisce un sottoprodotto del progetto AGROENER; 3) Partecipazione al convegno annuale della Società Italiana di Scienza del Suolo, tenutasi a Palermo dal 10 al 13 settembre 2018.



Task 2.1 Sistemi di compattamento per biomasse residuali

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

Linea 1 di attività: valutazione delle possibilità di equipaggiamento di mietitrebbiatrici in raccolta di cereali, leguminose e mais di sistemi di separazione e compattamento integrati all'operatrice

Referente: dott. Andrea Cocchi

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

Referente: dott. Andrea Cocchi

Abstract

L'attività può essere considerata equamente ripartita fra una parte di campo volta alle prime valutazioni del separatore sviluppato in collaborazione con azienda italiana di macchine agricole per l'applicazione su mietitrebbie per la raccolta dei sottoprodotti ed una parte di elaborazione dati e divulgazione scientifica sui sistemi di gestione di biomasse residuali sia erbacee sia arboree. Le tipologie di sottoprodotti su cui ci è focalizzati per quanto riguarda le erbacee nel primo anno di utilizzazione sono state solo i residui di trebbiatura di canapa, mentre per quanto riguarda le arboree si è completata l'elaborazione dei dati relativi all'espianco di arboreti da frutto iniziati l'anno precedente e conclusi nei primi mesi del 2019. Per quanto riguarda le parti di campo sono stati effettuati i primi test di impiego del separatore su coltura di canapa in secondo raccolto che, nonostante le avverse condizioni di prova hanno fornito interessanti risultati e spunti di perfezionamento secondo i principali parametri di coltura rappresentando un importante obiettivo della sperimentazione. Per quanto riguarda le colture arboree ci si è focalizzati sull'elaborazione dei dati relativi agli espianco dei frutteti ed alla comparazione delle diverse linee di raccolta seguite, prevalentemente di derivazione industriale con e senza compattamento, volte alla qualificazione e valorizzazione di tali prodotti ed alla possibilità di aumentarne la densità per ridurre i costi di movimentazione.

1. Attività svolta



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

L'attività di realizzazione del separatore ha avuto inizio dalla progettazione guidata da criteri di versatilità sia in termini di possibilità applicative sia di modalità gestionali per potersi adeguare a diverse tipologie di colture da granella potenzialmente disponibili ed in grado di fornire sottoprodotti caratterizzati anche da diversa possibilità di valorizzazione. Per la realizzazione ci si è dovuti rivolgere a ditte e personale di qualificata esperienza nel settore delle macchine da raccolta soprattutto nei confronti dei principali costruttori che ne potessero approvare l'installazione sulle proprie macchine. La realizzazione eseguita secondo concetti di modularità consente un'agevole installazione su diverse tipologie di macchine caratterizzate da diversi principi dimensionali e funzionali.

La realizzazione del separatore ha occupato i primi sei mesi del 2018 consentendo le prime verifiche funzionali a metà luglio del medesimo anno per cui per i primi test non erano più disponibili cereali autunno vernini per i quali si è rimandato all'anno successivo.

I primi test sono stati effettuati su coltura di canapa coltivata in secondo raccolto dopo frumento ed i risultati si sono mostrati piuttosto interessanti soprattutto anche nell'iniziale esigenza di non influenzare le performance originali della raccogliatrice soprattutto in funzione del quantitativo di sottoprodotto recuperato. Il separatore viene applicato sul posteriore inferiore della raccogliatrice e provvede a separare e convogliare a parte i sottoprodotti di trebbiatura in uscita dal sistema di pulizia della macchina, pressochè indipendentemente dalla tipologia funzionale di sistema adottato. I rilievi sono stati effettuati su varietà Futura, in località "San Pietro in Campiano", Comune di Ravenna (RA), seminata in data 20/06/2018, come coltura di secondo raccolto, successivo a frumento con una distanza interfilare di 25cm. Il campo occupato dalla coltura ha una superficie di circa 5000 m². Durante i rilievi pre-raccolta sono state individuate tre aree di un mq rappresentative di tre distinte aree di coltura, lato capezzagna, lato mediano e lato opposto, trascurando i primi 10 m di inizio e fine appezzamento.

I campioni, CAM 1-2-3 sono stati scelti in maniera random nelle porzioni di appezzamento ritenute comunque rappresentative della coltura. Da ogni zona campionata sono state asportate tutte le piante recidendole dall'altezza del colletto, per poi essere trasportate al laboratorio dove sono stati svolti i rilievi necessari su di esse. Per ogni campione di piante sono stati contati i fusti presenti e una volta separate tutte le sue parti sono state pesate per avere una ripartizione in peso della pianta di canapa: in particolare si sono andati a ricercare i dati di peso del seme trebbiato, delle infruttescenze (dopo la trebbiatura), dei primi 10 cm di fusto, dei seguenti 10 cm e infine della restante parte di fusto. La canapa è una tipologia di pianta che spesso presenta ampia difformità all'interno dello stesso appezzamento, che se possibile viene accentuata nei casi di semina come secondo raccolto: infatti la densità di piante giunte alla maturazione dei semi era molto variabile.

I semi sono stati separati dalla restante parte vegetale manualmente seppur simulando il lavoro di una mietitrebbiatrice, ovvero senza esercitare troppa forza, per non rimuovere quei semi ancora verdi che tramite una corretta trebbiatura meccanica non andrebbero separati.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Per quanto riguarda il fusto, con la finalità di osservare come varia il peso al crescere dell'altezza di taglio, si è deciso di effettuare un primo taglio di tutti i fusti a 10 cm dal suolo, un secondo taglio a 20 cm dal suolo e infine misurare i pesi dei primi 10 cm, dei successivi 10 cm e della restante parte.

Tutti i campioni ottenuti sono stati posti in essiccatoio alla temperatura di 65 gradi centigradi per verificare la quantità di acqua contenuta nelle varie piante al momento della raccolta. Per quanto riguarda il peso delle cime senza semi, essendo impossibile porre tutto il materiale collezionato in stufa, sono stati presi da essi dei sub-campioni comunque rappresentativi della produzione.

I dati ottenuti ancora in fase di elaborazione saranno oggetto di prossima specifica pubblicazione rappresentando una prima esperienza anche su secondi raccolti.

L'estirpazione degli arboreti da frutto anche per l'ordinaria sostituzione di fine ciclo produce una elevata quantità di biomassa, che può essere valorizzata con finalità energetiche secondo diversi percorsi e tecnologie. Il presente studio ha avuto lo scopo di valutare alcune linee di espianto in grado di produrre biomassa di diversi aspetti qualitativi con valutazioni energetiche ed economiche. Il lavoro ha rappresentato una prima esperienza di impiego di cantieristica industriale per lo scopo adattata a biomasse residuali da agricoltura. Partendo da un impianto di pesco al 14° anno, allevato nel nord Italia con la forma di allevamento "Vasetto Ritardato" si sono confrontate la raccolta dei soli apparati epigei delle piante prive dell'apparato radicale, con l'estirpo dell'intera pianta comprensiva del ceppo. Sono state eseguite le seguenti operazioni: raccolta dei materiali in campo (apparato ipogeo e intera pianta, rispettivamente), il loro accatastamento e il loro caricamento sotto forma di materiale compattato o sfuso sui mezzi di trasporto verso il centro aziendale ove sono state eseguite per parte epigea direttamente cippatura, mentre per pianta intera si è eseguito premacinatura e pulizia ad opera di vaglio rotativo al fine di ridurre l'inquinamento da terra tipico degli apparati radicali. In seguito, il materiale lavorato in azienda è stato nuovamente caricato e trasportato per la valorizzazione finale per mezzo sia di autoarticolati sia di autotreno.

Sono stati quindi presi in esame diversi aspetti:

- la resa di estrazione/accatastamento della biomassa, considerando l'impatto dei costi d'uso della macchina, carburante e manodopera necessaria, e l'impatto del tempo di accatastamento del materiale;

- efficienza di caricamento del materiale compattato o sfuso su un autoarticolato (capacità 90 m³) e su un autotreno (capacità 55 m³ per via dei cassoni metallici scarrabili che pur agevolando la logistica riducono volume utile);

Dal presente studio è risultato che l'estrazione delle piante intere, se opportunamente trattate (premacinatura e pulizia) può portare all'ottenimento di biomassa qualitativamente e commercialmente equiparabile alla sola parte aerea. La riduzione del doppio intervento consente di ridurre i costi dovuti all'operazione di pulizia ausiliaria comunque in grado di ridurre le impurità al settaggio utilizzato fino al 15 %.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Lo scopo del presente studio è stato quello di valutare diverse linee di espianto frutteti valutando efficienza e qualità del prodotto ottenuto soprattutto inerente la valorizzazione energetica della biomassa espiantata. I risultati di questo studio possono essere interessanti per tutti gli operatori coinvolti nella filiera, gli agricoltori per la possibilità di espiantare con un minor numero di interventi in campo con vantaggi agronomici importanti, i contoterzisti raccoglitori per la possibilità di recupero di un maggior quantitativo di biomassa grazie alle ceppaie commercialmente valorizzabile e sviluppo di centri di lavorazione di maggior efficienza ed i costruttori di macchine agricole e cantieristica industriale (soprattutto premacinatrici e vagli) per ampliamento delle possibilità d'impiego dei loro cantieri di lavoro anche al settore agricolo.

I principali vantaggi delle soluzioni esaminate sono rappresentati da:

- Aumento biomassa valorizzabile da espianti frutteti per sostituzione fine ciclo o cambio specie/varietale
- Valorizzazione biomassa ipogea secondo specifiche destinazioni
- Riduzione operazioni di campo nell'espianto frutteti
- Riduzione costi di trasporto grazie compattamento
- Riduzione inquinamento da terra

2. Risultati e deliverable

La canapa è una tipologia di pianta che spesso, anche in coltura principale, presenta ampia difformità all'interno dello stesso appezzamento, che se possibile viene accentuata nei casi di semina come secondo raccolto: infatti la densità di piante giunte alla maturazione dei semi era molto variabile. Il ciclo colturale non ha evidenziato regolare andamento pluviometrico per cui si è dovuto intervenire con periodici interventi irrigui per garantire un minimo sviluppo vegetativo. Il ciclo si è concluso in meno di 4 mesi e la tardiva semina ha positivamente ridotto lo sviluppo in altezza. Per quanto riguarda la densità ottenuta, nei 3 campioni selezionati nella presente ricerca sono stati rilevate le seguenti rispettive densità: 47-95-72 p/m².

La canapa presenta una caratteristica maturazione scalare del seme, che si traduce in una presenza simultanea di semi a diverso grado di maturazione partendo dalla zona basale che presenta il maggior grado di maturazione e spesso anche le prime cascole che possono essere aggravata da vento, maltempo e agenti atmosferici in genere. Per quantificare il dato relativo alla produzione teorica si è ritenuto opportuno fare una stima dei semi caduti al suolo, per evidenziare campioni nei quali si è verificata una maggiore o minore caduta. Per ogni zona campionata dalla superficie di 1 mq, sono stati effettuati 3 sub-campioni in posizioni random di 10 x 10 cm, all'interno dei quali sono stati contati i semi a terra che in valor medio hanno mostrato le seguenti densità 17-13.3-16.6 n°/dm².



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

I semi sono stati separati dalla restante parte vegetale in maniera manuale, cercando di non risultare troppo aggressivi per non causare il distacco di quelli meno maturi, cercando cioè di emulare l'effetto che una corretta trebbiatura dovrebbe fare evitando la raccolta di granella ancora alle prime fasi di sviluppo.

La granella ed il sottoprodotto ottenuti sono stati tempestivamente inviati ad un centro gestione sementi specializzato nella pulizia ed essiccazione tramite appositi cassoni ventilati di altezza nota. L'operazione successiva al processo di essiccazione in stufa (ovvero dopo 48h a 65°C) è stata quella di pulire il seme raccolto dalle impurità. Infatti, le brattee e le foglioline che avvolgevano il seme, dopo l'essiccazione risultavano essere molto friabili, tanto da essere polverizzate a mano, per tanto è risultato semplice separarle dai semi utilizzando dei vagli di foratura nota di due misure successive: il primo di 3 mm, il secondo da 2 mm. Pertanto, dopo il processo di pulizia si è stati in grado di avere per ciascun campione il peso dei semi di canapa di dimensioni >2mm e quelli di dimensioni <2mm.

Con il seme essiccato, ripulito dalle impurità si è provveduto a stimare il peso medio di 1000 semi. Per misurarlo, le due qualità di seme di ciascun campione sono state mischiate, poi sono stati contati e pesati 500 semi random, dal quale è stato ottenuto il peso medio di 1000 semi (15,7 g) e la perdita di seme a terra che ha presentato un valore medio di 24.9 g di seme perso in pre-raccolta, per mq di superficie.

La raccolta meccanica ha portato all'ottenimento di 330 kg di granella al 32% di Umidità ed impurità pari al 8% comunque rappresentate prevalentemente da parti di infiorescenza che sono subito state aggiunte al prodotto raccolto dal separatore dedicato. Il separatore applicato posteriormente che in questa prima applicazione non prevedeva ancora sistema di raccolta integrato è stato collegato ad un saccone appeso lateralmente che consentiva la raccolta del sottoprodotto separato.

Il sottoprodotto di trebbiatura di canapa, prelevato dall'apparato di pulizia durante il test condotto ha portato all'ottenimento di 211 kg di prodotto fresco al 38% di umidità che per la successiva lavorazione ha richiesto insieme al seme l'immediata essiccazione.

Il processo di essiccazione per entrambe le frazioni è stato effettuato presso una ditta specializzata nella lavorazione sementi che disponendo delle adeguate tecnologie in circa 12 ore ha portato l'umidità alle idonee percentuali di conservazione.

Per quanto riguarda gli espianti l'estrazione delle piante intere ed il loro accatastamento bordo campo ha registrato una capacità produttiva superiore a 1 ettaro al giorno. L'estrazione dell'intero albero è stata la fase più dispendiosa in termini di tempo che richiede 13,1 h ha⁻¹, mentre l'accumulo ha richiesto solo 2,2 h ha⁻¹. Di conseguenza, l'estrazione ha rappresentato l'88% del costo per ettaro. In base ai risultati, il personale ha rappresentato il 18,8% al 30,15% dei costi totali (€ / ha) per le due fasi, mentre per quanto riguarda il trasporto il tipo di veicolo (autotreno o autoarticolato) ha influito profondamente sui tempi di caricamento più del sistema di compattazione che ha causato un aumento del + 35,7% del tempo di lavoro. La linea di raccolta pianta con o senza ceppaia ha anche influito sulla qualità della biomassa ed alla richiesta di pulizia dai residui del suolo. Questa



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

fase è la più costosa dell'intera catena di raccolta e richiede molta attenzione nell'organizzazione del lavoro e nella preparazione sul campo. Sia la tipologia di estrazione che l'accumulo di biomassa possono influenzare la qualità della biomassa poiché, dopo lo sradicamento, le piante vengono spinte sulla superficie del suolo. Questo può inquinare la biomassa legnosa con particelle di terreno che deprezzano la biomassa. La compattazione dei cumuli ha permesso di aumentare le prestazioni della catena logistica aumentando carico utile e migliorando lo scarico uniforme della biomassa sulla piattaforma. Per quanto riguarda la raccolta di piante intere, comprese le ceppaie, era necessario garantire un adeguato livello di pulizia della biomassa legnosa dalle particelle del suolo: questo ha richiesto un ulteriore passaggio di pre-macinatura seguita dalla pulizia attraverso un setaccio rotante. Durante il lavoro, alcuni campioni casuali sono stati analizzati prima e dopo la pulizia per stimarne l'efficienza. Sebbene non sia stato validato statisticamente, il sistema testato nel presente studio ha dato risultati positivi per quanto riguarda la quantità di rimozione del suolo e, quindi, per quanto riguarda la diminuzione complessiva dell'inquinamento da particelle di suolo. Prima della pulizia, il campione presentava il 18-20% di impurità (principalmente polvere e terreno), mentre subito dopo l'inquinamento del suolo è sceso al 5-7%. Tuttavia, la fase di pulitura ha mostrato la stessa produttività della fase di pre-macinazione ma ha determinato un aumento dei costi operativi a causa dell'uso di due macchine diverse.

Quando le piante sono state raccolte senza ceppi, un cippatore ha eseguito la sminuzzatura della biomassa che ha prodotto un prodotto finale che può essere considerato pronto per la combustione diretta in una centrale a biomassa. Il trasporto di biomassa sfusa o compatta potrebbe influenzare la riduzione dell'inquinamento da particelle di suolo del biocarburante in seguito alla rottura parziale causata dalla compattazione delle radici. Sia con autotreno che con autoarticolato la compattazione della biomassa ha comportato tempi di caricamento significativamente più elevati (43 vs 32 minuti nel caso dell'autoarticolato e 22 vs 15 minuti per l'autotreno). Tuttavia, la maggiore quantità di compattazione della biomassa autorizzata al trasporto ha compensato il tempo più elevato richiesto per il carico in quanto il volume di lavoro del carrello articolato (90 m³) era 1,6 volte il volume di lavoro del carrello (55 m³).

Il tempo di caricamento del materiale sfuso nell'autoarticolato è stato paragonabile a quello della biomassa compattata nel rimorchio (0,36 vs 0,40 min m⁻³). Sebbene nell'autotreno i veicoli da caricare fossero due, il carico semplificato (libero) consentiva di ridurre il tempo medio per volume caricato. Un tale risultato dovrebbe essere tenuto in considerazione nella definizione della catena di approvvigionamento più conveniente.

La biomassa premacinata e quella cippata avevano una densità diversa che, a sua volta, portava a una capacità variabile di carico unitario. La complessità delle diverse opzioni logistiche non ha permesso di avere un numero consistente di repliche, ma i dati sono stati ricavati da una simulazione di condizioni realistiche. In tutti i casi, la biomassa trasportata con l'autoarticolato era più alta rispetto al camion rimorchio. I costi di trasporto complessivi per portare la biomassa dal campo alla fattoria variano da 0,0032 € a 0,0067 €/kg.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

L'analisi della varianza ha evidenziato che sia il tipo di automezzo che il compattamento della biomassa agiscono in modo significativo sui costi totali dell'operazione ($p < 0,05$). In media, il modo più economico per trasportare la biomassa dal campo al centro aziendale è l'utilizzo dell'autoarticolato con e senza compattazione della biomassa. In base a ciò, la scelta di autocarri articolati per portare la biomassa dal frutteto all'aia determina un notevole risparmio di denaro per l'agricoltore: la ragione di ciò è da ascrivere al fatto in particolare durante il caricamento, il più pratico riempimento dell'autoarticolato ed il più agevole compattamento determinano un risparmio complessivo di tempo e quindi di denaro. Nonostante ciò, il criterio economico non può essere considerato adatto in quanto molti altri aspetti devono essere considerati. In particolare, dovrebbe essere prestata attenzione all'accessibilità del campo: gli autoarticolati, a causa delle loro dimensioni, hanno un raggio di sterzata più ampio che richiede idonea accessibilità poderale ed interpoderale oltre a un carico specifico più elevato a terra. Le tecnologie disponibili per la raccolta di piante intere sono comunque ancora insoddisfacenti a causa del contrasto tra le prestazioni di lavoro/logistica e la bassa qualità del prodotto finale a causa dell'inquinamento della biomassa legnosa. La scelta del sistema di trasporto è importante non solo dal punto di vista economico, ma anche in riferimento alla sostenibilità del sistema di produzione: la massa dei macchinari e le condizioni dei terreni e della viabilità sono il punto chiave soprattutto nei periodi meno favorevoli tipici delle date di espianto.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Alla luce delle esperienze condotte nei primi due anni soprattutto a livello del sistema di separazione dei sottoprodotti di trebbiatura si ritiene di non proseguire sull'originaria linea di adozione di sistemi di compattamento a bordo macchina, per via delle notevoli masse in gioco che influenzerebbero significativamente performance e affidabilità dei cantieri, ma di concentrarsi su quelli professionali a bordo campo o in specifica area dedicata con opportuna logistica dei conferimenti. Tale scostamento non provocherà alcuna altra conseguenza tecnica o amministrativa sulla normale attività di progetto.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

nulla

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- European Biomass Conference and Exhibition 2019 Lisbona (Pt)
- Giornata dimostrativa CREA-IT Monterotondo (Rm) del 26/06/2019

6. Elenco pubblicazioni

Alberto Assirelli, Massimo Brambilla, Enrico Santangelo, Giancarlo Rocuzzo, Carlo Bisaglia. 2018. Sustainability Issues Related to Woody Biomass Supply From Fruit Tree Plantation Removal Proceeding at Ag Eng Conference Wageningen

Alberto Assirelli, Enrico Santangelo, Massimo Brambilla, Carlo Bisaglia, Vincenzo Civitarese, Giuseppina Caracciolo, Raffaele Spinelli. TECHNIQUES FOR THE TRANSPORTATION OF COMPLETE-TREES FROM THE TERMINATION OF PEACH ORCHARDS. Peer review su Biomass Bioenergy

Alberto Assirelli, Massimo Brambilla, Giancarlo Rocuzzo, Andrea Cocchi. 2019 Valutazione di tecniche di espanto frutteti con finalità energetiche. Scheda raccolta risultati progetto AGROENER divulgate durante giornata dimostrativa del 26/06/2019 a Monterotondo (Rm).

Alberto Assirelli, Andrea Cocchi. 2019 Sviluppo di un separatore meccanico per il recupero di sottoprodotti di trebbiatura. Scheda raccolta risultati progetto AGROENER divulgate durante giornata dimostrativa del 26/06/2019 a Monterotondo (Rm).



Task 2.2 Colture e tecniche innovative per la produzione di bioenergia

Task leader: Enrico Ceotto

Linea 1 di attività: Canna comune (*Arundo donax* L.)

Referente: Enrico Ceotto

Linea 2 di attività: *Silybum marianum* come coltura da bioenergia

Referente: Tommaso Martinelli

Abstract

Linea 1: Nel 2018 è stata condotta per il terzo anno consecutivo una prova di pieno campo 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 che costituisce il riferimento). 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 DR1 ed DR2 avviene in momenti di elevata concentrazione di N della biomassa; iii) malgrado la minore produzione di biomassa, le raccolte estive hanno determinato un sensibile incrementato delle quantità di azoto asportato dalla coltura.

Linea 2: Durante l'annata agraria 2018-2019 è stata intrapresa la valutazione agronomica dell'adattabilità del cardo mariano alla semina su sodo e a differenti livelli di concimazione azotata al fine di ridurre gli input energetici della fase di campo e per la conservazione del suolo. Utilizzando il genotipo di *S. marianum* denominato G20 che durante le prime 2 annate di sperimentazione ha dato i risultati più interessanti da un punto di vista quantitativo e qualitativo, si è allestito un campo sperimentale seminato su sodo (precessione girasole, presso l'azienda sperimentale di Anzola, Bologna). La semina è stata eseguita utilizzando una seminatrice portata (Gaspardo) e ha previsto e input azotati variabili. Durante lo sviluppo della coltura sono stati eseguiti i rilievi di accrescimento oltre alla misura della densità di piante per m² e della produttività finale. La raccolta delle parcelle è stata effettuata alla fine del mese di giugno 2019 e i campioni sono attualmente in fase di essiccazione e trebbiatura.

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 di pieno campo 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 evitabile, l'impianto è stato realizzato nel 2015, ed i trattamenti applicati negli anni 2016, 2017 e 2018. I trattamenti sono: i) primo taglio a fine giugno + secondo taglio a fine settembre (DR1); ii) primo taglio a fine luglio e secondo taglio a fine settembre (DR2); iii) raccolta singola a fine settembre (RS). I tre trattamenti di raccolta sono stati valutati con due dosi di fertilizzazione azotata: 250 kg N ha⁻¹ 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 2018 sono stati condotti n. 8 campionamenti 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 2018 sono stati effettuati nelle date: 11 maggio, 28 maggio, 11 giugno, 26 giugno, 18 luglio, 30 luglio, 4 settembre e 15 ottobre.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Foto del 15 ottobre 2018. La foto mostra lo stato di crescita della coltura con i trattamenti: RS (a sinistra) mai raccolta ed in piena fioritura, DR2 (al centro, prima raccolta a fine luglio), e DR1 (a destra, prima raccolta a fine giugno).

Linea 2: Linea 2

La semina su sodo è stata effettuata durante il mese di ottobre dopo la raccolta del girasole. I residui colturali del girasole erano stati precedentemente trinciati e nonostante lo spesso strato di residui l'emergenza della coltura è stata molto buona (Figura 1). A fronte di un investimento di 10 semi per m² la densità effettiva misurata in campo a fine ciclo colturale è stata di $9,3 \pm 0,51$ piante per m² ($\pm DS$; n=6). Per quello che concerne la capacità di emergenza della coltura, questo risultato dimostra una ottima adattabilità del cardo mariano alla semina su sodo durante la prima annata di sperimentazione della tecnica.



Figura 1 Nonostante gli abbondanti residui colturali presenti in campo la coltura ha avuto una ottima emergenza dopo semina su sodo (Anzola, 9 gennaio 2019).

Successivamente la coltura ha coperto rapidamente il suolo non consentendo lo sviluppo di una significativa flora infestante (Figura 2B). In generale lo sviluppo della coltura è stato molto buono. In particolar modo nelle parcelle che hanno ricevuto la concimazione azotata più elevata (100 U), questo ha causato un significativo allettamento della coltura in varie zone del campo rendendo difficoltose le operazioni di raccolta. Nel mese di maggio ha avuto luogo la fioritura e la raccolta è stata effettuata alla fine del mese di giugno (Figura 2). Le operazioni di raccolta sono state anticipate rispetto alla normale e completa maturazione fisiologica della granella in modo da limitarne le perdite. Attualmente i campioni di biomassa erbacea e di granella prelevati sono in fase di essiccazione prima dei successivi rilievi quantitativi per la determinazione della produttività finale della coltura.

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019



Figura 2 A, campo sperimentale in fase di fioritura (Anzola, 14 maggio 2019); B, Parcella durante le fasi di raccolta per la determinazione della produttività finale della coltura (Anzola, 18 giugno 2019).

2. Risultati e deliverable

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

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

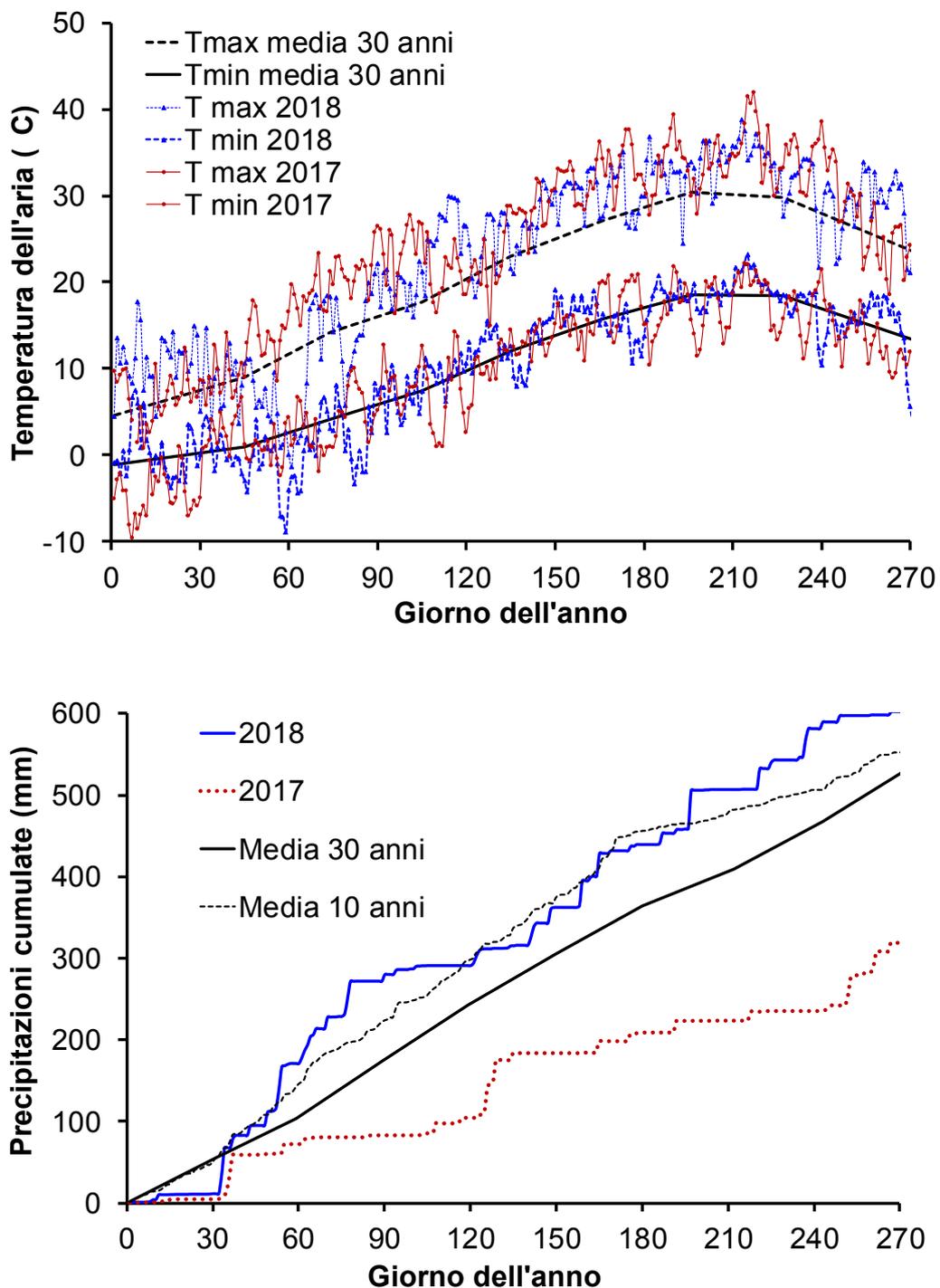


Figura 1. Andamento termico e pluviometrico dell'Azienda di Anzola dell'Emilia negli 2017 e 2018. Il 2018 è stato un anno molto più favorevole per la coltura di Arundo in ragione della maggiore quantità di precipitazioni e di valori più contenuti della temperatura massima

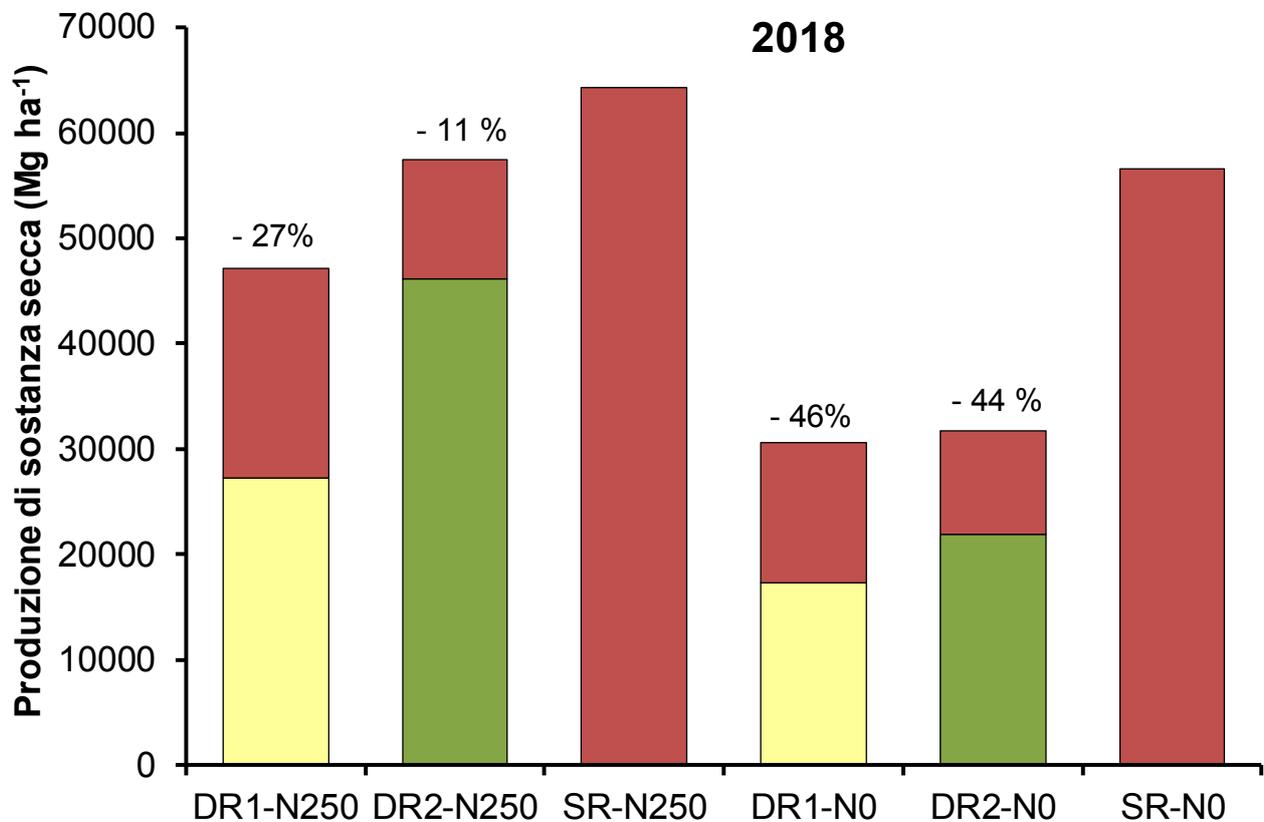


Figura 2. Produzioni di sostanza secca dei tre trattamenti di raccolta in combinazione con le due dosi di fertilizzazione (250 kg ha⁻¹ e controllo non concimato N0). I trattamenti sono: i) primo taglio a fine giugno + secondo taglio a fine settembre (DR1); ii) primo taglio a fine giugno e secondo taglio a fine settembre (DR2); iii) taglio unico a fine settembre (SR). 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 (SR), l'anticipo della data di raccolta ha determinato una riduzione della produzione totale di sostanza secca, del 27% per DR1 e del 11% per DR2 (figura 2).

Rispetto all'anno precedente la riduzione di produzione determinata dai doppi raccolti è stata più contenuta, almeno per i trattamenti concimati con 250 kg di azoto. Possiamo quindi affermare che le condizioni di disponibilità idrica nutrizionale attenuano l'effetto negativo dei doppi raccolti. Inoltre, il buon recupero della coltura rispetto all'anno precedente ci porta ad escludere che i doppi raccolti reiterati per tre anni abbiano determinato un significativo declino della potenzialità produttiva della coltura.

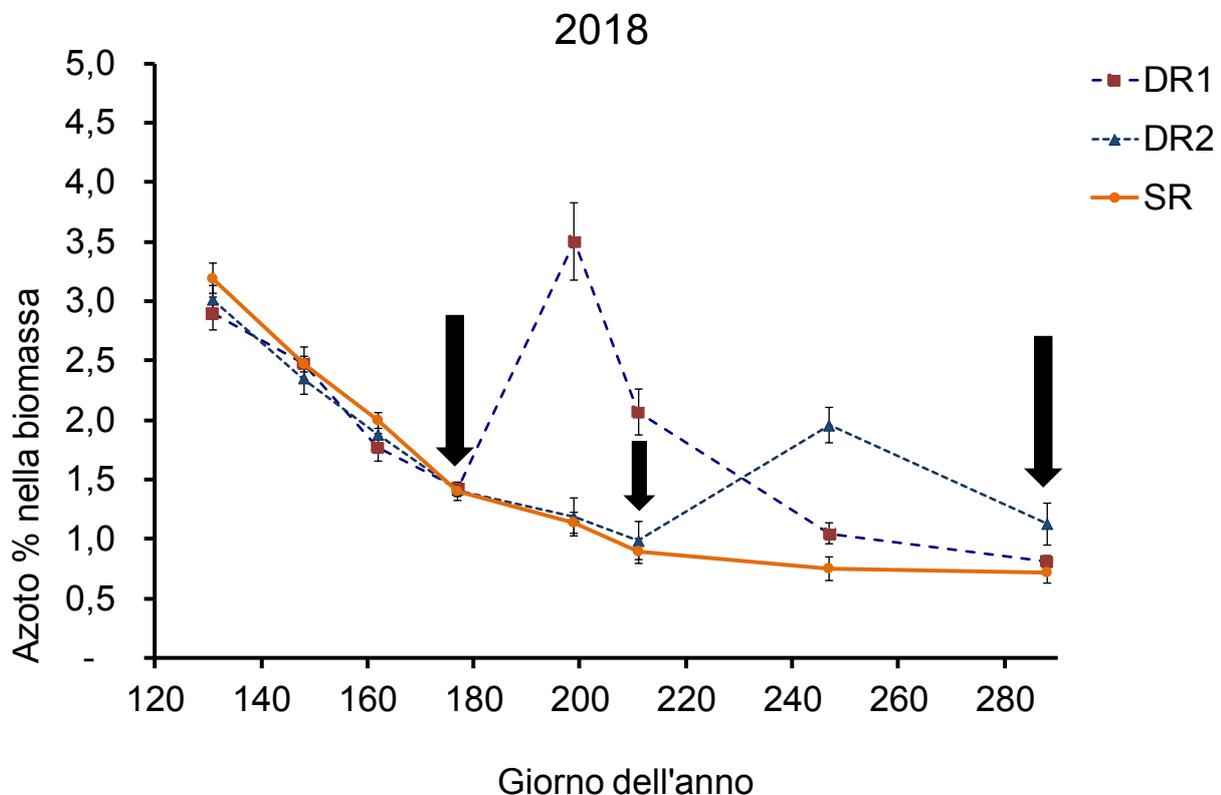


Figura 3. Andamento temporale delle concentrazioni di azoto nella biomassa epigea di Arundo con i diversi trattamenti. Le frecce indicano le date di raccolta. I trattamenti sono: i) primo taglio a fine giugno + secondo taglio a fine settembre (DR1); ii) primo taglio a fine giugno e secondo taglio a fine settembre (DR2); iii) taglio unico a fine settembre (SR). I dati si riferiscono ai trattamenti fertilizzati annualmente con 250 kg N ha⁻¹.

I valori osservati della concentrazione di azoto (N) nella biomassa indicano chiaramente il primo taglio dei trattamenti DR1 ed DR2 avviene in due momenti di elevata concentrazione di N della biomassa (figura 3). Come conseguenza del ricaccio della coltura, anche le concentrazioni di N del secondo taglio per DR1 ed DR2 sono più elevate rispetto al taglio unico SR. I dati osservati nel 2018 sono una ulteriore conferma di quelli osservati nel biennio precedente. La maggiore concentrazione di N alla raccolta determina un incremento delle asportazioni di N della coltura per DR1 ed DR2 e quindi dei fabbisogni di azoto della coltura, con costi di gestione superiori ed effetti negativi ambientali.

La maggiore concentrazione di N alla raccolta ha determinato un incremento delle asportazioni di N della coltura per DR1 e DR2, nonostante la minore produttività di biomassa (figura 4). Dette asportazioni sono comunque più contenute rispetto a quelle osservate nel primo anno di prova.

N asportazioni 2018

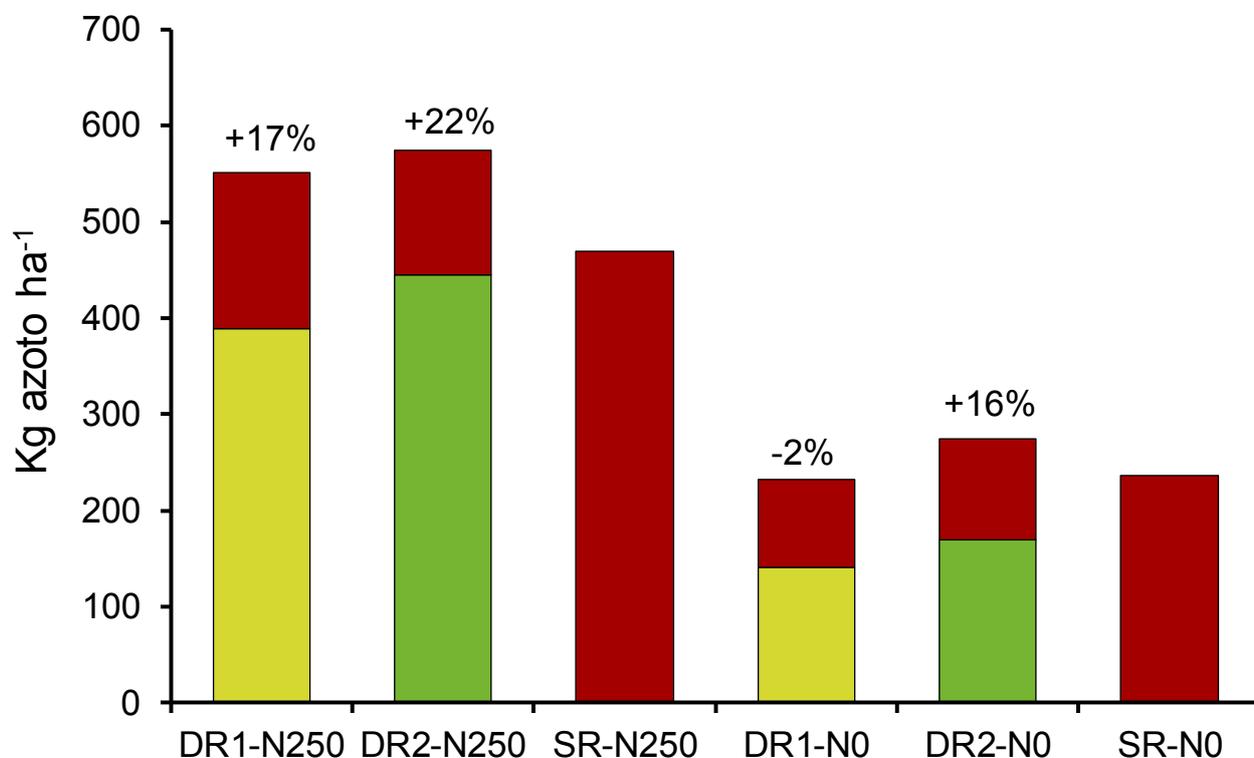


Figura 4. Asportazioni di azoto con i tre trattamenti di raccolta. I trattamenti sono: i) primo taglio a fine giugno + secondo taglio a fine settembre (DR1); ii) primo taglio a fine giugno e secondo taglio a fine settembre (DR2); iii) taglio unico a fine settembre (SR). I dati si riferiscono ai trattamenti fertilizzati annualmente con 250 kg N ha⁻¹.

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: Linea 2

Per motivi tecnico organizzativi la semina dell'annata 2018-2019 è stata eseguita presso l'azienda sperimentale di Anzola. Al contrario la sperimentazione precedente aveva previsto semina presso l'azienda sperimentale di Budrio. Presso l'azienda di Anzola le piante hanno avuto uno sviluppo molto più lussureggiante rispetto a quanto precedentemente osservato a Budrio. Questo ha causato l'allettamento di ampie zone delle parcelle sperimentali alla fine del ciclo colturale e ha reso difficoltose le operazioni di raccolta. Durante l'annata agraria 2019-2020 si provvederà a modificare il livello di concimazione azotata e di densità di semina in modo da renderlo più adatto al nuovo ambiente di studio.



4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Il responsabile del Task 2.2 ha partecipato alla 27° conferenza European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE 2019), tenutasi a Lisbona (Portogallo) dal 27 al 30 maggio 2019. Nell'ambito delle attività della conferenza, lo scrivente ha svolto le seguenti funzioni:

- a) membro del Conference Programme Committee;
- b) paper review expert e topic organizer della sessione 1CO.5;
- c) chairperson della sessione 1CO.5 – Innovative integrated systems for bioenergy production: experiences from Europe, Africa and Usa, tenutasi mercoledì 29 maggio.

Nella sessione 1BV.8 - Biomass crops for bioenergy, biomaterials and ecosystem services, tenutasi martedì 28 maggio, ha presentato la visual presentation (poster con 5 minuti di presentazione orale) dal titolo: Can the High Correlation Between Yield, Stem Height and Stem Diameter in Giant Reed (Arundo Donax L.) Have a Practical Use? Autori: G.A. Cappelli, F. Ginaldi, E. Ceotto;

Nella sessione 2CV.8 - Anaerobic digestion for biogas and biomethane production, tenutasi mercoledì 29 maggio, ha presentato la visual presentation (poster con 5 minuti di presentazione orale) dal titolo: Single Autumnal Harvest Provides Higher Biomass and Methane Yield than Double Harvests of Giant Reed (Arundo Donax L.) Autori C. Vasmara, R. Marchetti, S. Galletti, S. Cianchetta, E. Ceotto;

Nella sessione 3DV.4 - Chemical and biochemical conversion of biomass into compounds of industrial relevance, tenutasi giovedì 30 maggio, ha presentato la visual presentation (poster+5 minuti presentazione orale) dal titolo: Is it possible to produce low-nitrogen hydrolysate of giant reed suitable for single cell oil production? Autori S. Cianchetta, N. Polidori, E. Ceotto, S. Galletti;

Per i tre contributi sopraelencati sono stati redatti articoli estesi, che verranno pubblicati sugli atti della conferenza. Dette pubblicazioni saranno associate ad un numero DOI e verranno indicizzate in SCOPUS.

In occasione del XLVIII Convegno Nazionale della Società Italiana di Agronomia, che si terrà a Perugia dal 18 al 20 settembre 2019, Il responsabile del Task 2.2 presenterà il contributo "Double or Single Harvest To Maximize Biomass And Methane Yield Of Giant Reed (Arundo donax L.)?"



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

autori: Ciro Vasmara, Rosa Marchetti, Stefano Cianchetta, Stefania Galletti, Enrico Ceotto. Detto contributo è attualmente in corso di valutazione da parte del comitato scientifico del convegno per quanto riguarda le modalità di presentazione.

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. (2018). Summer Harvests Greatly Increase the Nitrogen Uptake of the Energy Grass Giant Reed. Proceedings of the 26th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2018. Pages 1169-1173. ISBN 978-88-89407-18-9.
- 3) Cianchetta S., Galletti S., Ceotto E. (2018). Giant Reed and Milk Thistle Sugar Yield After Alkaline Pre-Treatment and Enzymatic Hydrolysis in Comparison with Standard Wheat Straw. Proceedings of the 26th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2018. Pages 1169-1173. ISBN 978-88-89407-18-9. DOI: 10.5071/26thEUBCE2018-3DV.4.8.
- 4) G.A. Cappelli, F. Ginaldi, E. Ceotto (2019). Can the High Correlation Between Yield, Stem Height and Stem Diameter in Giant Reed (*Arundo Donax* L.) Have a Practical Use? In stampa sui proceedings della conferenza EUBCE2019.
- 5) C. Vasmara, R. Marchetti, S. Galletti, S. Cianchetta, E. Ceotto (2019). Single Autumnal Harvest Provides Higher Biomass and Methane Yield than Double Harvests of Giant Reed (*Arundo Donax* L.) In stampa sui proceedings della conferenza EUBCE2019.
- 6) S. Cianchetta, N. Polidori, E. Ceotto, S. Galletti (2019). Is it possible to produce low-nitrogen hydrolysate of giant reed suitable for single cell oil production? In stampa sui proceedings della conferenza EUBCE2019.



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

Task leader: CREA-IT Luigi Pari

Abstract

Nel periodo di riferimento, sono state condotte presso il CREA-IT di Monterotondo tre distinte prove di stoccaggio di eucalipto giunto a fine turno (5° anno) del ciclo di rotazione MRF. Il test, ha permesso di mettere a confronto tre diversi tipi di stoccaggio del legno di eucalipto prodotto da un impianto arboreo a media rotazione (stoccaggio di piante intere, tronchetti insacchettati e cippato in cumulo), individuando il metodo che, a parità di condizioni ambientali, ha permesso di ottenere un prodotto con minore contenuto idrico, e di preservare maggiormente la sostanza secca.

1. Attività svolta

Le prove sono state avviate presso il CREA-IT di Monterotondo, utilizzando biomassa di Eucalipto ottenuta da un impianto sperimentale a media rotazione giunto a fine turno (5° anno). Le prove sono state tutte effettuate in un arco temporale di 9 mesi, da Febbraio 2018 ad Ottobre 2018, durante il quale i parametri climatici relativi alle precipitazioni, velocità del vento e temperatura dell'aria sono stati acquisiti usando una centralina meteo "Davis vantage pro 2", posizionata a 200 m circa dai vari siti di stoccaggio. Nello specifico, le forme in cui è stata stata stoccata la biomassa sono state le seguenti:

- Stoccaggio di eucalipto in tronchi interi accatastati;
- Stoccaggio di eucalipto in tronchetti confezionati in sacchetti retati;
- Stoccaggio di eucalipto cippato in cumulo coperto e scoperto.

Per lo stoccaggio di eucalipto di tronchi interi sono state utilizzate 30 piante trasportate a bordo campo con trattore Fiatagri 80-90 dotato di accumulatore frontale e accatastate in 2 cumuli (figura 1). Le piante sono state sramate ed accatastate per riprodurre le condizioni di un cantiere forestale tradizionale anche in virtù del fatto che si è lavorato nell'ottica di poter utilizzare la biomassa per produrre legna da ardere. Un campione di 12 piante abbattute è stato caratterizzato in altezza e diametro a 50 cm dalla base.

I cumuli di piante intere sono stati pesati con un dinamometro digitale da 1000 kg attaccato al sollevatore frontale di una trattrice. La pesatura è stata quindi ripetuta con cadenza mensile fino al mese di ottobre, mese in cui lo stoccaggio è terminato. Contestualmente alla pesata mensile, dei campioni legnosi sono stati prelevati in diverse porzioni del fusto per la determinazione del contenuto di umidità.



Figura 1. fase di preparazione del cumulo di tronchi interi sramati di eucalipto quinquennale

La prova di stoccaggio dei tronchetti insacchettati, iniziata a febbraio 2018, è stata effettuata per iniziare uno studio di fattibilità economica sulla filiera dalla legna da ardere insacchettata in campo, derivante da piantagioni di Eucalipto MRF. In questa prima fase è stata monitorata la variazione di qualità del legno pezzato ed insacchettato (umidità e perdite di sostanza secca) durante la fase di stoccaggio. A tale scopo sono state pezzate in campo 17 piante mediante sega circolare (Rosselli, mod. Grizzly 700R) alimentata dalla presa di potenza di una trattrice Fiatagri 80-90. I tronchetti ottenuti, lunghi in media 30 cm, sono stati quindi insacchettati manualmente in 26 sacchi retati in nylon, pesati singolarmente ed impilati su un pallet di legno in maniera ordinata per evitare il contatto col terreno. Tre sacchi, esclusi dalle pesate, sono stati posizionati casualmente nel cumulo ed utilizzati per la determinazione dell'umidità durante il periodo di stoccaggio. Questa è stata effettuata attraverso l'estrazione casuale di un tronchetto per sacco, tagliato in rotelle e messo in stufa. La pesatura dei sacchi e la determinazione dell'umidità è stata effettuata con cadenza mensile.



Figura 2. Stoccaggio di eucalipto in tronchetti

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

La prova di stoccaggio del cippato è stata effettuata utilizzando il resto degli eucalipti della piantagione, in modo da favorire una crescita uniforme del nuovo ciclo (piantagione coetanea). L'abbattimento delle piante è avvenuto a fine aprile 2018 ad opera di un operatore con motosega. La movimentazione delle piante abbattute è stata eseguita con trattore Fiatagri 80-90, dotato di accumulatore frontale; gli eucalipti sono stati poi accatastati a bordo campo e cippati con una cippatrice Farmi CH260. Il prodotto ottenuto è stato pesato, trasportato in un'area pianeggiante presso il CREA-IT, e scaricato su un telo traspirante per evitare il contatto diretto col suolo. Il cumulo creato era lungo circa 20 m, largo 5 m ed alto 3. Metà del cumulo, circa 10 m, sono stati coperti con telo geotext per effettuare altri studi comparativi, mentre in questo lavoro si è tenuto conto della sola parte scoperta. All'interno del cumulo scoperto sono stati inseriti 16 sacchetti di cippato fresco, precedentemente pesati e posti in differenti settori (a mezzo metro da terra, a 1,5 metri da terra, a 2,5 m da terra), con l'obiettivo di quantificare le perdite di sostanza secca utilizzando i valori di pesata iniziale e finale, al netto delle umidità. Il calcolo dell'umidità è stato effettuato secondo la norma ISO 14774-2:2009, utilizzando 5 campioni di materiale da 500g ciascuno, prelevati dal cumulo prima e dopo lo stoccaggio in maniera casuale durante la costruzione (inizio stoccaggio) e l'apertura (fine stoccaggio) del cumulo stesso. La granulometria del prodotto è stata effettuata su tre campioni di cippato fresco da 8 l ciascuno secondo la recente normativa ISO 17827-1-2016.



Figura 3. Stoccaggio di eucalipto cippato: fase preparazione cumulo

2. Risultati e deliverable

I risultati delle prove di stoccaggio, analizzati nel dettaglio nel Deliverable D.2.3.2, sono di seguito presentati sinteticamente

Dopo un turno di cinque anni, al momento dell'abbattimento dell'impianto, le piante in piedi avevano in media un'altezza di 9,7 m, un diametro di 13,1 cm e un peso di 38,2 kg ciascuna. Il valore di umidità del legno al momento del taglio era pari a 50,6%.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

La prova di stoccaggio delle piante intere ha complessivamente fatto registrare una perdita del 4,26% della sostanza secca ed un calo di umidità del 35% del contenuto d'umidità che ha portato, in otto mesi, ad una diminuzione del 44,3% del peso totale.

Lo stoccaggio del legno sotto forma di tronchetti tagliati ed insacchettati in campo, ha mostrato un comportamento simile a quello dello stoccaggio di piante intere. L'umidità dei tronchetti a fine stoccaggio risultava del 13,6% con una perdita di sostanza secca complessiva del 5,1%.

Lo stoccaggio del cippato in cumulo ha infine evidenziato maggiori perdite di sostanza secca (6,65%) e un'umidità quasi invariata rispetto al periodo d'inizio stoccaggio.

Lo stoccaggio delle piante intere è risultato migliore in termini di perdita di umidità, evidenziando anche ridotte perdite di sostanza secca rispetto agli altri sistemi utilizzati. Lo stoccaggio dei tronchetti insacchettati ha mostrato risultati molto simili a quello delle piante intere. Al contrario, il cippato stoccato in cumuli ha evidenziato perdite più elevate, ed un'umidità finale molto simile alle condizioni di partenza.

Il valore di umidità raggiunto a fine stoccaggio di piante intere e tronchetti permetterebbe di utilizzare tale biomassa sia come legna da ardere che come cippato di alta qualità. Nonostante ciò, i valori di umidità riscontrati nell'ultimo mese e confrontati con i dati meteo, evidenziano il fatto che sarebbe preferibile terminare lo stoccaggio a fine estate, così da evitare che le precipitazioni autunnali possano alzare nuovamente il contenuto di umidità della biomassa e riattivare i fenomeni fermentativi.

Lo stoccaggio del cippato in cumulo ha confermato quanto già osservato in studi precedenti: la fase di disidratazione e la degradazione del legno è molto influenzata dalla pezzatura del cippato. In questo studio la ridotta dimensione dei chips non ha favorito il passaggio d'aria all'interno del cumulo, limitando di fatto il processo di essiccazione che si sarebbe dovuto favorire con le temperature estive.

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

L'attività è stata presentata nell'ambito della Giornata Dimostrativa Progetto AGROENER "Innovazione per la filiera biomasse e l'efficiamento energetico in agricoltura" organizzata presso la sede del CREA-IT di Monterotondo il 26 giugno 2019

6. Elenco pubblicazioni

Luigi Pari, Simone Bergonzoli, Alessandro Suardi, Antonio Scarfone, Vincenzo Alfano, Paolo Mattei, Sandu Lazar (2019) Impianto di eucalipto a media rotazione. Sistemi di stoccaggio a confronto. In: Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare. Ripensare, riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Sherwood 241, Supplemento 2



Task 2.4 Valorizzazione delle biomasse forestali residuali

Task leader: Dr. Giuseppe Pignatti

Linea 1 di attività: Coltivazioni

Referente: Dr. Giuseppe Pignatti

Linea 2 di attività: Analisi dell'impatto ecologico

Referente: Dr. Giuseppe Pignatti

Abstract

Il lavoro, durante il terzo anno del progetto è stato svolto all'interno delle linee di attività "Coltivazioni" e "Analisi dell'impatto ecologico". Relativamente alla prima linea di attività (Coltivazioni) sono stati effettuati rilievi dendrometrici su una piantagione di *Pinus radiata* ubicata all'interno dell'azienda del CREA-FL di Roma Casalotti. Rispetto al programma originario, si è deciso di intervenire sul pino piuttosto che sul cedro poiché è in atto una moria diffusa e rapida di pini e si prevede la rinaturalizzazione dei popolamenti di conifere più colpiti. I rilievi hanno permesso di individuare i soggetti da sottoporre a taglio nel diradamento che sarà effettuato nel prossimo anno. La piantagione ha un'età di circa 40 anni, un sesto d'impianto in quadro con interdistanza di m 3 ed una superficie di circa 4 ha. Sono stati effettuati, inoltre, nelle due parcelle di ceduo di eucalipto utilizzate tra il 2017 e il 2018, dei rilievi per verificare la vitalità delle ceppaie al quarto ciclo agamico. In collaborazione con la task 5.1, referente Dr. Giulio Sperandio, è stata costituita una piantagione SRF con cloni diversi di pioppo. La superficie della piantagione è di circa 1.0 ha. La linea di attività "Analisi dell'impatto ecologico" ha proseguito alcuni rilievi iniziati nel 2018, all'interno di transect, nelle due aree di ceduo di eucalipto sottoposte a taglio con l'applicazione di due diversi sistemi di lavoro: quello del "legno corto" e quello "dell'albero intero". L'analisi dei dati rilevati ha determinato il sistema di lavoro più sostenibile dal punto di vista ecologico ed economico. Nel febbraio 2019 sono stati effettuati i rilievi del pioppeto tradizionale realizzato nel 2017, in collaborazione con la task 5.1.

1. Attività svolta

Il lavoro svolto, all'interno delle due linee di attività sopra menzionate è stato il seguente:



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- a) Linea di attività 1: Coltivazioni. È stato effettuato un cavallettamento totale planimetrico della parcella cedro da sottoporre a primo diradamento, e sono state rilevate, con telemetro "VERTEX", le altezze necessarie per la determinazione della curva ipsometrica. Sono state evidenziate anche le condizioni fitopatologiche del popolamento. Sulle piante da eliminare è stato riportato, con vernice, il diametro ed eventualmente ne sarà calcolato il volume; tali valori saranno necessari per stabilire una correlazione tra il diametro o volume della pianta ed il tempo necessario per l'abbattimento ed allestimento.

All'interno delle due parcelle di eucalipto ceduate nel 2017 e 2018 sono state delimitate 4 aree di saggio (2 per parcella) di forma rettangolare della superficie unitaria di 300 m². In ciascuna area di saggio e per ogni ceppaia sono stati registrati i polloni presenti, misurato il diametro a 1,30 m (il diametro minimo per il rilievo è stato fissato a 2 cm) e con asta metrica misurati i polloni con maggiore altezza.

La piantagione di SRF di pioppo, costituita in collaborazione con la task 5.1, ha una superficie di circa 1.0 ha. Lo schema sperimentale prevedeva la messa a dimora di talee di 3 cloni sperimentali, di cui uno brevettato dal CREA Centro Foreste e Legno (Casale Monferrato) della lunghezza di 28 cm, su file distanti tra loro 3 m. Lungo la fila la distanza tra le talee è di 1.5 m. Ai bordi del campo sono stati messi a dimora degli astoni di pioppo bianco (Villafranca) e nero (Jean Pourtet). La distanza degli astoni sulla fila è di 6 m, e sempre di 6 m è la distanza tra la fila degli astoni e la prima fila delle talee.

I rilievi sul pioppeto tradizionale hanno riguardato i diametri e le altezze delle piante messe a dimora. Dopo due stagioni vegetative, il clone Orion ha registrato un diametro medio di 4.75 cm, contro i 4.99 cm del clone sperimentale. Tuttavia, le piante di margine (clone Orion) hanno registrato 5.89 cm di diametro medio. Le altezze erano, rispettivamente, di 4.22, 4.3 e 4.99 m. L'ANOVA ha evidenziato, nei due casi, differenze statisticamente significative ($p = 1.8E-05$, $p = 3.7E-05$) e il t-test ha evidenziato differenze statisticamente significative solo tra le piante di margine e i due cloni, ma non tra i due cloni. Nelle condizioni considerate, nelle quali la disponibilità idrica del terreno diventa fattore limitante della crescita nel periodo di crescita primaverile estivo, le differenze microstazionali (l'area di impianto delle piante di margine risulta più ombreggiata e con suoli più freschi), superano l'effetto derivante dalla diversità genetica dei cloni, quanto meno nell'intervallo di crescita considerato.

- b) Linea di attività 4: Analisi dell'impatto ecologico. Per l'analisi dell'impatto ecologico sono stati delimitati 4 transect, rispettivamente uno ciascuno all'interno delle due parcelle di eucalipto utilizzate con due diversi sistemi di lavoro (del legno corto e dell'albero intero) e 2 nelle rispettive aree testimone (popolamenti limitrofi in analoghe condizioni stazionali, nei quali non era stata effettuata la ceduzione). I transect erano di lunghezza 50 m e larghezza 1 m, ubicati al centro dell'area utilizzata nella direzione della massima pendenza. L'impatto

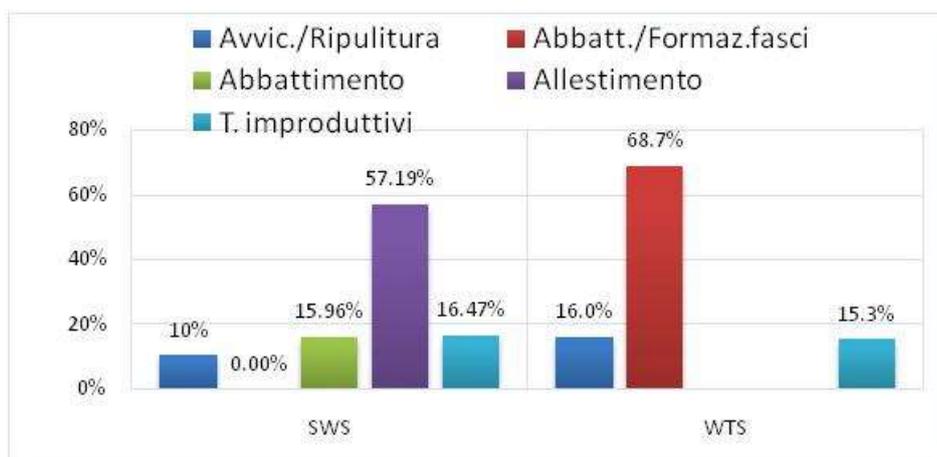
Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

ecologico a seguito dell'utilizzazione è stato valutato analizzando tre aspetti: a) disturbi sugli orizzonti superficiali del suolo secondo la metodologia del LIRO-Nuova Zelanda, (Mc Mahon 1995); b) instaurarsi di fenomeni di ruscellamento (pendenza media del terreno 30%); c) effetti sulla flora del sottobosco. I dati sulla vegetazione non hanno evidenziato differenze significative tra testimoni e aree di intervento (ANOVA $F=2.58$, $p\text{-value}=0.183$), in termini di diversità floristica (Indice di Shannon). Pur registrandosi un forte disturbo al suolo da parte dei mezzi di esbosco subito dopo l'operazione, maggiore dove è stato effettuato il sistema di lavoro del legno corto, la rinnovazione di specie forestali autoctone (sughera, lentisco, fillirea) lungo i filari delle ceppaie non è risultata danneggiata e la copertura erbacea-arbustiva sulla superficie era complessivamente maggiore nelle aree di intervento rispetto alle aree testimone (ANOVA $F=10.56$, $p\text{-value}=0.031$). Gli effetti di disturbo sugli orizzonti superficiali del suolo e sull'instaurarsi di fenomeni di ruscellamento sono in corso di valutazione.

2. Risultati e deliverable

Di seguito si riportano i grafici relativi alla ripartizione delle fasi di lavoro ed ai costi di utilizzazione nel ceduo di eucalipto, nei due sistemi di lavoro (SWS=legno corto, WTS=albero intero).

Ripartizione percentuale delle fasi operative dell'abbattimento e allestimento nei due sistemi SWS e FTS.



Costi di utilizzazione e valore economico degli assortimenti per unità di prodotto e di superficie.



Principali deliverables sono le pubblicazioni qui riportate:

1. Alasia F., Facciotto G., Bergante S., Alasia O., Allasia E., Bertaina F., Pignatti G., Pontuale G., Tomaiuolo M., Verani S., Nervo G., 2018. Performance di 22 genotipi di pioppo selezionati in Europa in quattro differenti ambienti italiani. IV Congresso Nazionale di Selvicoltura. Torino 5-9 Novembre 2018. Abstract book, p. 256 (ISBN 978-88-87553-24-6).
2. Pignatti G., Verani S., Sperandio G. 2018. Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi. IV Congresso Nazionale di Selvicoltura. Torino 5-9 Novembre 2018. Abstract book, p. 276 (ISBN 978-88-87553-24-6).
3. Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2019 Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi. In corso di stampa sul numero speciale dell'Italia Forestale e Montana "Atti del IV Congresso Nazionale di Selvicoltura"

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 giorno 10 ottobre 2018 è stata organizzata all'interno dell'azienda del CREA-FL di Roma Casalotti, in collaborazione con il CREA-IT (task 5.1, 5.2, 5.6), una giornata dimostrativa sul recupero e la valorizzazione delle biomasse forestali residuali. Durante la mattina sono state presentate relazioni inerenti l'argomento della giornata, seguite da dimostrazioni pratiche in campo. È stata simulata l'utilizzazione di un ceduo di eucalipto con applicazione del sistema di lavoro "dell'albero intero" per produzione di legna da ardere e successivo recupero e sminuzzatura della ramaglia residua.

Le macchine ed attrezzature impiegate sono state: una cesoia montata su escavatore per il taglio ed accatastamento dei polloni; un trattore agricolo munito di verricello posteriore per l'esbosco dei polloni; una motosega per la sramatura e sezionatura dei polloni e una cippatrice a disco per la sminuzzatura della ramaglia di risulta. È stata inoltre effettuata una prova di potatura su conifere con due piattaforme elevatrici autolivellanti a 4 ruote motrici in grado di raggiungere altezze di potatura di 12 e 16 m.

Per dimostrare la valorizzazione delle biomasse residuali è stata effettuata una prova di produzione di pellet con pellettatrice munita di biotrituratore in grado di utilizzare sia cippato che ramaglia grezza (diametro > 70 mm).

Era presente anche un laboratorio mobile in grado di analizzare la qualità dei fumi originati dalla combustione di biomassa legnosa.

Immagini dell'abbattimento e dell'esbosco.



I risultati dell'attività di ricerca sono stati presentati con una relazione al IV Congresso Nazionale di Selvicoltura tenutosi a Torino: Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2019 Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi.

6. Elenco pubblicazioni

1. Alasia F., Facciotto G., Bergante S., Alasia O., Allasia E., Bertaina F., Pignatti G., Pontuale G., Tomaiuolo M., Verani S., Nervo G., 2018. Performance di 22 genotipi di pioppo selezionati in Europa in quattro differenti ambienti italiani. IV Congresso Nazionale di Selvicoltura. Torino 5-9 Novembre 2018. Abstract book, p. 256 (ISBN 978-88-87553-24-6).



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

2. Pignatti G., Verani S., Sperandio G. 2018. Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi. IV Congresso Nazionale di Selvicoltura. Torino 5-9 Novembre 2018. Abstract book, p. 276 (ISBN 978-88-87553-24-6).
3. Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2019 Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi. In corso di stampa sul numero speciale dell'Italia Forestale e Montana "Atti del IV Congresso Nazionale di Selvicoltura"



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

L'attività è proseguita secondo lo schema di lavoro consolidato nell'anno precedente, con il rilievo dei tempi nei cantieri di lavoro condotti con le due modalità operative principali (utilizzo di PLE o lavoro in tree-climbing), seguendo cantieri di abbattimento e potatura di alberi in ambiente urbano. Sono state inoltre stimate le quantità di biomassa ottenibile da ciascuna lavoro. Un'analisi economica analitica ha inoltre permesso di evidenziare i costi dei cantieri, fornendo una stima del valore di produttività e permettendo il confronto tra i cantieri tramite indici di comparazione. Sono inoltre proseguite le valutazioni analitiche del contenuto in metalli pesanti e in micro e macro-elementi di campioni di legno e foglie raccolti dagli alberi soggetti agli interventi di gestione.

1. Attività svolta

Nel terzo anno di attività sono stati seguiti e analizzati 10 nuovi cantieri. La tabella 1 fornisce un quadro complessivo dei nuovi cantieri, che si aggiungono all'analisi dei precedenti 13 cantieri studiati nelle annate precedenti. Il tempo di lavoro è stato misurato per ogni singola operazione effettuata da un operatore specializzato durante la sua attività. In particolare, sono stati identificati e separati cinque elementi principali: (1) "prepara" (che include la preparazione del cantiere, il trasporto al punto di raccolta e l'accatastamento del legno residuo), (2) "taglia" (operazione di potatura o depezzamento nel caso dell'abbattimento, con l'utilizzo di strumenti manuali o motorizzati), (3) "sposta" (movimento dell'operatore all'interno della chioma o movimento della PLE), (4) TME "tempi morti evitabili", (5) TMI "tempi morti inevitabili".

La valutazione dei costi operativi di ciascun cantiere è stata effettuata mediante un metodo analitico, considerando i costi fissi, i costi variabili e i costi per la forza lavoro. È stata adottata una modellazione di regressione lineare multipla (MLR) per prevedere il costo per albero.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

La biomassa residua è stata valutata misurando il volume dei rami tagliati accatastati nel punto di raccolta. Quindi i dati sono stati convertiti in peso fresco in base a tabelle di conversione.

Nella maggior parte dei cantieri sono stati prelevati dei campioni di rami ad altezze note per le successive analisi di laboratorio.

Tabella 1 – Quadro riassuntivo dei cantieri osservati nel periodo di attività.

N°	Data	Cantiere	Modalità	Specie	Habitus (**)	Lavoro (***)
1	23/11/2018	Villa Rosa (Vt)	TC	Quercusilex	S	P
2	28/02/2019	Albano Laziale (Rm)	PLE	Platanus acerifolia	x C	P
3	17/10/2018	Villa Laetitia (Rm)(*)	TC	Cedrus libani	S	P
4	11/03/2019	Accademia americana (Rm)	PLE	Pinus pinea	S	A
5	12/02/2019	CREA-IT (Monterotondo, Rm)(*)	Da terra	Pinus pinea	S	A
6	09/01/2019	Vitorchiano, Frati Dehoniani (Vt)	PLE	Cupressus arizonica	S	A
7	28/03/2019	Trionfale (Rm)	TC	Laurusnobilis	S	A
8	26/03/2019	Villaggio Olimpico (Rm)	PLE	Celtisaustralis	C	P
9	27/03/2019	P.zza Gramsci (Vt)	PLE	Cupressus arizonica	S	P
10	23/05/2019	CREA-IT (Rm)(*)	PLE	Populus sp.	C	A

(*) dati dei tempi di lavoro in corso di elaborazione.

(**) S= sempreverde; C=caducifoglia.

(***) P=potatura; A=abbattimento.

Per quanto riguarda la linea di attività 2, presso il CREA AA di Roma sono stati portati i campioni provenienti da alcune potature per la caratterizzazione quali-quantitativa del contenuto di elementi e di metalli pesanti.

Sono pervenuti al laboratorio i campioni di legno e foglie provenienti da sette siti di lavoro.

Il fusto e le foglie delle potature effettuate sono stati seccati, sottoposti a macinazione e inceneriti in muffola a 400°. Le ceneri sono state raccolte, diluite e portate a volume con acido nitrico. La valutazione del contenuto in metalli pesanti e in micro e macro-elementi è stata effettuata mediante spettrometria di emissione ottica al plasma, (ICP-OES Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) utilizzando uno strumento della Thermo Fisher, ICAP.

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.

2. Risultati e deliverable

Le tabelle 2 e 3 forniscono un quadro complessivo dell'analisi dei tempi di lavoro per 23 cantieri di lavoro osservati durante l'attività svolta, sia in valori assoluti (minuti) sia percentuali.

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Le due modalità di lavoro (tree-climbing o PLE) presentano valori simili di ripartizione delle fasi di lavoro quando viene effettuata la potatura della pianta, con valori non troppo dissimili sia in termini assoluti che relativi. Un altro dato da notare è che con la PLE emerge una quota non trascurabile di TME, probabilmente legati alla maggiore complessità nell'uso della piattaforma oppure all'organizzazione del cantiere di lavoro quando questo è localizzata lungo le strade.

Le operazioni di abbattimento della pianta, invece, si differenziano maggiormente nelle due modalità, evidenziando che l'impiego della PLE presenta maggiori quote di tempi produttivi e una generica maggiore velocità di esecuzione del lavoro.

Tabella 2 – Analisi dei tempi in valori medi assoluti (minuti) per le varie operazioni nelle diverse modalità operative.

Operazione	PLE		TC	
	Abbattimento (n=8)	Potatura (n=5)	Abbattimento (n=3)	Potatura (n=7)
Prepara	33	69	63	62
Taglia	60	107	50	99
Sposta	29	51	56	47
TME	8	44	4	6
TMI	9	31	5	25

Tabella 3 – Analisi dei tempi in valori percentuali per le varie operazioni nelle diverse modalità operative.

Operazione	PLE		TC	
	Abbattimento (n=8)	Potatura (n=5)	Abbattimento (n=3)	Potatura (n=7)
Prepara	17.6%	21.1%	33.0%	25.8%
Taglia	48.3%	34.1%	29.7%	42.5%
Sposta	20.9%	18.7%	32.0%	19.2%
TME	6.0%	16.6%	2.1%	2.1%
TMI	7.2%	9.5%	3.2%	10.3%

Le tabelle 4 e 5 mostrano invece, a titolo di esempio, la caratterizzazione quali-quantitativa di alcuni campioni di foglie e legno proveniente da cantieri di lavoro di alberature di diverse specie.

Tabella 4 – Contenuto di micro-macro elementi e metalli pesanti in campioni di legno e foglie di diverse specie(mg kg⁻¹).

Tesi	Al	As	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe
Pinea legno Umbria	74,28	0,00	10,40	3456,65	0,90	1,10	2,37	16,47
Pinea aghi Umbria	17,30	0,00	30,19	2355,64	0,97	1,13	2,80	13,84
Pinea aghi Magnetite	57,35	0,01	28,44	3752,64	0,82	0,98	2,70	23,52
Pinea legno Magnetite	62,26	0,00	9,26	6415,43	1,06	1,12	2,49	15,84



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Cedrus L. aghi	468,91	0,00	32,92	9803,66	1,01	1,21	4,91	47,45
Cedrus L. legno	484,62	0,00	16,15	9292,04	1,09	1,09	5,44	58,12

Tabella 5 – Contenuto di micro-macro elementi e metalli pesanti nelle potature di diverse specie(mg kg⁻¹).

Tesi	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	Zn
Pinea legno Umbria	2054,91	531,79	13,87	160,69	1,07	253,18	1,30	7,51
Pinea aghi Umbria	5252,23	1447,67	18,56	80,83	1,26	679,33	1,35	13,21
Pinea aghi Magnetite	4563,95	2038,32	11,89	680,23	0,98	864,16	1,29	9,78
Pinea legno Magnetite	885,42	618,24	8,08	268,73	1,06	181,12	1,83	6,83
Cedrus L. aghi	5814,79	1181,28	54,32	821,34	1,37	870,42	1,93	20,94
Cedrus L. legno	2356,37	714,99	24,93	345,20	1,47	707,61	2,80	14,75

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

Il progetto non prevede indagini e studi riguardanti aspetti relativi alla sicurezza del lavoro. Tuttavia, anche in considerazione del fatto che il task leader (Marcello Biocca) sta svolgendo il proprio Dottorato di Ricerca su alcuni aspetti di sicurezza (vibrazioni e rumore), alcune osservazioni su questi aspetti saranno ulteriormente effettuate.

È stato inoltre stipulato, in data 9 ottobre 2018, un accordo di collaborazione con il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica per attività di ricerca da svolgersi presso la Tenuta di Castelporziano.



5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Durante l'attività del terzo anno, Marcello Biocca e Pietro Gallo sono stati correlatori del lavoro di tesi (laurea triennale - Corso di Laurea in Scienze Agrarie e Forestali – Università degli Studi della Tuscia di Viterbo) di Tullio Guglielmelli, che ha prodotto un elaborato finale dal titolo "Valutazione tecnico economica di cantieri per la potatura e l'abbattimento di alberi in ambiente urbano".

Il giorno 10 ottobre 2018, durante la giornata dimostrativa "Biomassa forestale: da residuo a risorsa" tenutasi presso l'Azienda Ovale di Roma del CREA-FL, sono state illustrate le attività della Task e presentato un poster dal titolo "Recupero di residui ligno-cellulosici da gestione del verde urbano" a cura di Biocca, Gallo, Imperi, Sperandio, Civitaresè.

Il giorno 26 giugno 2019, durante la giornata dimostrativa del progetto Agroener svoltasi presso il CREA-IT di Monterotondo, è stata organizzata una prova dimostrativa relativa a "Recupero della biomassa da gestione del verde urbano: dimostrazione potatura in tree-climbing".

6. Elenco pubblicazioni

Il lavoro "Cost and productivity of urban trees maintaining by climbing arborists" di Gallo P., Sperandio G., Imperi G., Guglielmelli T., Biocca M., è stato presentato al 1° World Forum on Urban Forests (28 November - 01 December 2018, Mantova, Italy) e pubblicato nel "Book of abstracts, pag. 183. Available at: <https://www.wfuf2018.com/en-ww/book-of-abstracts.aspx>".

Il lavoro "Technical and economic evaluation of urban trees pruning by climbing arborists" di Biocca M., Gallo P., Sperandio G., è stato accettato come presentazione orale alla conferenza AIIIA "Innovative biosystems engineering for sustainable agriculture, forestry and food production. International Mid-Term Conference che si terrà a Matera a settembre 2019.



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: Giovanni L'Abate

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 estesa la base dati relativa ai parametri colturali da utilizzare nelle fasi di calibrazione e applicazione delle soluzioni di modellazione (MS) a scala nazionale. Gli strati informativi pedologici prodotti nei primi due anni di attività (profondità utile e degli orizzonti funzionali, pH, contenuto di carbonio organico, tessitura, scheletro e capacità di scambio cationico; 500 x 500 m di risoluzione a copertura nazionale) sono stati validati mediante analisi di incertezza ed errore, grazie al confronto con altre banche dati (e.g. SOILGRID del Joint Research Centre della Commissione Europea). La metodologia utilizzata nella definizione degli strati informativi è stata formalizzata per essere pubblicata su una rivista scientifica ISI. La risorsa dati prodotta è stata trasferita in *cloud* e condivisa con il progetto AgriDigit, anch'esso finanziato dal MIPAAFT. Sono state prodotte mappe di produttività potenziale delle colture in termini di biomassa anidra (250 m di risoluzione), che sono state poi incrociate con le mappe di *land suitability* e *availability* precedentemente prodotte: tale operazione ha consentito di costruire una mappa di *land assignment* che attribuisca ad un dato pixel ricadente nelle aree ad elevata marginalità mappate la coltura più produttiva e più vocata (> *suitability score*) tra tutte quelle considerate. È stato infine effettuato il calcolo della biomassa potenzialmente ottenibile nel raggio di 70 km da ciascun pixel, informazione che è stata successivamente usata come *proxy* della disponibilità di materia prima da filiera corta per alimentare bioraffinerie di nuova realizzazione.

Linea 2 - In questo ambito le attività si sono focalizzate sull'aggiornamento delle MS sviluppate nel corso dei primi due anni di attività, integrando modelli specifici per simulare le produzioni di camelina (CAMEL - *Camelina sativa* L. Crantz) e crotalaria (SunnGro - *Crotalaria juncea* L.) in risposta a diverse strategie di gestione colturale (date e densità di semina, epoche di raccolta). Tali modelli sono stati implementati come componenti indipendenti nella piattaforma BioMA, che consente la



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

rappresentazione modulare dei sistemi caratterizzata da elevata granularità. Un altro importante filone di attività ha riguardato la progettazione prima, e la realizzazione poi, dell'infrastruttura *cloud* - basata su tecnologia Microsoft *Azure* - all'interno della quale tutti i dati (i.e. meteo, suolo, pratiche gestionali, parametri dei modelli) e le procedure da utilizzare nell'ambito del progetto verranno via via trasferiti in specifici *repository*. A ciascun *repository* è associata una *API (Application Program Interface) Web* che permette di estrarre dati sempre aggiornati ed accessibili da qualsiasi punto della rete, senza necessità di conoscere la struttura logica sottostante. Tale scelta operativa è di cruciale importanza per la pubblicazione dei dati in modo FAIR e per garantire la tracciabilità delle versioni degli artefatti software sviluppati, la loro massima riutilizzabilità, la standardizzazione delle procedure di analisi e la ripetibilità dei risultati.

Linea 3 - L'attività svolta ha riguardato la calibrazione e validazione di quattro MS BioMA: 1) CropSyst e WOFOST utilizzando dati raccolti su cardo nel periodo 2010-2012 presso la località di Rutigliano (BA). Le variabili target selezionate per la calibrazione sono state: contenuto idrico del suolo, biomassa aerea (AGB) e indice di area fogliare (LAI); 2) CAMEL con dati raccolti nel periodo 2015-2017 presso la località di Cadriano (BO). Le variabili guida per la calibrazione hanno incluso la resa e il contenuto di olio nel seme; 3) SunnGro adoperando dati raccolti nel periodo 2016-2018 presso la località di Cadriano (BO). Le variabili target selezionate per la calibrazione sono state: numero di branche e foglie per pianta, AGB e LAI. I risultati ottenuti hanno rivelato un'elevata accuratezza dei modelli utilizzati nel simulare le dinamiche stagionali delle variabili biometriche selezionate per le colture annuali; risultati più incerti sono stati ottenuti nella simulazione del cardo, dove appare necessario ridurre la sottostima sistematica prodotta nella fase precoce e centrale del ciclo produttivo per entrambe le variabili produttive.

1. Attività svolta

Linea 1

Parametri biofisici

Sono stati reperiti dati sperimentali mirati a determinare i valori di alcuni parametri biofisici relativi a fenologia e crescita colturale per cardo (*Carduus* spp.) e camelina (*Camelina sativa* L. Crantz), 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 dei primi due anni di attività relativi a sorgo da biomassa, arundo, panico, pioppo, miscanto e crotalaria.

Proprietà dei suoli

Dopo aver dedicato i primi due anni di progetto al recupero e all'armonizzazione dell'informazione pedologica e tematica prima, e alla spazializzazione dei dati sull'intero territorio nazionale poi, nel terzo anno di lavoro l'attenzione è stata focalizzata sulla pubblicazione dei risultati ottenuti su rivista scientifica ISI. L'articolo scientifico prodotto, ed ora pronto ad essere sottomesso, spiega in dettaglio la metodologia innovativa messa a punto per la spazializzazione dell'informazione pedologica nell'ambito del progetto AGROENER.

Land suitability

Nel corso del secondo anno di progetto è stato realizzato l'incrocio tra le mappe di *land availability*, prodotte in funzione della marginalità economica dei terreni agricoli, con quelle di *land suitability*



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

per le varie colture bioenergetiche, al fine di procedere poi con l'effettuazione del *land assignment*. A parità di *suitability score* dell'*i*-esimo pixel sul territorio rispetto a due o più colture, è stato necessario predisporre un ranking degli stessi in funzione alla loro produttività, allo scopo di attribuire al pixel in questione la coltura maggiormente produttiva in termini di biomassa anidra annua. La mappa di *land assignment* (risoluzione spaziale a 250m) ha come scopo ultimo quello di individuare per ciascuna area marginale la coltura con il maggior potenziale produttivo in relazione a orografia, forzanti meteorologiche, profondità e tessitura dei suoli, e distanza dalla linea di costa. Le attività del terzo anno si sono concentrate sull'ulteriore ricerca e verifica dei dati di produttività media a livello nazionale delle singole colture bioenergetiche, arrivando a consultare un totale di 80 articoli scientifici e di letteratura tecnica. Dal dato di produzione medio di biomassa anidra annua delle singole colture è stata poi prodotta la mappa nazionale della produttività potenziale delle colture bioenergetiche in Italia su terreni marginali. Una volta prodotta la mappa di *land assignment*, al fine di ipotizzare un'organizzazione di bio-distretti energetici a filiera corta (70 km di raggio, come previsto dal DM Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali 2 marzo 2010), si è proceduto a stimare la disponibilità di biomassa per l'approvvigionamento di bioraffinerie distrettuali di nuova realizzazione.

Linea 2

Soluzioni di modellazione

In questo ambito le attività si sono concentrate sull'aggiornamento delle soluzioni di modellazione (MS) sviluppate nel corso del primo e del secondo anno di attività, integrando modelli specifici per simulare le produzioni di camelina (CAMEL) e crotalaria (SunnGro - *Crotalaria juncea* L.) in risposta a diverse strategie di gestione colturale (date e densità di semina, epoche di raccolta). Tali modelli sono stati implementati come componenti indipendenti nella piattaforma BioMA (<https://en.wikipedia.org/wiki/BioMA>), che consente la rappresentazione modulare dei sistemi caratterizzata da elevata granularità.

Infrastruttura cloud

Durante l'ultimo anno le attività della linea di ricerca si sono focalizzate sulla progettazione prima, e sulla realizzazione poi, dell'infrastruttura *cloud*; essa è stata sviluppata all'interno della piattaforma *Azure*, nella quale verranno via via trasferiti i dati e le procedure da utilizzare nell'ambito del progetto (Fig. 1).

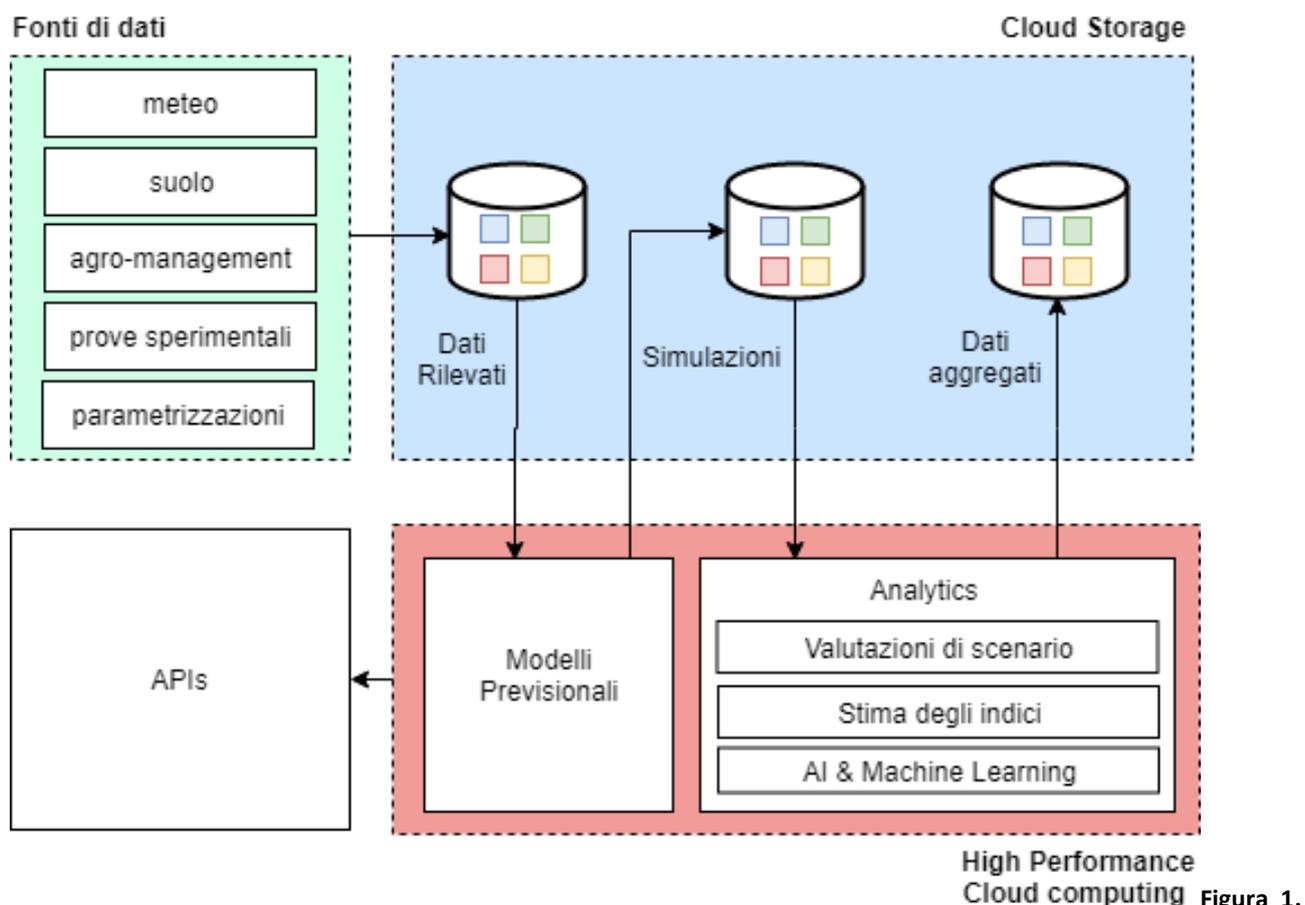
Con il termine dati si fa qui riferimento sia agli strati informativi spazializzati e georiferiti a scala nazionale che alimenteranno i modelli di simulazione (i.e. meteo, suolo, pratiche gestionali, parametrizzazioni dei modelli), sia agli output dei modelli stessi.

I modelli di simulazione, così come gli script di analisi ed elaborazione degli input/output dei modelli, costituiscono invece le procedure.

Il trasferimento delle risorse in *cloud* è di cruciale importanza per rendere possibile la pubblicazione dei dati in modo *FAIR* e per garantire la tracciabilità delle versioni degli artefatti software sviluppati, la loro massima riutilizzabilità, la standardizzazione delle procedure di analisi e la ripetibilità dei risultati.

I suddetti quattro strati informativi principali saranno salvati in altrettanti *repository* all'interno del *cloud*. A ciascun *repository* sarà associata una *API (Application Program Interface) Web* che permetterà di estrarre i dati senza necessità di conoscere la struttura logica sottostante. Questa

scelta progettuale consente di rendere fruibili i dati su richiesta in qualsiasi momento, da qualunque punto della rete, pronti per essere assimilati all'interno della logica dei programmi eventualmente utilizzati, come ad esempio, per interpolare e/o aggregare le informazioni disponibili prima di essere impiegati all'interno dei modelli di simulazione. In questo modo i dati saranno sempre aggiornati e disponibili senza dover essere ricaricati manualmente.



Struttura informatica per la gestione di dati e risorse di calcolo nel progetto AGROENER.

Linea 3

Calibrazione

L'attività svolta ha riguardato la calibrazione e validazione di quattro MS:

- CropSyst e WOFOST utilizzando dati raccolti nel periodo 2010-2012 presso la località di Rutigliano (BA). Le variabili target selezionate per la calibrazione sono state: contenuto idrico del suolo (SWC, $m^3 m^{-3}$; dati non mostrati), biomassa aerea (AGB, $kg ha^{-1}$) e indice di area fogliare (LAI, $m^2 m^{-2}$);
- CAMEL utilizzando dati raccolti nel periodo 2015-2017 presso la località di Cadriano (BO). Le variabili target selezionate per la calibrazione sono state: resa ($t ha^{-1}$) e contenuto di olio nel seme ($mg seme^{-1}$);



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- SunnGro utilizzando dati raccolti nel periodo 2016-2018 presso la località di Cadriano (BO). Le variabili target selezionate per la calibrazione sono state: numero di branche e foglie per pianta (numero pianta⁻¹), AGB (t ha⁻¹) e LAI (m² m⁻²).

Per cardo la calibrazione è stata effettuata con la modalità *trial and error*, mentre per camelina e crotalaria è stata effettuata automaticamente utilizzando il metodo *multi-start downhill simplex*. L'accuratezza delle diverse MS nelle fasi di calibrazione e validazione è stata quantificata utilizzando 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), *relative root mean square error* (RRMSE; Jørgensen et al., 1986) e R².

2. Risultati e deliverable

Linea 1

Proprietà dei suoli

Nell'ultimo anno di progetto sono state condotte tre tipi di attività:

i) ulteriore validazione degli strati informativi pedologici prodotti con dataset indipendenti, quale ad esempio la banca dati SOILGRID del Joint Research Centre della Commissione Europea, ii) formalizzazione definitiva delle metodologie di spazializzazione per dati pedologici, a scopo di pubblicazione, iii) condivisione della risorsa dati prodotta in *cloud*, in accordo con le linee guida formalizzate all'interno del progetto AgriDigit, finanziato al CREA dal MIPAAFT, e mirato a sfruttare le potenzialità offerte dall'integrazione delle nuove tecnologie digitali (ingegneristiche, meccatroniche, informatiche, logistiche, di comunicazione, ecc.) all'interno del settore agricolo italiano.

Land suitability

Sono state prodotte mappe e relativi dati quantitativi tabellari per i terreni agricoli marginali attualmente utilizzabili per l'avviamento alle coltivazioni da bioenergia. Un primo insieme di dati sono stati oggetto di pubblicazione nel lavoro di Sallustio et al., 2018. I dati e le mappe relativi alle analisi di *land suitability*, *land assignment*, produttività potenziale di biomassa e conversione in bioetanolo sono attualmente oggetto di un articolo scientifico in fase avanzata di redazione, pertanto si omette la presentazione di dati e cartografie non ancora pubblicati. Si riportano di seguito in maniera sintetica i prodotti attualmente disponibili:

- i) mappa dei terreni agricoli classificati secondo la loro marginalità (alta, media e alta), da cui è stata derivata la successiva cartografia;
- ii) mappa della *land availability*, ovvero dei terreni agricoli marginali disponibili per la coltivazione di colture bioenergetiche;
- iii) dati tabellari relativi alle superfici dei terreni agricoli suddivisi per le diverse classi di marginalità e uso del suolo attuale;
- iv) mappe di *land suitability* (valore da 0 a 1) con risoluzione spaziale di 250m per: *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, *Arundo donax* L., *Populus x canadensis* Moench, *Robinia pseudoacacia* L., *Salix alba* L., *Pinus halepensis* Miller, *Pinus pinaster* Aiton;
- v) superficie dei terreni agricoli idonei alla coltivazione delle diverse colture bioenergetiche;



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- vi) mappa delle colture bioenergetiche potenzialmente coltivabili in Italia in funzione della idoneità ecologica (*suitability*) e della produttività delle singole colture e dati tabellari correlati;
- vii) mappa della biomassa anidra annua potenzialmente ottenibile dall'impianto di colture bioenergetiche su terreni agricoli marginali e dati tabellari correlati;
- viii) mappa della disponibilità potenziale di biomassa anidra producibile in un raggio di 70 km in ciascun punto del territorio nazionale per l'individuazione di distretti bioenergetici e a supporto alla localizzazione di bioraffinerie.

Linea 2

Soluzioni di modellazione

I risultati ottenuti riguardano principalmente l'implementazione di approcci per la simulazione della risposta di crotalaria (livello produttivo potenziale) e camelina (potenziale e limitato da stress idrico) a diverse gestioni colturali basate su diverse date e densità di semina e/o epoche di raccolta. Di seguito una breve descrizione per singolo modello.

CREA.SunnGro. Tale modello rappresenta un adattamento di ARUNGRO (già descritto nelle relazioni precedenti) a simulare lo sviluppo, la crescita potenziale e la complessa dinamica della copertura vegetale di Crotalaria. Le principali modifiche apportate rispetto al modello originale hanno riguardato la i) stima della data di fioritura, introducendo una risposta lineare alla temperatura media giornaliera, corretta per il fotoperiodo); ii) l'introduzione di algoritmi specifici per la simulazione dell'evoluzione delle branche primarie e secondarie e per la stima del numero di foglie per pianta; iii) definizione di un nuovo algoritmo per calcolare l'area delle foglie di nuova emissione, considerando una forma ellittica anziché triangolare; iv) eliminazione dell'effetto della senescenza fogliare sulle dinamiche di LAI e sui tassi giornalieri di fotosintesi lorda (in ambienti non tropicali la brevità della stagione calda non permette che la coltura vada in senescenza); v) considerazione dell'effetto della densità di impianto sulla germinazione dei semi e, quindi, sul numero di piante vive per unità di superficie.

CREA.CAMEL. Il modello WOFOST-GTC, originariamente sviluppato per colza, è stato adattato a simulare lo sviluppo e la crescita potenziale e limitata da stress idrico di camelina mediante calibrazione di selezionati parametri colturali. Il modello è stato scelto in virtù delle marcate somiglianze morfo-fisiologiche tra le due specie vegetali, e per la sua capacità di descrivere la complessa evoluzione della copertura vegetale durante il ciclo colturale, tenendo conto del contributo dei diversi organi vegetali alla fotosintesi nelle diverse fasi fenologiche. Rispetto alla versione originale, sono state inserite funzioni specifiche per la simulazione i) delle limitazioni all'attività fotosintetica dovute ad una scarsa escursione termica giornaliera, ii) del contenuto di olio nel seme e iii) della biosintesi dei principali acidi grassi presenti nell'olio di questa coltura: acidi palmitico, stearico, oleico, linoleico, linolenico ed eicosenoico. In particolare, per la simulazione del metabolismo degli acidi grassi è stato implementato il modello cinetico di Michaelis-Menten.

Infrastruttura cloud: API RESTful suolo

A titolo esemplificativo delle attività svolte e tese a rendere fruibili le risorse dati, viene di seguito mostrata l'interfaccia esposta dal servizio realizzato per i dati suolo. Il servizio risiede attualmente al seguente indirizzo:

<https://creaagroenersoils20190603103147.azurewebsites.net/api/GetData?>



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Per ottenere una serie di dati suolo è sufficiente inoltrare una richiesta *http GET*, specificando i seguenti parametri: i) un token di autenticazione, ii) gli estremi dell'area d'interesse espressi in coordinate ED50-UTM - fuso 32, iii) una lista delle variabili desiderate. Il servizio risponde producendo un oggetto *JSON* contenente le informazioni richieste e relative a ciascuna cella suolo compresa nel riquadro selezionato.

Il *JSON* restituito ha la struttura riportata in Fig. 2 ed è costituito da due sezioni: la prima, chiamata *VarInfoList* contiene i metadati in formato *VarInfo*, mentre la seconda, chiamata *Data*, i dati veri e propri espressi in forma tabellare.

```
{
  "VarInfoList": [
    {
      "Name": "code nod",
      "Description": "Node Identifier",
      "UnitOfMeasure": "unitless",
      "ValueType": "Integer"
    },
    {
      "Name": "X",
      "Description": "Longitude, EPSG:23032",
      "UnitOfMeasure": "Meters (m)",
      "ValueType": "Integer"
    },
    {
      "Name": "Y",
      "Description": "Latitude, EPSG:23032",
      "UnitOfMeasure": "Meters (m)",
      "ValueType": "Integer"
    },
    {
      "Name": "OrizzFunz",
      "Description": "Soil Horizon, Identifier",
      "UnitOfMeasure": "unitless",
      "ValueType": "Integer"
    },
    {
      "Name": "LimSp",
      "Description": "Profile Element, Upper limit depth",
      "UnitOfMeasure": "Centimeters (cm)",
      "ValueType": "Double"
    },
    {
      "Name": "LimIn",
      "Description": "Profile Element, Lower limit depth",
      "UnitOfMeasure": "Centimeters (cm)",
      "ValueType": "Double"
    },
    {
      "Name": "Spessore",
      "Description": "Profile Element, Thickness",
      "UnitOfMeasure": "Centimeters (cm)",
      "ValueType": "Double"
    }
  ],
  "Data":
  "code nod,X,Y,OrizzFunz,LimSp,LimIn,Spessore\n1,740471,5215973,0,0,7.5,7.5\n1,740471,5215973,1,7.5,8.2,0.6999999999999999\n1,740471,5215973,2,8.2,33.34,25.14\n1,740471,5215973,3,33.34,60.4,27.06\n1,740471,5215973,4,60.4,84,23.6\n2,740471,5216473,0,0,7.5,7.5\n2,740471,5216473,1,7.5,8.2,0.6999999999999999\n2,740471,5216473,2,8.2,33.34,25.14\n2,740471,5216473,3,33.34,60.4,27.06\n2,740471,5216473,4,60.4,84,23.6 "
}
```

Figura

2. Struttura del file *JSON* restituito da una richiesta all'API suolo.

Linea 3

I risultati ottenuti in calibrazione per crotalaria, camelina e cardo sono descritti sinteticamente nei sotto-paragrafi successivi e riportati rispettivamente in figura 3/4, 5/6 e 7.

SunnGro – Le prestazioni del modello nel simulare le dinamiche delle variabili biometriche lungo la stagione vegetativa (i.e. numero di branche - NB - e di foglie - NF - per pianta; Figura 3) si sono rivelate accurate per tutte le combinazioni di fattori considerati, con lievi scostamenti dai dati misurati, specialmente per il numero di foglie (NB: $RRMSE_{avg} = 37\%$ e $EF_{avg} = 0.79$; NF: $RRMSE_{avg} = 27\%$ e $EF_{avg} = 0.92$). Le maggiori sovrastime/sottostime sono state rilevate per raccolte tardive a densità d'impianto standard (50-52 piante m^{-2}).

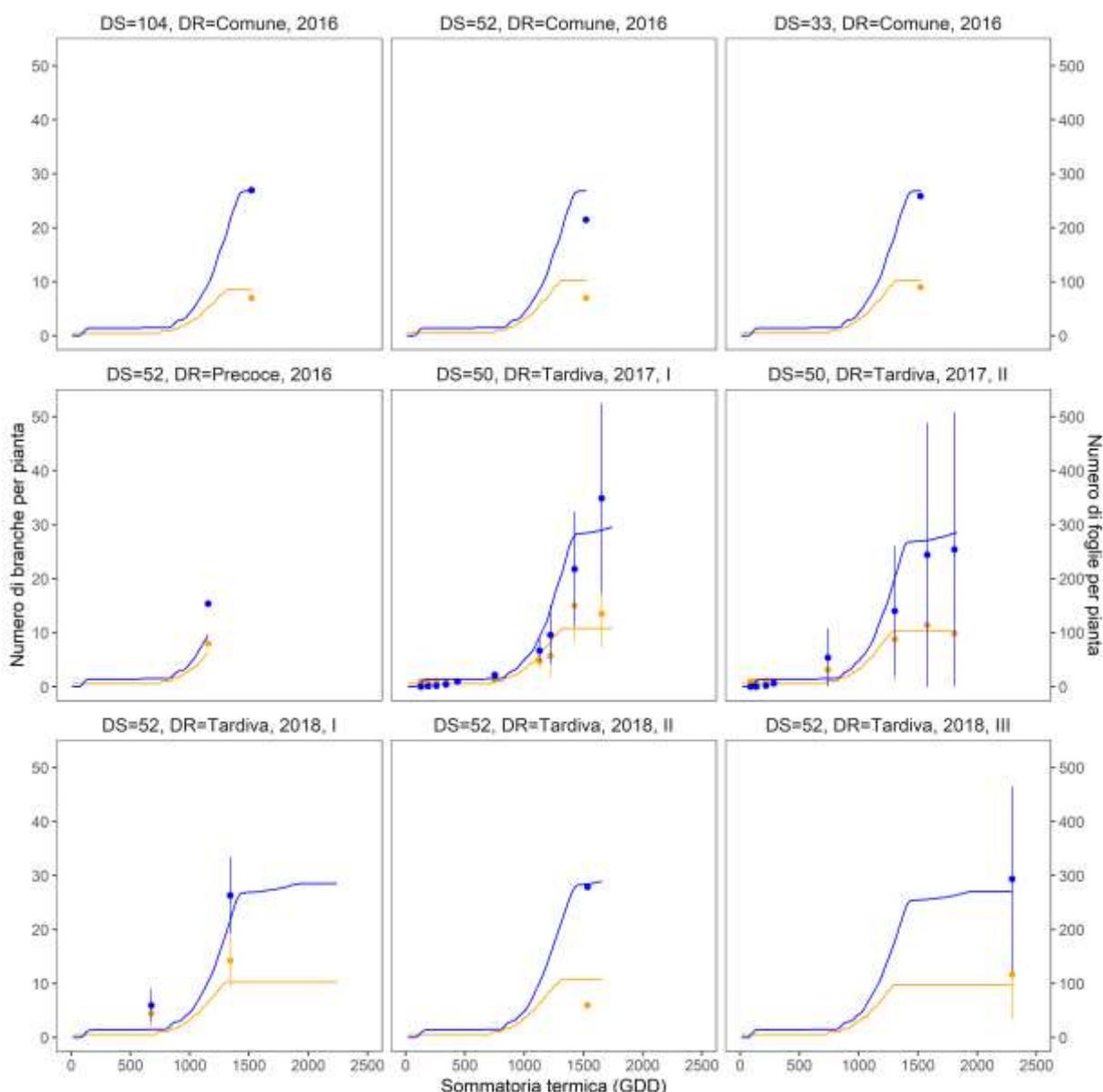


Figura 3. Simulazione della dinamica di evoluzione del numero di branche (linea arancio, asse principale) e di foglie (linea blu, asse secondario) per pianta durante la stagione vegetativa in crotalaria. L'obiettivo delle simulazioni è quello di riprodurre le dinamiche osservate in 9 prove in campo condotte in diverse annate agrarie (2016, 2017 e 2018),

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

adottando diverse densità di semina (DS) ed epoche di raccolta (DR). I punti rappresentano la media di repliche sperimentali con la relativa deviazione standard (quando disponibile).

La corretta simulazione di NB ed NF ha posto le basi per una stima accurata delle dinamiche di AGB e LAI durante la stagione colturale (Figura 4; AGB: $RRMSE_{avg} = 23\%$ e $EF_{avg} = 0.75$; LAI: $RRMSE_{avg} = 33\%$ e $EF_{avg} = 0.62$). Per AGB il modello è stato in grado di descrivere i trend osservati in campo per la quasi totalità delle combinazioni di densità di semina (DS) ed epoca di raccolta (DR), ad eccezione dei dati presentati nel riquadro 3 (varietà precoce) e 9 (varietà tardiva), in cui si sono verificate rispettivamente una marcata sotto e sovrastima. La sottostima del numero di foglie stimate nella fase iniziale del ciclo ha comportato un generale ritardo nella simulazione della dinamica del LAI, che non è stato sempre compensato nel prosieguo della stagione vegetativa (e.g. riquadro 7).

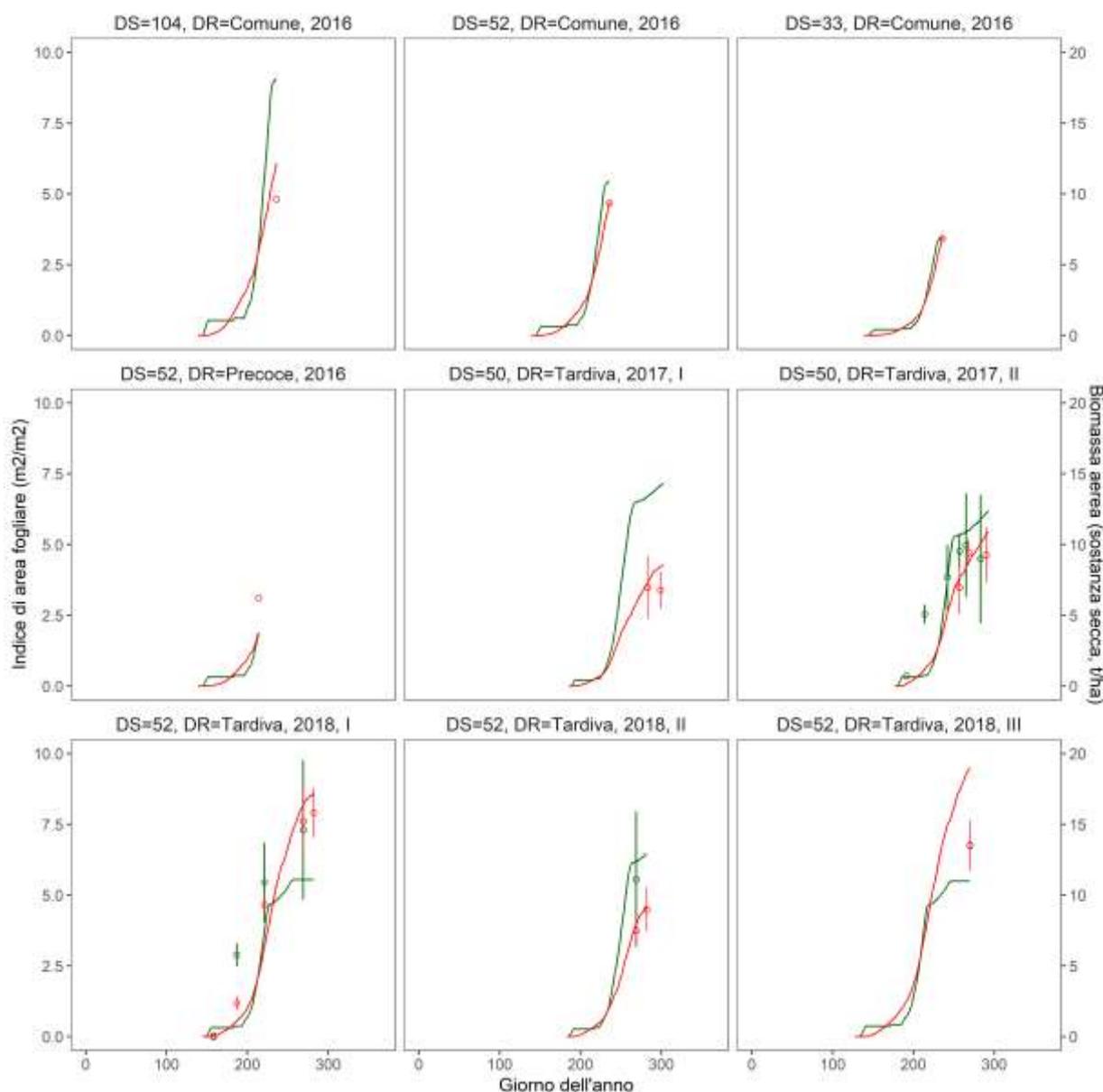
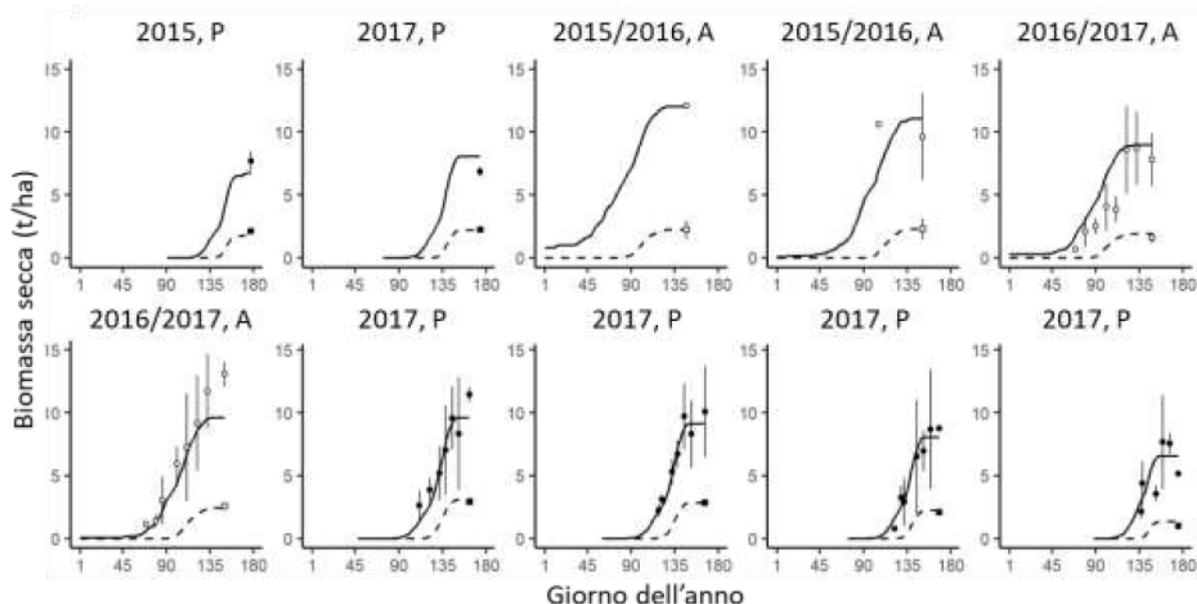


Figura 4. Simulazione della dinamica di evoluzione dell'indice di area fogliare (linea verde, asse principale; $m^2 m^{-2}$) e della biomassa area (linea blu, asse secondario; $t ha^{-1}$) in crotalaria durante la stagione vegetativa. L'obiettivo delle

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

simulazioni è riprodurre le dinamiche osservate in 9 prove in campo condotte in diverse annate agrarie (2016, 2017 e 2018), adottando diverse densità di semina (DS) ed epoche di raccolta (DR). I punti rappresentano la media di repliche sperimentali con la relativa deviazione standard (quando disponibile).

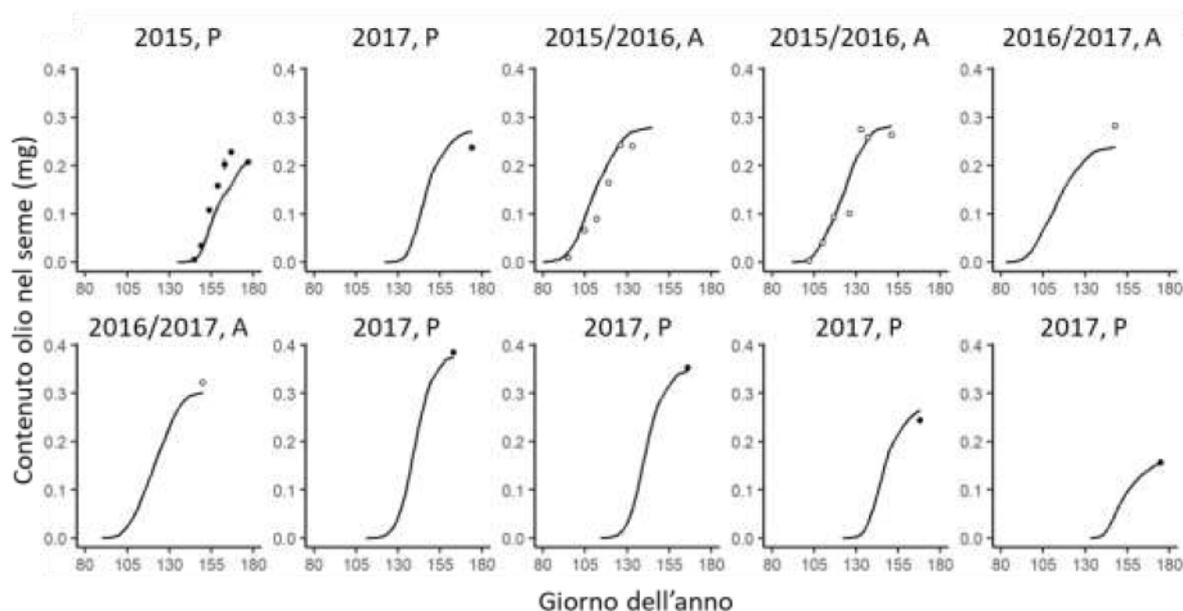
CAMEL - La simulazione delle variabili di crescita (i.e. AGB; Figura 5) e degli aspetti qualitativi delle produzioni (i.e. contenuto di olio - OC; Figura 6) ha dimostrato la capacità del modello di riprodurre la variabilità delle misurazioni di campo (risultati del modello in validazione: AGB RRMSE = 24%, EF = 0.81; OC RRMSE = 4%, EF = 0.94), spiegando il 57 e il 98% della variabilità inter-annuale dell'AGB e dell'OC rispettivamente. Il modello è stato inoltre in grado di diversificare i livelli produttivi simulati per diverse epoche di semina (e.g. autunnale e primaverile) in accordo con i dati di riferimento.



Figura

5. Simulazione della dinamica di evoluzione della biomassa aerea (linea nera continua; $t\ ha^{-1}$) e della resa (linea tratteggiata; $t\ ha^{-1}$) durante la stagione vegetativa in camelina. L'obiettivo delle simulazioni è riprodurre le dinamiche osservate in 10 prove in campo condotte in diverse annate agrarie (2015, 2016 e 2017), adottando due diverse epoche di semina (A = autunnale, P = primaverile). I punti rappresentano la media di repliche sperimentali con la relativa deviazione standard (quando disponibile): i punti vuoti si riferiscono alle semine autunnali, quelli pieni a quelle primaverili.

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019



Figura

6. Simulazione della dinamica di evoluzione del contenuto d'olio nei semi di camelina (mg seme^{-1}) durante la stagione vegetativa. L'obiettivo delle simulazioni è riprodurre le dinamiche osservate in 10 prove in campo condotte in diverse annate agrarie (2015, 2016 e 2017), adottando due diverse epoche di semina (A = autunnale, P = primaverile). I punti rappresentano la media di repliche sperimentali con la relativa deviazione standard (quando disponibile): i punti vuoti si riferiscono alle semine autunnali, quelli pieni a quelle primaverili.

CropSyst - Come si può notare in Figura 7, tale MS ha dimostrato un'accurata simulazione della dinamica di AGB ad inizio e fine stagione, con una sottostima sistematica nella fase centrale del ciclo produttivo. Anche i risultati ottenuti per il LAI simulato sono stati abbastanza soddisfacenti, facendo registrare i maggiori scostamenti dalle osservazioni nei due campionamenti condotti a fine stagione, poco prima della raccolta. Per quanto riguarda il contenuto idrico del suolo, si è osservato un buon riscontro tra dati osservati e dati misurati, specialmente nella prima metà del ciclo colturale.

WOFOST - I trend di AGB simulati da WOFOST sono risultati abbastanza simili a quelli ottenuti con CropSyst, anche se caratterizzati da una maggiore sottostima nella fase iniziale del ciclo. Per quanto concerne la dinamica del LAI, la miglior stima del picco è stata accompagnata da maggiori scostamenti nella stima nella fase iniziale del ciclo ed alla raccolta. Per quanto riguarda il contenuto idrico del suolo, l'andamento simulato dalla MS è stato discretamente fedele a quanto osservato tramite sonde TDR; solo a fine ciclo, si è verificato uno sfasamento tra dati osservati e simulati.

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

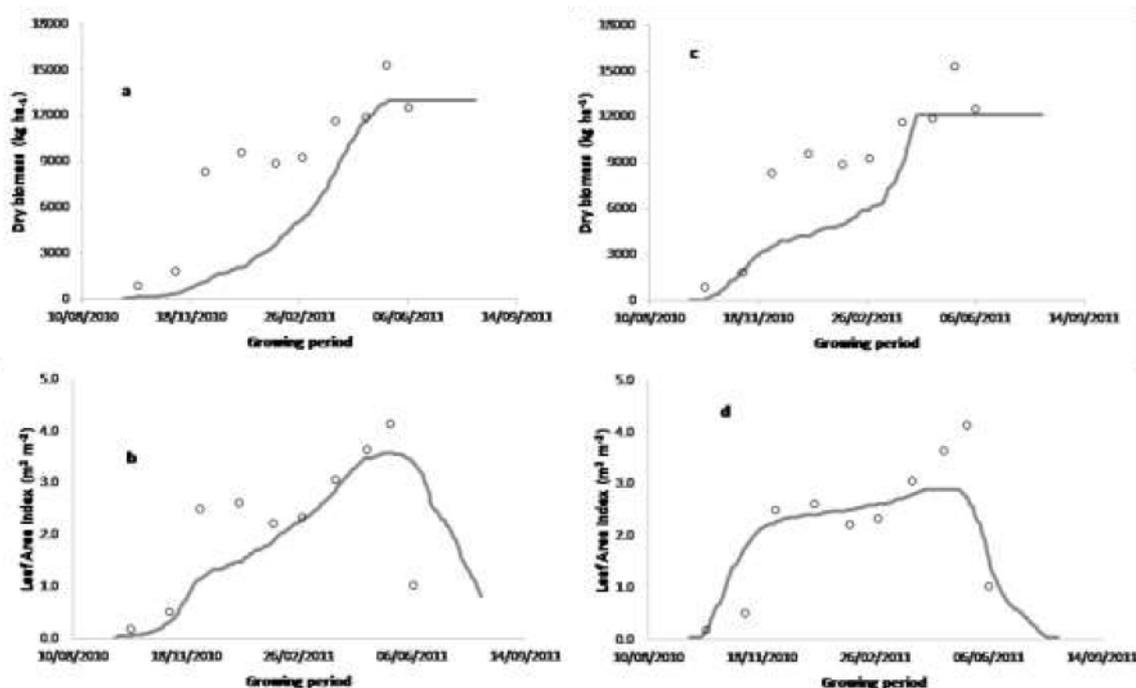


Figura 7. Confronto tra dati simulati dalle due soluzioni di modellazione implementate in BIOMA (WOFOST e CropSyst) nella fase di calibrazione e dati osservati di biomassa secca (Bioma_WOFOST, **a**; Bioma_CropSyst, **c**) e indice di area fogliare (Bioma_WOFOST, **b**; Bioma_CropSyst, **d**) durante il ciclo culturale del cardo.

I risultati ottenuti nella fase di validazione per cardo sono invece riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Valori relativi agli indici statistici utilizzati nella fase di validazione per la valutazione delle soluzioni di modellazione (WOFOST-WF e CropSyst-CS) per la biomassa secca (AGB) e indice di area fogliare (LAI).

Modello	Variabile	Osservazioni <i>n</i>	Misura	Media		*Indice		
				Osservato	Simulato	GSD	EF	<i>d</i>
WF	AGB	19	kg ha ⁻¹	10225	8152	35.6	0.19	0.85
	LAI	19	m ² m ⁻²	2.46	2.77	43.52	0.21	0.82
CS	ADB	19	kg ha ⁻¹	10225	8931	28.99	0.46	0.88
	LAI	19	m ² m ⁻²	2.46	2.26	50.43	0.09	0.61

Per quanto riguarda la fase di validazione, indicazioni contrastanti sono emerse dalla valutazione degli indici statistici utilizzati per entrambe le MS.

WOFOST - Sebbene abbia ottenuto valori di *d* prossimi all'ottimale (i.e. 1) sia per la AGB che per il LAI, i valori di *GSD* ed *EF* sono risultati rispettivamente ben superiori ed inferiori alle soglie ottimali corrispondenti (*GSD*=0-20, *EF*= 1 per entrambe le variabili). I valori di *EF* sono risultati sempre positivi, dimostrando che la stima prodotta dal modello è più accurata di quella derivabile dalla media dei dati misurati.

CropSyst - CropSyst si è rivelato più accurato nel riprodurre le dinamiche stagionali di biomassa rispetto a WOFOST, riportando valori più favorevoli per tutti gli indici statistici considerati e prossimi all'ottimo nel caso di *GSD* e *d*; i valori di *EF* sono da considerarsi molto soddisfacenti. Il



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

comportamento delle due MS risulta invece completamente invertito se si considerano le dinamiche dell'indice di area fogliare nel corso del ciclo.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Non si sono verificati ostacoli nella realizzazione degli obiettivi

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Linea 3

CREA-AA (sede di Bari) sta approfondendo la parametrizzazione di componenti e MS per il sorgo da biomassa in condizioni di stress idrico. Per tale scopo è stata programmata un 2° anno di prova sperimentale ad hoc per la stagione 2019 (segue quella del 2018) che prevedrà la semina tardiva della coltura (fine luglio) come coltura intercalare (ciclo vegetativo agosto-ottobre). Saranno eseguiti campionamenti per le diverse variabili (altezza, peso secco di biomassa aerea, LAI, SWC). Contemporaneamente si predisporranno i "tagli" periodici alle SRC previsti nei dispositivi sperimentali a Rutigliano.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

3 luglio, 2018: seminario presso la sede di Bari (via Ulpiani, 5) del CREA-AA con titolo: "Colture Agroenergetiche: potenzialità nell'ambiente mediterraneo"

12-17 agosto, 2018. Partecipazione al 21^{esimo} Congresso Mondiale della Scienza del Suolo (21st World Congress of Soil Science) organizzato dalla International Union of Soil Sciences (IUSS), a Rio de Janeiro, Brasile, durante il quale è stata presentata la carta del carbon stock italiano (<http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data-new/global-soil-organic-carbon-gsoc-map/en/>), che costituisce un sottoprodotto del progetto AGROENER.

10-13 settembre, 2018. Partecipazione al convegno annuale della Società Italiana di Scienza del Suolo, Palermo.

6. Elenco pubblicazioni

Fantappiè, M., Costantini, E.A.C., L'Abate, G., 2019. Elaborating and mapping Italian Derived Soil Profiles on a 500 m grid with digital soil mapping procedure. *Geoderma*. *Under submission*.

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*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.033>

Sallustio, L., Salvati, R., Salvati, L., Fabbrini, F., Scarascia Mugnozza, G., Harfouche, A., Marchetti, M., Corona, P., 2019 (in preparazione). Land Availability for Sustainable Lignocellulosic Biofuels in Italy.

Parenti, A., Ginaldi, F., Cappelli, G., Bregaglio, S., Zegada-Lizarazu, W., Ciria, Carrasco, J., Alexopoulou, E., Monti, A., 2019. A Crop Model-Based Evaluation of Sunn Hemp (*Crotalaria juncea* L.) Productivity Under Alternative Management Practices. *European Journal of Agronomy*. *Under submission*



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). In particolare, la misura del bio-potenziale-metanigeno (BPM) è di estrema importanza in quanto esprime l'effettivo valore di una biomassa per la trasformazione in energia termica ed elettrica attraverso la digestione anaerobica.
- Sviluppo su 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 verrà 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 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- Prove di campo per valutare l'efficacia dell'applicazione di digestati in colture ad alto reddito e valutarne le problematiche correlate (Task 3.4).

Nel terzo 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 attivamente 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 state 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 quasi conclusi i lavori di costruzione vera e propria. La realizzazione dei prototipi, già quasi ultimata, consentirà di confermare a scala aziendale le potenzialità di indirizzo e governo del processo di digestione anaerobica che già emergono dalle indagini di laboratorio.

Nella comparazione tra diversi tipi di inoculo, il liquido ruminale di bufalo 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. È 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 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.

Relativamente ai digestati si è concluso il secondo anno di valutazione dell'ammendamento di tre siti diversi con digestati reperiti in loco (linea 1 task 3.4), è stata completata la valutazione della



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

potenziale efficacia agronomica di diversi biodigestati attraverso prove in vaso ed in microcosmo ed è a buon punto l'indagine sulle attività biostimolanti del digestato (task 3.5).

In sintesi, i primi risultati indicherebbero che l'impiego dei digestati ha effetti favorevoli su sanità e fertilità biologica dei suoli e incrementa la capacità di accrescimento delle piante rispetto ai controlli non trattati. Questi effetti potrebbero derivare da fattori biologici legati alla sanità delle radici, supportando così l'ipotesi di un incremento della *soil suppressiveness* nei suoli ammendati.

Di seguito si riportano gli stati di avanzamento di ciascun Task del WP3.

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>
2. 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, 65-73. doi: 10.1016/j.biocontrol.2018.07.016.

Atti convegni e congressi

3. 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".
4. Chiariotti A., M. Calì. February 1-4 2018. Proceedings IX ASIAN BUFFALO CONGRESS. Hisar (India) "Buffalo rumen as inoculum for bio-hydrogen production".
5. 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".
6. Cianchetta s., Vasmarà 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".
7. Manici L. M., Rossi A., Caputo F., Topp A.R., Zago M., Kelderer M. February 19 to 21, 2018. "A first survey on the health quality of soils in Martell valley with the prospective of implementing organic production of strawberries". Proc. 18th Eco Fruit Conference



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

University of Hohenheim (Germany), p. 213-217. In web a <https://www.ecofruit.net/proceedings-2018.html>

8. Simona Fabroni, Margherita Amenta, Gabriele Ballistreri, Flora Valeria Romeo, Nicolina Timpanaro, Paolo Rapisarda. Utilizzo degli scarti della trasformazione degli agrumi in campo alimentare, nutraceutico ed energetico. La rivista di scienza dell'alimentazione. ISSN 1128-7969 Numero 3, Settembre - Dicembre 2018, Anno 47.

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
- 12-14 Ottobre 2018 conferenza 'Mediterranean Hifood tra invenzione e tradizione' tenutasi a Roma nell'ambito dell'evento Maker Faire 2018
- 28 febbraio – 1 Marzo 2019. Biogas Italy 2018, Milano

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
- 18TH 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 ed è stata discussa nel marzo 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)

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		



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

			6	Verifica dei risultati sull'impianto pilota attraverso gli stessi test chimici, microbiologici e molecolari previsti nei campioni di laboratorio			
3.2	Produzione d'inoculi per digestori anaerobici	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		
			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 sui 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	XX		
			3	Potenziamento dell'impiego dei digestati da biomasse vegetali come ammendanti in conversione e gestione a biologico	XX		
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	XXX		
			3	Individuazione di proprietà biostimolanti nei biodigestati	XX		
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,	XX		



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

			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			
		3	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	XXX		
		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	XX		
		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	XX		

Sub-WP 3.1: Consorzi microbici per la fermentazione



Task 3.1 Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica

Task leader: Antonella Chiarotti (CREA-ZA)

Delle 6 linee di cui si compone la task 3.A si riporta l'attività per la

Linea 1: Identificazione delle condizioni ottimali di processo per la produzione di idrogeno e metano con substrati diversi singoli o in codigestione.

Linea 2: Studio delle combinazioni diverse di substrati (i.e. liquame, sottoprodotti caseari, lignocellulosici) per ottimizzare l'efficienza energetica dell'intero processo e massimizzare le produzioni di gas

Linea 3: Analisi della struttura e variazione delle popolazioni microbiche durante la fermentazione attraverso tecniche molecolari.

Linea 5: Verifica delle caratteristiche del biogas ottenuti dai processi fermentativi ottimizzati

Abstract

Sono state effettuate varie prove di fermentazione con diversi substrati (liquame, scotta e scarti di pomodoro come materiale lignocellulosico). Gli scarti di pomodoro comprendono la buccia, i semi e la polpa (in percentuale diversa in base al processo di produzione) ed il loro uso nella digestione anaerobica costituisce un'alternativa razionale allo smaltimento. Le prove volevano verificare la percentuale migliore di codigestione del liquame da impiegare per l'ottenimento di biogas, idrogeno in particolare. La produzione di idrogeno è risultata molto scarsa e si è avuta solo quando il rapporto pomodoro:liquame era 1:2. La concentrazione di acidi grassi volatili della tesi 1: 2, anche se non statisticamente significativa, è stata la più alta rispetto alle altre tesi.

Un'altra prova ha verificato di tre percentuali di inoculo di rumine bufalino e liquame maturo su un substrato di liquame fresco e scotta congelata oppure su scotta da sola pretrattata a pH 8. Le tesi che hanno dato una produzione cumulata di idrogeno maggiore sono state quelle con inoculo al 15 % sia di liquame maturo che di rumine, con performance leggermente superiori per il rumine (>20 % circa).

Sui dati ottenuti dalle analisi metagenomiche relazionate lo scorso anno sono state effettuate nuove analisi statistiche in collaborazione con l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, per verificare un database più aggiornato e sviluppare un diverso approccio statistico. I risultati ottenuti sugli



Archea hanno confermato quanto precedentemente ottenuto, mentre differenze sono state osservate nelle popolazioni batteriche sia in termini di percentuali di presenza che di specie.

1. Attività svolta

Premessa

Sono state effettuate analisi chimico-fisiche dei substrati ed inoculi utilizzati nelle prove del terzo anno di attività.

Il liquame utilizzato nelle prove e proveniente dal vascone di raccolta liquami della stalla bufalina, risultava essere molto poco concentrato in termini di solidi volatili (sotto i 20 g/l limite minimo secondo le nostre precedenti prove) soprattutto a causa delle precipitazioni, essendo collocato all'aperto. Si è provveduto, quindi, ad aumentarne il carico organico con l'aggiunta di letame tal quale proveniente dalla medesima stalla in percentuale del 50% in peso circa, che è stato poi utilizzato sia come substrato che come inoculo (dopo maturazione per 21 gg).

Sono state effettuate varie prove di fermentazione con diversi substrati (liquame, scotta e scarti di pomodoro).

Scarti di pomodoro

Gli scarti di pomodoro comprendono la buccia, i semi e la polpa (in percentuale diversa in base al processo specifico) che vengono separati prima e durante la lavorazione. In Italia vengono prodotti ogni anno da 100 a 300.000 t di biomassa residua proveniente dall'industria del pomodoro (Cuna, 2018). Tali sottoprodotti, pur composti da una percentuale di fibra lignocellulosica che può arrivare al 59% per gli scarti nel complesso e all' 88 % nelle solo bucce (Lu et al., 2019), si sono dimostrati adatti secondo alcuni autori (Schievano et al., 2009, Li et al., 2016) per la digestione anaerobica e la produzione di metano ed il loro uso nella codigestione costituirebbe un'alternativa razionale al loro smaltimento.

Nell'ambito delle attività previste dalla linea 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 biogas) ed in collaborazione con il Dr. Santangelo, responsabile della linea 4 (Valutazione del contenuto energetico e delle proprietà metanogene di bucce di pomodoro di linee/varietà in possesso di particolari caratteristiche relativamente alla



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

colorazione/composizione della buccia) della Task 5.3 (Verifica della fattibilità del recupero di biomasse erbacee per impianti dimostrativi a biogas), sono stati svolti tre test di produzione di biogas con l'apparecchio AMPTSII per la verifica delle produzioni di biogas degli scarti di produzione del pomodoro, ed in particolare di idrogeno.

Il primo test voleva verificare la percentuale di codigestione pomodoro: liquame bufalino fresco migliore (2:1, 3:1, 4:1 sui Solidi Volatili (VS), da impiegare per l'ottenimento di metano e/o idrogeno. Il secondo test ha previsto un pretrattamento degli scarti di pomodoro con controllo del pH (9) su metà delle tesi. Nel terzo test si è ripetuto l'impianto sperimentale, ma il substrato era in batch (serum bottle 120 ml) per la verifica di alcune anomalie rilevate con l'AMPTSII.

Inoculo di rumine

La prova prevedeva la verifica di tre percentuali (5-10-15%) di inoculo di rumine bufalino e liquame maturo (conservato per 21 giorni prima dell'uso) su un substrato di liquame fresco: scotta congelata (substrato misto, 60:40, vedi descrizione in premessa) e scotta da sola pretrattata a pH 8. La prova era in batch (serum bottle 120 ml).

Tutte le prove sono state condotte in mesofilia (39 ° C).

Analisi metagenomiche

Sui dati ottenuti dalle analisi metagenomiche relazionate lo scorso anno sono state effettuate nuove analisi statistiche in collaborazione con l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata - Dipartimento di Biologia, per verificare un database più aggiornato e sviluppare un diverso approccio statistico. Come noto gli studi del microbioma possono suddividersi principalmente in due categorie: l'approccio metagenomico e l'approccio basato sugli ampliconi marcati. Nel primo caso si sequenzia l'intero genoma raccolto dal microbiota, "shotgun. Nel secondo approccio si sequenziano solo alcuni geni considerati filogeneticamente significativi (markers). Nella maggior parte dei casi si sceglie come marker il gene ribosomiale 16S, presente in tutti gli organismi viventi con regioni ipervariabili e regioni costanti. Queste ultime sono comuni a tutti gli organismi e consentono di distinguere il gene 16S dall'intero genoma, mentre le regioni variabili permettono di inferire l'identità tassonomica degli organismi fino a livelli molto bassi (famiglia o genere). Questo è possibile utilizzando dei particolari database. Solitamente l'inferenza tassonomica è preceduta dal raggruppamento delle sequenze in base ad una predeterminata soglia di similarità, ottenendo così



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

le OTU. In pratica, si calcola la distanza tra le sequenze, intesa come distanza genetica e cioè come misura quantitativa della divergenza tra due sequenze, come frazione di *mismatch* (differenze) riscontrati tra le sequenze allineate. Avendo a disposizione queste misure è possibile procedere quindi al *clustering*. In particolare, l'analisi dei dati del 16S sono state eseguite utilizzando *Quantitative Insights Into Microbial Ecology 1.9.1* (QIIME). Le letture sono state abbinare, controllate per le chimere e le *Operational Taxonomic Units* (OTU) sono state selezionate rispetto al database SILVA (versione 128) con una somiglianza del 97%. Sequenze singole e OTU a bassa abbondanza sono state filtrate (<0,0005% dal set di dati totale) e l'analisi dell'abbondanza differenziale OTU è stata confrontata tra le diverse tesi utilizzando una misura ANOVA ripetuta. Gli indici di alfa-diversity (Specie osservate e Chao1) sono stati calcolati usando phyloseq 1.19.1.

2. Risultati e deliverables

Deliverables

- D.3.1.1: Individuazione delle condizioni di coltura ottimali nelle fasi idrogeno e metano.
- D.3.1.2: Identificazione di ceppi/consorzi microbici migliori produttori di idrogeno e metano.
- D.3.1.4: Caratterizzazione del biogas sui processi fermentativi ottimizzati.
- D.3.1.6: Rapporto sull'esito della ricerca.
- D.3.1.7: Attività di divulgazione, report finale e pubblicazioni.

Scarti di pomodoro (risultati preliminari)

La produzione di idrogeno è risultata molto scarsa raggiungendo il valore di 5,4% (max) solo quando il rapporto pomodoro: liquame era 1:2. Con i soli scarti di pomodoro non è stata osservata produzione a causa dell'acidificazione eccessiva ($\text{pH} < 3,5$) del substrato che ha bloccato l'attività dei microrganismi dopo appena due giorni di coltura. Il pretrattamento non ha influenzato la produzione di biogas. La concentrazione di acidi grassi volatili totali (VFA) alla fine del processo non ha rivelato alcuna differenza statistica. Tuttavia, la concentrazione di acidi grassi volatili della tesi 1:2 è stata la più alta rispetto alle altre (130, 127, 105 mM per i rapporti 1:2, 1:3, 1:4 rispettivamente, $P > 0,05$). Acetato, propionato e butirato hanno mostrato la stessa tendenza.

Gli scarti di pomodoro potrebbero avere un grande potenziale per essere riciclati anziché smaltiti, tuttavia, da questo primo approccio i rapporti pomodoro: liquame da noi utilizzate non hanno dati i risultati riportati in letteratura, seppure relativi alla produzione di biogas metano. L'adeguata concentrazione di VS appare il fattore chiave da considerare con attenzione per il loro sfruttamento quando messi in codigestione con il liquame di bufalo.



Inoculo di rumine

La produzione di biogas nelle tesi con solo scotta si interrompe dopo 7 giorni, per acidificazione del substrato, nonostante il pretrattamento a pH 8, mentre con scotta e liquame la produzione prosegue per 15 giorni.

Le tesi che hanno dato una produzione cumulata di idrogeno maggiore sono quelle con inoculo al 15 % sia di liquame maturo che di rumine, con performance leggermente superiori per il rumine (>20 % circa). Questo dipende non tanto dalla percentuale di idrogeno nel biogas quanto dalla maggiore produzione assoluta (ml) che si ottiene. Tuttavia, la differenza tra percentuale 10 e 15 di inoculo ruminale con substrato misto non è così rilevante (<5%).

Da un esame comparativo dei dati sia quantitativi che qualitativi relativi alle produzioni di bioidrogeno, le tesi su scotta da sola, danno risultati inferiori rispetto alle tesi in codigestione. Il pretrattamento non ha dato i risultati sperati, non replicando quanto ottenuto da Vasmara e Marchetti, (2017) sul permeato di scotta.

Le analisi degli acidi grassi volatili (VFA) e del DNA, così come il calcolo della BMP di questa prova sono in corso.

Analisi metagenomiche

I risultati ottenuti sugli Archea hanno confermato quanto precedentemente ottenuto, mentre differenze sono state osservate nelle popolazioni batteriche sia in termini di percentuali di presenza che di specie. In dettaglio, la maggior parte delle sequenze identificavano membri di 4 phyla: Firmicutes (40,58%); Bacteroidetes (32,38%); Proteobacteria (9,72%) e Tenericutes (7,13%), che insieme rappresentavano l'89,81%. I Firmicutes erano più alti nei campioni non produttori di idrogeno mentre al contrario, i Clostridi erano più alti nei campioni di produzione di idrogeno. Tra questi, la Famiglia XIII era la più rappresentata (26,86%), ma non abbiamo rilevato il *Clostridium Incertae Sedis*, come nell'elaborazione precedente. Questi risultati sono stati presentati al Convegno Biogas di Torino 2018, ma l'elaborazione completa sarà oggetto di una prossima pubblicazione.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Durante quest'anno di progetto abbiamo avuto numerosi problemi di malfunzionamento degli apparecchi, che hanno riguardato in particolare, il gas-cromatografo, L'HPLC e l'AMPTS. Ciò ha comportato lunghi tempi di attesa per le riparazioni e, quindi, un rallentamento dell'attività sperimentale, che non ha consentito di procedere come previsto dal piano di attività. In particolare, non si è potuto iniziare l'attività della linea 4, ma si conta di procedere nel prossimo anno.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Presentazione delle attività riguardanti il progetto AGROENER:

- 29 Giugno 2018/5-12 ottobre 2018. International Urban Cooperation IUC - LAC Cundinamarca-Bogota'/Lazio region
- 4th IBF TRAINING COURSE ON BUFFALO MANAGEMENT AND INDUSTRY (7-17 maggio 2019)
- TAIEX Expert Mission on supporting the implementation of sustainable buffalo production following EU framework

Partecipazione a Congressi Internazionali

- Rowett INRA Conference 2018 "Gut Microbiology: No longer the forgotten Organ" - e al Rumen microbial genomics NETWORK. 11-14 JUNE 2018, Aberdeen, UK
- BIOGAS SCIENCE International Conference on Anaerobic Digestion. 17-19 September 2018 Torino

6. Elenco pubblicazioni

Chiariotti A., A. Crisà. D. Pietrucci A. Desideri. 2018. Bacterial & archaeal metagenomic characterization during hydrogen production by dark fermentation of buffalo waste and rumen as inoculum. Lavoro presentato al BIOGAS SCIENCE International Conference on Anaerobic Digestion. 17-19 September, Torino



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 qualsivoglia impianto di biogas di tipo CSTR che lavori in mesofilia

Referente: Rosa Marchetti

Abstract

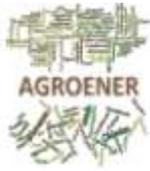
Nel terzo anno di progetto sono state realizzate attività di completamento e di consolidamento dei risultati ottenuti finora. Nel primo caso, a scala di laboratorio si è proceduto a un'ulteriore raccolta di informazioni sulle proprietà degli inoculi, che ha incluso una seconda tornata di ring test, come spiegato più avanti, e una prova di confronto di inoculi di origine diversa su substrati rappresentativi. Nel secondo caso, sono stati elaborati i dati di prove precedenti, e sono state raccolte informazioni ancillari a una definizione più precisa dell'innovazione, in vista di: verifica delle prestazioni degli inoculi in condizioni di digestione CSTR; prima presentazione dei risultati nell'ambito di una giornata divulgativa; pubblicazioni.

1. Attività svolta

Le attività della task fanno riferimento a un'unica linea: *Produzione d'inoculi per digestori anaerobici*, che ha l'obiettivo generale della "progettazione e realizzazione di un prototipo per la produzione di inoculi microbici misti, utilizzabili in qualsivoglia impianto di biogas di tipo CSTR che lavori in mesofilia". Si ricordano di seguito gli obiettivi specifici: 3.2.1: valutare la realizzabilità di una soluzione impiantistica adatta a essere commercializzata ad allevatori e/o produttori di biogas che vogliano produrre gli inoculi in azienda; 3.2.2: individuare la metodologia più idonea alla conservazione e distribuzione commerciale dell'inoculo. 3.2.3: arrivare a una chiara definizione, in termini parametrici, di qualità dell'inoculo.

a) Attività di completamento.

Prova di confronto del potenziale metanigeno di inoculi di origine diversa su substrati rappresentativi, sia per caratteristiche compositive, sia per diffusione di impiego. Questa prova ha consentito di confrontare i nostri inoculi con quelli da fanghi da impianti di trattamento di acque



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

reflue civili e industriali, non considerati nelle prove precedenti. Il confronto con inoculi comunemente utilizzati negli impianti di biogas è d'obbligo per poter affermare che la qualità degli inoculi prodotti secondo il nostro metodo è pari o superiore a quella di inoculi già in uso. L'inoculo da fanghi è oggi molto usato, talora anche in impianti agrozootecnici. E' stato inserito nel confronto perché è stato inaspettatamente possibile procurarselo, e i risultati relativi al suo impiego vanno ad arricchire il data set già a disposizione. Ugualmente sono stati inclusi per la prima volta nel test substrati che ricorrono frequentemente nei digestori anaerobici agro-zootecnici, insilato di mais e liquami bovini in particolare, che non erano ancora stati provati. Test precedenti erano stati applicati a substrati organici semplici, come caseina e gelatina, oppure inusuali, come bioplastiche, colture non alimentari energetiche lignocellulosiche, e fondi di caffè. In particolare, gli inoculi a confronto sono stati: quello da noi preparato da liquame suino, con procedura messa a punto nel progetto; un inoculo rappresentato da digestato di origine agro-zootecnica; un inoculo da fanghi da reflui civili e industriali. I substrati erano: insilato di mais; liquame bovino; paglia di frumento; polpe di bietola surpressate (3 inoculi x 4 substrati, più i bianchi (solo inoculo) x 3 repliche, per un totale di 45 reattori), per i quali è stata monitorata la produzione di biogas e la sua composizione. Substrati ed inoculi sono stati caratterizzati analiticamente. La prova è tuttora in corso.

Ring test: la nostra U.O. ha partecipato a un ring test internazionale per la standardizzazione dei test di biometanazione (BMP). Nel primo ring test il BMP era stato determinato 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. Dal primo ring test era emerso che il fattore più influente sulla notevole variabilità del risultato era il metodo di analisi (a confronto i metodi: volumetrico, manometrico, automatico con AMPTS, gravimetrico). Inoltre, rimaneva ancora un margine di incertezza sull'effettiva uniformità dei protocolli applicati. Il secondo ring test (2 substrati più cellulosa come controllo, 38 laboratori coinvolti) è stato applicato con regole più stringenti, in modo da avere un confronto meno affetto da cause di variabilità incontrollate. Nell'ambito del secondo ring test i gruppi di laboratori geograficamente vicini (in Italia, Francia e Germania) hanno realizzato una prova supplementare di confronto fra inoculi, nell'ipotesi che anche le differenze tra inoculi possano contribuire alla variabilità del risultato. In Italia il Politecnico di Milano ha fornito agli altri lab il proprio inoculo (da fanghi di reflui civili e industriali). La presentazione dei risultati del secondo ring test (generale e sub-ring tests per l'attività degli inoculi) è prevista a ridosso della conferenza internazionale *AD16 Anaerobic digestion conference*, programmata per il 23-26 giugno 2019 a Delft (Olanda).

b) Attività di consolidamento.

Si è cominciato a inserire in una griglia organica i risultati delle varie prove, così da poter trarre indicazioni di interesse applicativo. In particolare, sono stati elaborati i risultati relativi a prove di durata dell'attività dell'inoculo, mediante confronto delle prestazioni di inoculi conservati in

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

frigorifero per tempi diversi (mesi). È stata determinata la produzione di metano da acetato dopo 3, 7, 14, 21 e 28 giorni, da parte di lotti diversi di inoculo (14 test da 5 lotti) conservati in frigorifero (a $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) per tempi diversi (mesi).

È stata determinata la composizione analitica dell'inoculo (media di 13 analisi su 5 lotti diversi).

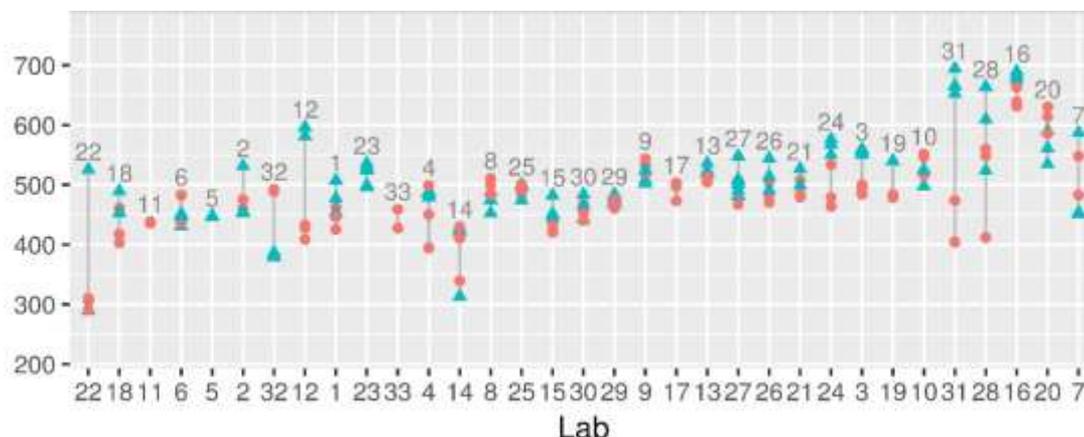
Inoltre, sono stati raccolti dati sulla composizione dello "scarto", cioè della frazione liquida residua di produzione dopo separazione delle cellule (inoculo). Questa frazione ha come destinazione più ovvia l'uso come fertilizzante.

Infine, individuato il diagramma di flusso e la struttura definitiva dell'impianto di produzione, si tratta ora di verificarne il potenziale di trasposizione a scala reale.

2. Risultati e deliverable

Ring test

I risultati dei nostri test, in cui i nostri inoculi sono stati utilizzati per la determinazione del BMP di substrati diversi, sono rientrati nella media, come si evince dal grafico, che riporta i risultati su uno dei 3 substrati utilizzati (nel grafico il ns lab è il #1):



Durata di attività dell'inoculo

La conservazione refrigerata dell'inoculo concentrato, anche quando si prolunga per diversi mesi (e fino a oltre 2 anni) non pregiudica la produzione cumulata di metano, che anzi può essere più elevata da parte degli inoculi più "vecchi" che da parte di quelli più giovani.

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

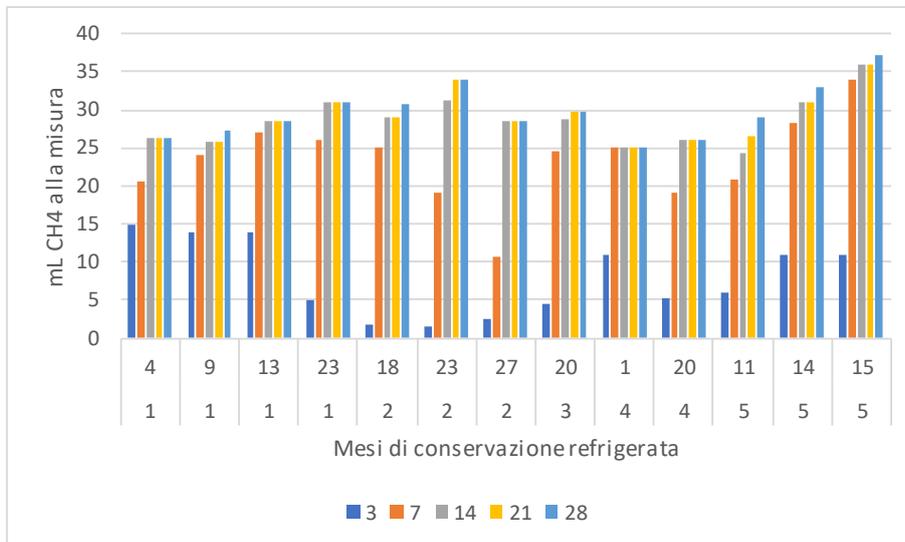


Figura. Produzione di metano da parte di inoculi (14 test da 5 lotti diversi) conservati in frigorifero (a 4 °C ± 2 °C) per mesi diversi. In ascissa, i numeri sopra designano i mesi, quelli sotto i lotti. Colori diversi degli istogrammi indicano per ogni test i giorni di incubazione (3, 7, 14, 21 e 28 giorni).

Composizione dell'inoculo

L'inoculo presenta un contenuto medio di solidi totali (ST) di 4.16%, con una grande variabilità da un lotto all'altro (DS=3.14%). Il valore dei ST è più che triplo, rispetto a quello del separato liquido usato come materia prima (ST=1.18%, DS=0.71). Le ceneri (sali minerali e carbonati) costituiscono mediamente il 41% dei ST (nella materia prima sono mediamente il 30%). L'azoto totale, molto più alto che nella materia prima (0.23% vs. 0.09%) contiene ancora una certa quantità di N ammoniacale (quasi il 50%).

Proprietà fertilizzanti dello scarto

Il liquido di risulta dalla separazione del sedimento è molto povero di sostanza organica, e ancora ricco di azoto, quindi adatto come fertilizzante, tal quale o dopo concentrazione (ad es. mediante osmosi inversa)

Parametro	Valore
Solidi totali (ST) a 105 °C (%)	0.47
Solidi volatili (% su tq)	0.24
Ceneri (% su tq)	0.23
N totale (% su tq)	0.10
N-NH4 (% su tq)	0.09
Alcalinità (CaCO3 mg/L)	4227
pH	7.38
P tot (mg L ⁻¹)	41



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

P tot (% ST)	0.87
C organico (% su tq)	0.17
C organico (% ST)	37.2
COD g O ₂ L ⁻¹	0.02

Tq= tal quale

Sistema di produzione dell'inoculo.

Il layout consolidato include 4 fasi: la separazione della frazione liquida del liquame suino, mediante vibrovaglio; la sua utilizzazione per la preparazione dell'inoculo; la concentrazione dell'inoculo (per sedimentazione e/o per centrifugazione); il trasporto al punto di impiego mediante carri botte.

I risultati finora ottenuti si possono considerare intermedi. Infatti, mentre appare evidente a livello di test di laboratorio che la qualità degli inoculi prodotti con la procedura da noi adottata è comparabile con quella degli altri inoculi (benchè i risultati siano ad oggi solo parzialmente disponibili), non altrettanto si può dire dell'applicazione a scala reale. Sarà pertanto opportuna la realizzazione di verifiche sperimentali che riproducano più da vicino le condizioni nei digestori CSTR, che sono i più usati nel settore agro-zootecnico.

È in preparazione la realizzazione di una giornata divulgativa, con lo scopo sia di far conoscere i risultati, ma anche di capire l'interesse effettivo all'applicabilità dell'innovazione da parte degli operatori di settore.

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 di un poster di progetto al Biogas Italy 2019, Milano, 28/02/19

Elenco pubblicazioni



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, quali tempo di ritenzione idrica (HRT), tasso di carico organico (OLR) e temperatura, in grado di produrre sia biogas contenente H_2 , sia biogas contenente CH_4 , 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 terzo anno sono inerenti solo alla prima linea di ricerca (3.3.1). Dopo aver individuato le criticità del vecchio impianto e definito le modifiche da apportare, nel 3° anno si è dato avvio alla fase di vera e propria costruzione dell'impianto, acquisendo e installando la maggior parte delle componenti aggiuntive, realizzando ex-novo il sistema di tubazioni e valvole preposti al trasporto ed intercettazione dei fluidi in ingresso ed in uscita, ripristinando e riconfigurando il sistema di automazione in relazione alle nuova logica di processo dell'impianto, infine ripristinando e ricablano la componentistica elettrica del quadro per le alimentazioni di motori, valvole e strumenti con le relative protezioni elettriche.

1. Attività svolta

Durante il 3° anno è stata portata avanti L'attività 1-b, ovvero la costruzione dell'impianto, che si è articolata secondo le seguenti 4 direttrici.

L'acquisizione e l'installazione delle componenti aggiuntive



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

In base al lavoro degli anni precedenti e, come riportato nella relazione “Analisi e specifiche per la ricostruzione di un impianto pilota di digestione anaerobica a doppio stadio per la produzione separata di idrogeno e metano a partire da liquami bovini/bufalini e scarti agroindustriali” citata nel paragrafo “Deliverables” sono state acquisite le componenti necessarie alla ricostruzione dell'impianto e revisionate le attrezzature del vecchio impianto Marea da riutilizzare; si è quindi proceduto alla loro nuova installazione. Allo stato attuale devono essere installati, pur essendo già stati acquisiti, i rilevatori dei parametri di funzionamento (pHmetri, termometri e trasduttori di pressione per la misura del livello dei fluidi nei digestori); devono essere inoltre acquisiti ed installati gli strumenti necessari alla misura e caratterizzazione dei biogas prodotti, che richiedono ricerche più approfondite in quanto non direttamente disponibili sul mercato nelle conformazioni necessarie all'impiego nel nostro impianto.

La realizzazione del nuovo piping

Vista l'inadeguatezza dei diametri delle tubature esistenti si è deciso di installare un nuovo e più grande digestore metanigeno al fine di superare i problemi di ostruzione, causa principale del mancato funzionamento del vecchio impianto Marea. È stato quindi ricostruito completamente il sistema di tubazioni (*piping*) per il trasporto, l'accumulo e l'intercettazione dei fluidi (liquidi o gassosi) dell'impianto. Considerata l'aggressività dei fluidi convogliati (corrosività, abrasività meccanica, temperatura, pressione), sono state adottate tubazioni in acciaio di diametro di 2 “- 1,5” se destinate al trasferimento dei liquidi (effluenti zootecnici, scotta, siero e digestato) e di 1,5”-1,0” per il biogas. Il *piping* è completato da valvole di intercettazione poste a monte ed a valle di tutte le pompe, le saracinesche, i contenitori preposti alla movimentazione e/o l'accumulo dei fluidi, in modo tale che, in caso di mal funzionamento, tali componenti possano essere isolate e/o sostituite senza dover interrompere i processi in corso nei digestori. Allo stato attuale deve essere completato il sistema di tubazioni preposto al trasferimento del fluido termoregolatore per il mantenimento delle temperature d'esercizio dei digestori.

L'automazione

L'architettura del sistema di controllo di processo automatizzato consente di visualizzare lo stato ed i parametri del processo su pagine interattive, monitorando la situazione diagnostica degli apparati di controllo e della strumentazione di processo. Si è riutilizzata l'unità logica di controllo di processo (PLC) già presente ed i relativi moduli I/O analogici e digitali che dialogano su bus ethernet con un sistema dotato di software. Tuttavia, a causa delle variazioni apportate alla logica dei processi operativi dell'impianto e per l'inserimento dei nuovi strumenti, i comandi, le operazioni ed i parametri di processo da controllare, sono state riconfigurate le pagine video (cfr fig. 1) con apposito



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

SW installato su PC messo a servizio del nuovo impianto e l'Unità logica di controllo di processo ri-programmata in relazione alle nuove esigenze. Naturalmente è stato necessario sostituire alcune componenti *hardware* deteriorate dal tempo o non più funzionali alle nuove necessità.

Il sistema di automazione è quindi in grado di gestire:

- il rilevamento dei principali parametri di processo (Temperatura, pH, pressione, livello) delle portate degli input (substrati) e degli output (digestato e biogas) attraverso apposita sensoristica;
- la termostatazione, la miscelazione, il tempo di ritenzione idraulica (HRT) ed il parametro connesso tasso di carico organico (OLR) attraverso la regolazione delle portate del materiale in ingresso ed in uscita, infine il rapporto tra le diverse biomasse componenti la miscela avviata alla co-digestione (parzialmente);
- L'acquisizione ed il datalogging sui dati di processo;
- Le analisi in continuo della composizione del biogas che rileva la concentrazione di CH₄, H₂, CO₂, O₂ e H₂S

L'impianto elettrico

Poiché parte delle attrezzature elettriche del vecchio impianto sono state smantellate e altre parti nuove sono state aggiunte, e dato che le logiche applicate ai controlli di processo sono state variate, è stato necessario ri-progettare il Quadro elettrico generale (QGE) per ripristinare o integrare la componentistica elettrica del quadro per le alimentazioni di motori, valvole e strumenti con le relative protezioni elettriche e contemporaneamente cablare nuovamente il sistema di trasmissione dati e la PLC.

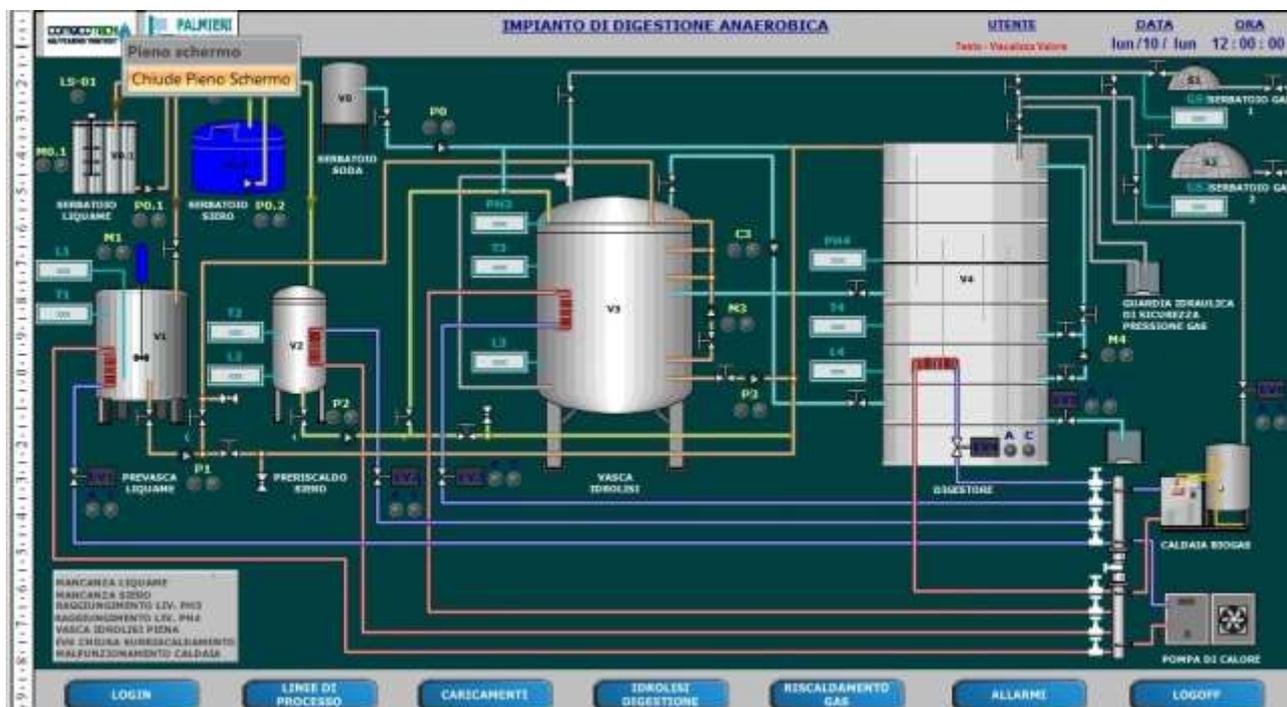


Fig. 1 display per il controllo di processo del nuovo impianto su monitor del PC

2. Risultati e deliverable

Versione operativa della Relazione “Analisi e specifiche per la ricostruzione di un impianto pilota di digestione anaerobica a doppio stadio per la produzione separata di idrogeno e metano a partire da liquami bovini/bufalini e scarti agroindustriali.”

Prodotto nel trimestre marzo-maggio 2019

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Nessuno

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuno

5. 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 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Nessuna

6. Elenco pubblicazioni



Task 3.4 Impatto dei biodigestati sulle comunità microbiche sei 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

Referente delle linee 1 e 2: Luisa Maria Manici

Abstract

La task 3.4 del progetto AGROENER mira a valutare l'impatto dei digestati su sanità e fertilità biologica dei suoli. Rispetto alla proposta progettuale iniziale che prevedeva 3 azioni, l'attività di ricerca è stata rimodulata su 2 linee di azione riferite a due specifici sistemi produttivi, entrambe con un importante impatto ambientale e socio-economico. L'azione 3, che prevedeva la valutazione dei digestati nella conversione a biologico, e lo studio delle comunità microbiche correlate, è stata inglobata nella azione 2 per superare le difficoltà operative legata alla disponibilità di campi in conversione a biologico come pure quella di reperire in loco digestati da produzione anaerobica di biogas certificati per biologico. L'attività dell'azione 2 è stata ampliata in modo da valutare non solo l'efficacia di più digestati sulla produzione, ma analizzare la sanità e fertilità biologica dei suoli (*soil suppressiveness*) attraverso analisi di tipo molecolare e di microbiologia classica.

Linea di ricerca 1. La ricerca, con *setting* sperimentale di tipo comparativo, valuta l'effetto migliorativo su suoli agrari con storia pregressa di ammendamento con digestati da impianti anaerobici di biogas. La prova biennale è stata organizzata in tre località della Pianura Padana (province di Cremona, Modena e Forlì-Cesena), nelle vicinanze di 3 impianti di produzione anaerobica di biogas. I risultati del primo anno e del secondo anno (2017 e 2018) mostrano che l'arricchimento periodico con digestati ha incrementato la capacità di accrescimento delle piante, rispetto al campo controllo non trattato, nonostante non siano stati osservati incrementi significativi del contenuto di sostanza organica.

Linea di ricerca 2. Questa ricerca è stata svolta in collaborazione con il Centro Ricerca e Sperimentazione Agraria e Forestale di Laimburg (BZ). Riguarda la possibilità di mitigare la



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

problematica di declino produttivo della fragola con apporti di digestati da produzione anaerobica di biogas. Dopo un preliminare lavoro di indagine sugli agenti causali del declino della fragola, nell'estate 2018 è stato allestito un campo prova in Val Martello, in cui è stata valutata la risposta produttiva della fragola al trattamento con digestati in pre-trapianto, assumendo come controllo un non trattato e Basamid, un disinfettante chimico). Subito dopo è avvenuto il trapianto; la risposta produttiva verrà valutata nell'estate 2019 e 2020.

1. Attività svolta

Line di attività 1

La prova fa riferimento a tre impianti di biogas in altrettante località della Pianura Padana rappresentative per quantità di biogas prodotta nell'area e per tipo massa organica prevalentemente usata nei digestori. Nel 2018 è stata ripetuta la prova in vaso con mais già svolta nel 2017 (vedi relazione anno di questa task)

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 serra presso il CREA - AA di Bologna nel 2017, tale prova è stata ripetuta nel 2018. In entrambi gli anni, oltre ai parametri di accrescimento vegetativo è stato valutato il livello di colonizzazione fungina delle radici. Tali parametri sono poi stati correlati fra loro al fine di valutare il livello di *soil suppressiveness* (capacità del suolo di ostacolare la diffusione delle patologie vegetali) raggiunto nei suoli trattati con digestati. A questa fase sta facendo seguito uno studio sulla composizione batterica della rizosfera, sempre in funzione della individuazione di fattori correlati alla *soil suppressiveness*.

Linea di attività 2

In seguito alla individuazione del campo prova in val Martello caratterizzato da un alto livello di declino produttivo causato dal tipico complesso di necrosi radicale (Manici et al. 2018), nel Luglio 2018 è stato allestito il campo prova AGROENER con i seguenti trattamenti:

- 1) Digestato da biogas da deiezioni zootecniche (di Aldino);
- 2) Compost da digestione anaerobica da FORSU (ditta: Bioenergia Trentino, a Cadino, TN);
- 3) Trattamento chimico (Basamid);
- 4) Testimone.

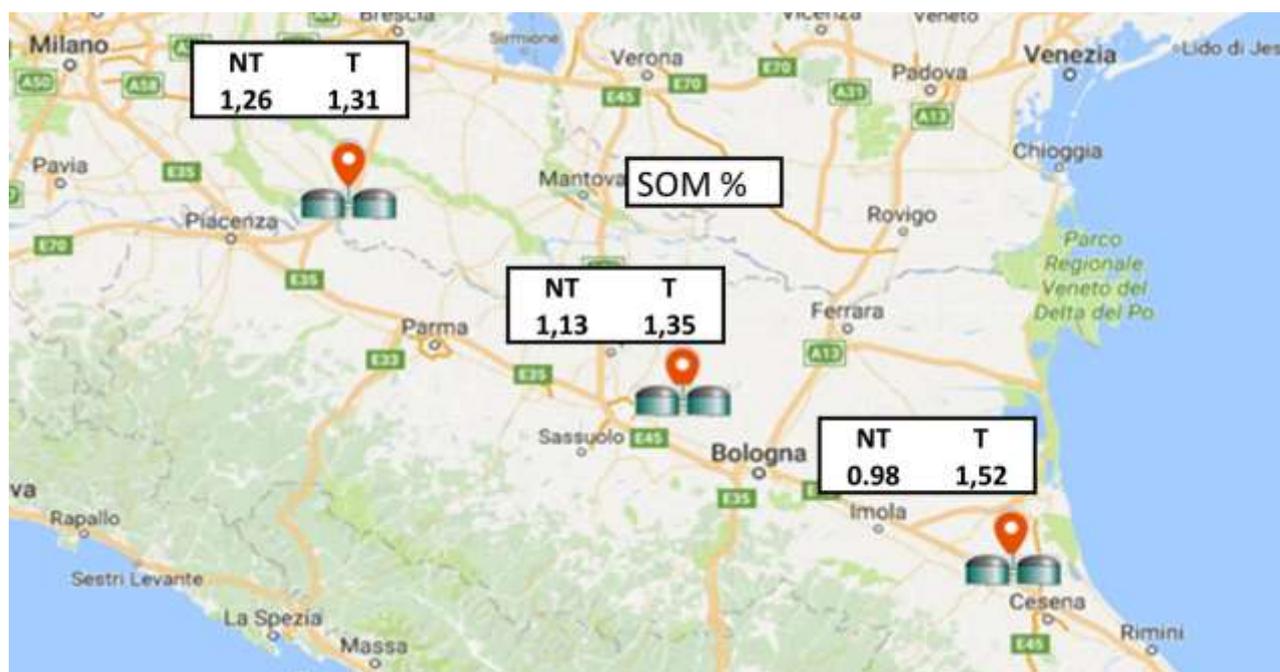
Il campo prova di fragola, con dimensioni di circa 1000 m², è stato preparato in modo standard, e i prodotti dei trattamenti sono stati incorporati direttamente al volume di suolo delle file baulate, prima del trapianto (22 file per 38 m di lunghezza ciascuna) ad ottenere un disegno sperimentale di 4 trattamenti con 3 repliche (1 fila =1 repliche) randomizzate.

Il dosaggio di riferimento dei digestati è stato: 100 kg/fila per il digestato refluo zootecnico (densità 0.9 kg l⁻¹) e 150 kg/fila per il compost da FORSU (densità 0.6 kg l⁻¹). Per Basamid in formulazione granulata, sono stati applicati 1064 g/fil, con 8 gg di fumigazione post-applicazione e 6 di arieggiamento.

Il trapianto con piantine frigoconservate è stato svolto un mese dopo l'incorporazione dei materiali organici dei diversi trattamenti. La raccolta del primo anno della produzione di fragola avverrà nell'agosto 2019, la seconda raccolta nell'agosto 2020.

2. Risultati e deliverable

Linea di azione 1



Sopra la piantina della pianura padana con i siti di campionamento adiacenti agli impianti di digestione aerobica selezionati per questo studio. Il contenuto di sostanza organica nei suoli degli appezzamenti con storia di ammendamento (T), non è risultato in alcun caso superiore in modo significativo rispetto ai campi adiacenti non ammendati (NT)

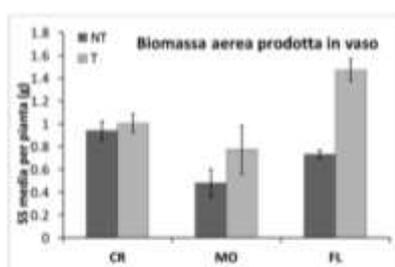
I risultati di due anni di prova in vaso con mais (2017 – 2018) su questi suoli hanno evidenziato che nei campi ammendati il livello di colonizzazione radicale da parte dei funghi tellurici (per lo più

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

patogeni secondari delle radici) era significativamente più basso nei suoli ammendati. Tale minore colonizzazione è risultata correlata negativamente ai parametri di accrescimenti vegetativo suggerendo che i funghi colonizzatori erano patogeni e che i suoli ammendati hanno mostrato la capacità di ridurre il livello di colonizzazione. Si veda nei grafici sotto la sintesi di questi risultati.

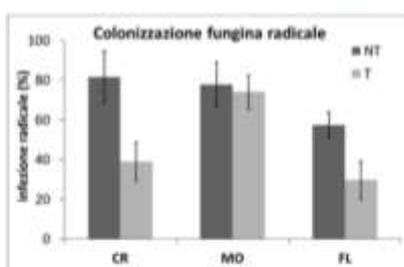
• Risposta produttiva mais in vaso

ANOVA a 2 vie	df	P
A. Località	2	P<0.001
B. Ammendamento	1	P<0.001
AxB	2	P<0.01



• Colonizzazione radicale-sanità

ANOVA a 2 vie	df	P
A. Località	2	P<0.001
B. Ammendamento	1	P<0.001
AxB	2	P<0.05



$r^* = -0.70$ P<0.001 (18 counts)

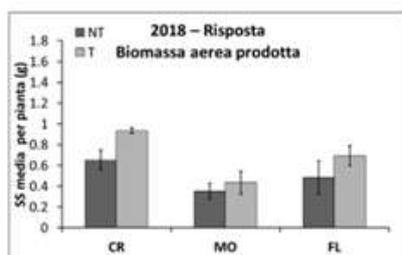
*Pearson correlation

2017

Di lato, risposta di crescita in vaso di mais nei tre siti è stata sempre più alta nei suoli con storia di ammendamento con digestati rispetto all'adiacente campo controllo. Nel 2017 la correlazione negativa fra colonizzazione fungina e biomassa è stata molto alta ($r=0.70$)

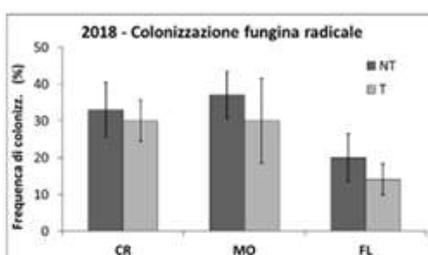
• Risposta produttiva mais

ANOVA a 2 vie	df	P
A. Località	2	P<0.001
B. Ammendamento	1	P<0.001
AxB	2	P<0.01



• Colonizzazione radicale-sanità

ANOVA a 2 vie	df	P
A. Località	2	P<0.055
B. Ammendamento	1	ns
AxB	2	ns



infezione radicale 60% in meno rispetto al 2017
 $r = -0.20$ ns (18 counts),

2018

Di lato i risultati del secondo anno che hanno confermato quelli del 2017, come pure è stata confermata la correlazione negativa fra colonizzazione fungina e biomassa è stata molto alta ($r=0.20$). In sintesi, l'apporto di digestati ha incrementato la *soil suppressiveness*, nonostante incrementi ridotti del contenuto di sostanza organica

La fase successiva della linea di azione 1 prevede lo studio qualitativo e quantitativo delle comunità microbiche coinvolte nella *soil suppressiveness* rilevata nei suoli ammendati. L'obiettivo è mettere in relazione le variazioni delle comunità microbiche indotte dall'apporto di digestati con la funzionalità delle popolazioni eventualmente selezionate.

Linea di azione 2.

La linea di attività 2, rispetto alla 1, ha avuto una fase preliminare impegnativa per verificare l'effettiva origine biologica della problematica del declino produttivo di fragola in Val Martello. I risultati di questa fase sono stati presentati in un lavoro scientifico (Manici et al., 2018) che ha permesso di evidenziare quanto segue, i) tutti gli appezzamenti a fragola della Val Martello sono affetti da problematiche di re-impianto la cui gravità è proporzionale al numero di anni pregressi in cui fragola è tornata sull'appezzamento, ii) la rotazione di fragola con orticole, unita alla buona dotazione di sostanza organica del suolo della Val Martello, è stata efficace nel contenere e problematica nei primi anni di produzione, ma non è stata sufficiente a contrastarla nel medio lungo periodo (10-30 anni), iii) i periodi di con prato stabile quadriennale sono risultati la modalità agronomica più efficace per il recupero della sanità del suolo dei fragoletti.

In base all'attività svolta fino ad ora in campo, è solo possibile anticipare che i digestati da FORSU possono avere effetto fitotossico residuale, e devono essere gestiti con attenzione sia alle dosi applicate che all'intervallo fra incorporazione e trapianto della coltura per evitare problemi di fitotossicità.



Sopra, campo sperimentale AGROENER in Val Martello. Luglio 2018, preparazione delle file per il trapianto di fragola (a sinistra) e successiva incorporazione dei materiali organici al volume di suolo della fila (a destra).

Foto Dr. Max Zago, Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale Laimburg (BZ).



Sopra, campo sperimentale AGROENER in Val Martello. Giugno 2019. Fragole in fase produttiva nel campo prova, riduzione di accrescimento da fitotossicità del compost da FORSU visibile sulle file in primo piano a confronto con quelle sullo sfondo.

Foto Dr. Sebastian Soppelsa, Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale Laimburg

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Nella linea 2, prove di arricchimento del suolo con materiale organico su fragola, il terzo trattamento con digestato da fermentazione anaerobica di residui urbani (FORSU) non è stato effettuato, per la scarsa qualità del prodotto ricevuto. La scarsa qualità e la fitotossicità del digestati da FORSU (*compost* da digestato in questo caso) è una problematica emersa dalla prima parte di questa attività. Infatti, anche il *compost* da digestati di FORSU effettivamente applicato, a confronto con il digestato da fermentazione anaerobica di liquami zootecnici, è risultato fitotossico nella fase di post-trapianto del fragoleto (vedi foto sopra). La valutazione della performance produttiva darà risultati più precisi.

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-AA, Bologna) e M. Kelderer (Centro di Sperimentazione



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Agraria e Forestale di Laimburg, Bolzano). La tesi, che riguarda parte della Azione 2, è stata discussa il 28 Marzo 2019.

5. Elenco pubblicazioni

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, 65-73. doi: 10.1016/j.biocontrol.2018.07.016.

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* 4-5 Marsala (TP) 12-14 Settembre 2018, ISBN 978-88-904387.

DELIVERABLES

I deliverable del primo e secondo anno sono già stati raggiunti.

Nel periodo di riferimento (giugno 2018 – Luglio 2019) sono stati raggiunti i seguenti deliverables da progetto:

D.3.4.4 Output dell'attività sulla linea 1: Pubblicazioni su "Impiego sostenibile di biodigestati e loro potenzialità nell'incremento di fertilità biologica su colture estensive" per la fine del primo semestre del 4° anno

La pubblicazione su atti del convegno SIA a nome Manici, Caputo, Ceotto del 2018 presenta solo la prima parte della linea di ricerca 1. Sono in corso analisi delle variazioni delle popolazioni microbiche da correlare alla risposta produttiva migliore osservata su suoli con storia di ammendamento con digestati.

D.3.4.8 Output di tutta la task alla fine del 3° e 5° anno di progetto: divulgazione report su sito web del progetto

Nel periodo di riferimento oltre alla pubblicazione in web della relazione del secondo anno della task 3.4 in forma divulgativa, nel 2019 è stato prodotto una comunicazione divulgativa sempre di questa task su format del coordinamento di AGROENER.



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 terzo anno di attività la task 3.5 ha valutato le proprietà biostimolanti in alcuni biodigestati ottenuti dalla codigestione di residui agroindustriali a base lignocellulosica (bucchette di pomodoro) e reflui zootecnici, in diversi rapporti. Sono stati caratterizzati campioni ottenuti da prove condotte su scala di laboratorio a cura della task 3.1. L'indagine ha riguardato la componente organica solubile in acqua, in quanto la prima a costituire un substrato metabolico per l'attivazione di processi a carico di organismi target vegetali e microbici a seguito di applicazione di biodigestati al suolo. La presenza di proprietà biostimolanti o di effetti nocivi è stata testata su semi di *Zea mais* per il test di allungamento radicale e su cellule degli apici radicali di *Vicia faba* nel test dei micronuclei per la ricerca di eventuali effetti genotossici, mentre sul suolo sono stati determinati l'attività respirometrica, il dosaggio della biomassa microbica e calcolati gli indici di mineralizzazione e metabolico. Tali saggi sono stati condotti in presenza di dosi di applicazione degli estratti solubili dei biogestati (0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 1000 ppm) che permettono di valutare la risposta in termini di attività ormonosimile, biostimolante o nutritiva. I risultati ottenuti hanno permesso di escludere effetti tossici e genotossici. Per quanto riguarda i saggi condotti su suolo, la dimensione del pool microbico del suolo non è risultata influenzata dall'applicazione, nelle quattro dosi considerate, degli estratti acquosi dei biodigestati in esame, mentre l'attività respirometrica del microbiota suolo si è differenziata in funzione dei tre digestati. In particolare, il biodigestato ottenuto con il minore rapporto buccette: liquame ha presenta effetti di biostimolazione a livello nutritivo, da mettersi in relazione con la composizione della sostanza organica solubile, in termini di palatabilità per i microrganismi del suolo.

1. Attività svolta



Linea 2.

Attività conclusa e relazionata nel 2° anno

Linea 3.

L'attività ha riguardato la verifica di eventuali proprietà biostimolanti in biodigestati forniti dall'unità di CREA-ZA task 3.1, ottenuti da prove di co-digestione di reflui zootecnici con sottoprodotti agroindustriali a base lignocellulosica (bucchette di pomodoro) o della caseificazione (scotta) in diversi rapporti, condotte a livello di laboratorio.

Per la prova "bucchette" sono stati analizzati 9 campioni di biodigestato corrispondenti a tre diversi rapporti tra buccette di pomodoro e liquame (2B:1L; 3B:1L; 4B:1L) in prove di codigestione condotte in triplo (task 3.1). Al fine di assicurare l'omogeneità e la standardizzazione delle condizioni di applicazione nei test di laboratorio, i campioni sono stati essiccati. L'indagine ha riguardato in particolare la componente organica solubile in acqua, in quanto la prima a costituire un substrato metabolico per l'attivazione di processi a carico di organismi target nel caso di applicazione di biodigestati al suolo. I campioni essiccati sono stati caratterizzati per il contenuto di carbonio ed azoto organico totali e per le rispettive frazioni solubili in acqua (DOM e DON), con due diversi rapporti di estrazione, tra quelli presenti in letteratura.

La presenza di proprietà biostimolanti o di effetti nocivi è stata testata su organismi target vegetali e microbici, mediante l'applicazione integrata di una matrice di 4 biosaggi già precedentemente utilizzata e descritta (Corte et al. 2014; Migliore et al., 2012).

In particolare, su semi di *Zea mais* è stato effettuato il test di Allungamento radicale (AR), su cellule degli apici radicali di *Vicia faba* il test dei micronuclei (M) per la ricerca di eventuali effetti genotossici, mentre sul suolo sono stati determinati l'attività respirometrica (espressa come respirazione cumulativa e basale) ed il dosaggio della biomassa microbica (Bc), e calcolati gli indici di mineralizzazione (qM) e metabolico (qCO₂, respirazione specifica).

In particolare, su semi di *Zea mais* (Mais) sono stati effettuati i seguenti esami:

- il test di Allungamento radicale (AR), il quale intende valutare la modificazione indotta dal prodotto in analisi sulla crescita radicale delle plantule, e su cellule degli apici radicali di *Vicia faba minor* (Favino);
- il test dei micronuclei (MN), il quale si basa sul principio per cui la presenza di sostanze mutagene nel campione può provocare, nelle cellule degli apici radicali di *Vicia faba*, danni al DNA cromosomico ed il conseguente non corretto svolgimento del processo di suddivisione cellulare mitotico. Detto processo può essere evidenziato all'esame microscopico dalla presenza di figure anelofasiche irregolari o dalla presenza di frammenti di DNA extranucleari (micronuclei).



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Sul suolo si sono effettuati i seguenti esami:

- è stata determinata l'attività respirometrica, espressa come respirazione cumulativa e basale: la prima rappresenta l'emissione totale di CO₂ durante tutto il periodo di incubazione, mentre la seconda l'emissione oraria di CO₂ all'ultimo giorno di incubazione, quando la maggior parte del substrato organico si ritiene sia stato metabolizzato. Il metodo per la determinazione della respirazione microbica del suolo è basato sul presupposto che la microflora metabolicamente attiva richieda un apporto costante di nutrienti ed energia che deriva dalla trasformazione della sostanza organica.
- La dimensione del pool microbico attivo nel suolo è stata determinata attraverso il dosaggio della biomassa microbica (Bc), definita come la frazione della sostanza organica del suolo costituita dai microrganismi viventi di dimensioni più piccole di 5-10 µm³).
- Sono stati calcolati gli indici di mineralizzazione (qM), che esprime su base percentuale la quantità di C respirato (ovvero mineralizzato) rispetto a quello iniziale nel suolo, e metabolico (qCO₂, respirazione specifica), che corrisponde all'attività della biomassa microbica, rapportando il valore della respirazione basale oraria e il valore della biomassa microbica.

L'insieme di questi biosaggi permette di avere informazioni sui potenziali effetti dei prodotti in esame su piante e microrganismi del suolo, considerando diverse dosi di applicazione degli estratti solubili dei biodigestati (0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 1000 ppm di C).

La potenziale azione ormonale, biostimolante o nutritiva di un prodotto viene valutata sulla base delle risposte a diverse dosi di applicazione, che definiscono degli intervalli di massima in cui sono osservabili le diverse azioni (Benedetti e Baroccio, 2009).

Pertanto, per ciascun campione sono state allestite 5 prove (4 tesi + controllo) in triplo per ciascun biosaggio; le misure su semi sono state effettuate dopo 10 giorni, mentre il test respirometrico è stato condotto per 28 giorni effettuando dosaggi di CO₂ svolta dopo 1, 2, 7, 14, 21 e 28 giorni di incubazione.

In totale per la prova "bucette" sono stati effettuate 508 determinazioni, suddivise in 80 per il test di AR, 80 per il test dei micronuclei, 162 per la biomassa microbica e 144 per l'attività respirometrica.

I dati ottenuti sono stati sottoposti a test statistici parametrici e non parametrici, quali LSD, Tukey e Kruskal-Wallis.

I biosaggi su 9 campioni di digestato della prova "scotta" (co-digestione di: solo scotta, solo liquame, liquame + scotta 1:1, ciascuna condotta in triplo), sono in corso.

2. Risultati e deliverable

Linea 3.

La composizione della sostanza secca dei digestati da buccette e liquame (nei rapporti 2B:1L, 3B:1L e 4B:1L) è risultata caratterizzata dalla presenza di carbonio organico totale compreso tra 650 g kg^{-1} (campione 2B:1L) e 706 g kg^{-1} (campione 4B:1L) e azoto organico totale tra 37 g kg^{-1} (campione 3B:1L) e 42 g kg^{-1} (campione 2B:1L).

La frazione di carbonio solubile in acqua (DOC, rapporto di estrazione 1:10, p/v) è risultata compresa tra 5.2% e 5.7 % del totale.

I risultati ottenuti dall'intera matrice di biosaggi applicata ai campioni di digestato di buccette e liquame hanno permesso di escludere effetti tossici sia sugli organismi vegetali che sull'attività fisiologica dei microrganismi del suolo. In particolare, il test dei micronuclei su *Vicia faba* (condotto in assenza di suolo) non ha mostrato per nessun campione differenze significative nella frequenza di micronuclei rilevati nelle diverse tesi rispetto al controllo non trattato, così come l'indice mitotico non ha rilevato anomalie di divisione cellulare. Il test di allungamento radicale su *Zea mais* (sempre in assenza di suolo), ha mostrato per il biodigestato 2B:1L una differenza statisticamente significativa ($p < 0.05$) tra la dose di applicazione 1000 ppm (dose nutritiva) e quelle 1 e 10 ppm, rispettivamente con incremento e decremento della lunghezza della radice.



Figura 1. Allungamento radicale dopo 72 ore di contatto, campione 2B:1L

Per quanto riguarda i saggi condotti su suolo, la dimensione del pool microbico del suolo non è risultata influenzata dall'applicazione, nelle quattro dosi considerate, degli estratti acquosi

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

dei biodigestati in esame: non si sono osservate infatti differenze statisticamente significative del valore di Bc con il controllo non trattato e tra campioni.

L'attività respirometrica del microbiota suolo è risultata responsiva all'aggiunta degli estratti acquosi dei tre digestati, con differenze statisticamente significative per la respirazione cumulativa ed il quoziente di mineralizzazione. Il campione di digestato con rapporto buccette/liquame pari a 2B:1L è risultato significativamente separato ($p < 0.05$) dagli altri, con valori più elevati di respirazione cumulativa e coefficiente di mineralizzazione medio rispetto al controllo non trattato ed agli due campioni; il digestato con rapporto buccette/liquame pari a 4B:1L ha invece mostrato valori più bassi rispetto al controllo, mentre il campione 3B:1L non si è significativamente discostato dal controllo non trattato.

Tabella 1. Raggruppamento dei campioni in base al test HSD di Tukey condotto per sottoinsiemi omogenei ($p < 0.05$)

Rapporto B:L	Respirazione cumulativa (mg C-CO ₂ kg ⁻¹)			Quoziente mineralizzazione (%)		
	gruppi			gruppi		
	1	2	3	1	2	3
4B:1L	443.50			2.89		
3B:1L	510.38	510.38		3.32	3.32	
0 (non trattato)		538.42			3.52	
2B:1L			658.62			4.29

Se ne è pertanto dedotto che il biodigestato ottenuto con il maggiore rapporto buccette: liquame presenta un effetto nutritivo, da mettersi in relazione con la composizione della sostanza organica solubile in termini di palatabilità per i microrganismi del suolo, ed alle concentrazioni più basse possibili effetti di tipo ormonale. I risultati ottenuti saranno sottoposti a ulteriore valutazione sulla base degli approfondimenti nella composizione della sostanza organica dei digestati.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Per effettuare l'approfondimento previsto sulla composizione della sostanza organica, attraverso analisi spettroscopica di risonanza magnetica nucleare (NMR) ad alta risoluzione, è stata chiesta variante di spesa per affidare esternamente le analisi, essendo venuta meno la operatività degli spettrometri in dotazione al CREA.

Riguardo la composizione del gruppo di lavoro della Task 3.5, si segnala che dal 1 gennaio 2019 il dott. Gianluca Renzi è stato stabilizzato presso CREA-ZA, pertanto dal 15 febbraio 2019 è subentrato



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

il dott. Andrea Manfredini per il tempo residuo dell'assegno di ricerca. Inoltre, la dott.ssa Gabriella Rossi, primo ricercatore, da giugno 2019 è stata inserita nel gruppo di ricerca della presente task.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

6. Elenco pubblicazioni



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

Al fine di ottimizzare la performance del processo di fermentazione anaerobica impiegando un mix di biomasse residuali tipiche dell'area mediterranea è stata impiegata una rampa di carico, aumentando progressivamente le percentuali di pastazzo e sansa nella dieta d'impianto. Le prove



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

sono state condotte presso i laboratori accreditati del C.R.P.A. mediante l'utilizzo di un reattore di digestione anaerobica con alimentazione in continuo. La miscela testata è risultata energeticamente interessante in termini di potenzialità in metano. Sono state effettuate prove di spandimento meccanico del digestato su impianti arborei (agrumeto e vigneto). Nell'agrumeto è stato testato lo spandimento a distribuzione posteriore, essendo caratterizzato da una larghezza di lavoro maggiore rispetto al distributore cilindrico; quest'ultimo, invece, è stato impiegato nel vigneto in entrambe le sue configurazioni. La valutazione dei dati ottenuti ha consentito di verificare l'efficienza di distribuzione delle macchine operatrici testate e meglio indirizzare l'operatore al momento del loro impiego. Sono state avviate prove in vaso d'impiego del separato liquido su due portinnesti di agrume: il citrange Carrizo e il Citrus volkameriana con risultati incoraggianti in termini di incremento dell'altezza delle piante, indice di clorofilla e ripartizione della biomassa. Infine, è stata valutata la disponibilità a pagare (DAP) per impiegare il digestato, in sostituzione degli ammendanti convenzionali. La valutazione economica è stata sperimentalmente avviata su due gruppi, uno informato (informazioni relative all'origine del prodotto, alle sue caratteristiche chimico-fisiche e alle sue capacità ammendanti) ed uno no. La DAP media del gruppo informato è risultata essere superiore rispetto a quella del gruppo non informato, pertanto, è possibile affermare che è emerso un vero e proprio effetto dell'informazione sul campione.

1. Attività svolta

LINEA 1 di attività: conclusa

LINEA 2 di attività (Convenzione Di3A):

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 mediante l'utilizzo di un reattore di digestione anaerobica con alimentazione in continuo per simulare la condizione in scala reale e monitorare il processo biologico. Le biomasse utilizzate per l'attività sperimentale sono state fornite in parte dal Di3A dell'Università di Catania e in parte recuperati da CRPA in diverse aziende. La metodologia applicata presso CRPA Lab utilizza fermentatori miscelati e riscaldati in mesofilia e termofilia (per questa attività 40°C), con misura in continuo della quantità di biogas prodotto (sistema manometrico) e misura periodica della sua qualità (percentuale di metano e anidride carbonica nel biogas). L'alimentazione al digestore prevede il caricamento della miscela e lo scarico giornaliero del digestato sul quale vengono effettuate le analisi per il controllo di processo. La composizione della miscela è riportata in Tabella 1:

Tabella 1 - Biomasse utilizzate e loro percentuale nella miscela



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Substrato	Percentuale nel mix
Pastazzo di agrumi	40%
Acque di vegetazione	15%
Pollina	10%
Triticale insilato	9%
Lettiera avicola	8%
Sansa 3 fasi	5%
Letame bovino	5%
Siero di latte	4%
Paglia	2%
Bucchette di pomodoro	2%
Totale	100%

Rispetto a quanto previsto, sono state aggiunte al mix altre biomasse quali le buccette di pomodoro, l'insilato di triticale e la lettiera avicola. Le biomasse sono state caratterizzate per i parametri necessari al calcolo delle produzioni di biogas e al bilancio di massa, ovvero per i solidi totali (ST) e solidi volatili (SV). La miscela di carico è stata analizzata più volte durante la prova. La miscela di biomasse è stata sottoposta all'analisi del potenziale metanigeno (test BMP). Per l'avvio della sperimentazione, il reattore è stato riempito con un inoculo costituito da un digestato proveniente da un impianto di biogas agricolo che utilizza pastazzo e sansa; in tal modo è stata messa a disposizione la flora microbica il più possibile idonea alla degradazione della sostanza organica utilizzata nella prova e ridotta la fase di avvio. L'inoculo è stato caratterizzato chimicamente secondo i parametri di solidi totali (ST), solidi volatili (SV), acidità (FOS), alcalinità (TAC) e acidi grassi volatili (AGV). Inoltre, è stato aggiunto per il 10% del volume totale un inoculo proveniente da impianto agricolo che utilizza liquame bovino e una dose di micronutrienti. Il digestato estratto e raccolto settimanalmente è stato caratterizzato chimicamente per i solidi totali (ST) e solidi volatili (SV) per valutare la degradazione della sostanza organica all'interno del reattore e per effettuare i bilanci di massa dell'intera prova. Al fine di valutare la stabilità del processo biologico, sono state eseguite le analisi per determinare la concentrazione degli acidi grassi volatili (AGV) su campioni di digestato nel tempo. A circa metà ciclo è stato osservato uno sbilanciamento nel rapporto tra acido acetico e acido propionico a favore di quest'ultimo, condizione notoriamente osservata in situazioni di forti rallentamenti nella via degradativa degli acidi grassi volatili in digestione anaerobica. Per questo motivo durante la sperimentazione sono state eseguite delle manovre finalizzate al recupero/mantenimento del processo biologico tra cui un dosaggio con micronutrienti, una diluizione con acqua, un abbassamento del carico organico volumetrico (COV) e l'aggiunta di un formulato enzimatico per velocizzare la conversione della sostanza organica. In una seconda fase è stato avviato un nuovo ciclo testando la stessa miscela di biomassa al carico ma per l'avvio del



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

reattore è stato utilizzato un inoculo differente proveniente da un impianto del sud Italia che utilizza le stesse biomasse con una tabella di alimentazione molto simile a quella da testare. Inoltre, per valutare se la produzione specifica in metano, riscontrata inferiore rispetto alle attese durante la prima prova, non fosse dovuta ad un fenomeno di inibizione per la presenza delle due matrici maggiormente rappresentative, ovvero il pastazzo di agrumi e l'acqua di vegetazione, si è provveduto ad avviare la prova con una rampa di adattamento specifica. Inizialmente circa 1/3 di pastazzo di agrumi e acque di vegetazione è stato sostituito con il liquame bovino, ricco in micronutrienti e con potere tampone. Dopo circa 10 gg è stato progressivamente aumentato il pastazzo di agrumi in sostituzione di una quota di liquame bovino e successivamente, osservata la stabilità della biologia, è stata introdotta in un secondo momento anche l'acqua di vegetazione. In questo modo è stata mantenuta costante la percentuale di solidi totali al carico, e il COV, optando per impostare la prova con un COV inferiore rispetto alla prova precedente. Al fine del monitoraggio di processo, anche in questa fase è stato monitorato l'andamento del rapporto FOS/TAC misurato nel digestato ed è stata effettuata l'analisi degli acidi grassi volatili (AGV) in alcuni campioni di digestato.

Relativamente all'attività di distribuzione meccanica del digestato, nel luglio 2018 sono state effettuate prove di spandimento in due appezzamenti dedicati alla coltivazione di specie arboree (agrumeto e vigneto); tali appezzamenti, siti in territorio di Vittoria (RG), appartengono alla stessa azienda agraria e si trovano ad una distanza di poche centinaia di metri l'uno dall'altro. L'agrumeto ha filari di 192 metri ed un sesto di 6 x 4 m; il vigneto, a spalliera, è caratterizzato da un'interfila di 2.4 m; entrambi sono irrigati a goccia e godono di un controllo meccanico delle erbe infestanti. Durante le prove, è stato distribuito digestato solido fornito dall'impianto di digestione anaerobica della AB Group di Vittoria (RG), che utilizza matrici tipiche mediterranee tra cui il pastazzo di agrumi; tale impianto è dimensionato per produrre, attraverso il suo cogeneratore, circa 600 kW elettrici. Il digestato è stato trasportato dall'impianto agli appezzamenti tramite un carro, della capacità di 20 t, trainato da una trattrice e scaricato in un cumulo a bordo campo; una pala caricatrice, poi, ha provveduto di volta in volta a riempire le macchine distributrici. Dal cumulo in diverse zone e a diverse profondità, sono stati prelevati sei campioni di digestato per poter determinare il loro contenuto in sostanza secca attraverso essiccazione in stufa a 105 °C.

Durante le prove in campo sono stati impiegati un carro spandiletame a distribuzione posteriore con rotori verticali, della capacità di 2 m³, ed un distributore cilindrico di 0.6 m³ con possibilità di spandimento posteriore a spaglio tramite disco rotante o localizzato in file attraverso due bocche di uscita laterali e una centrale, attivabili separatamente. Viste le differenti caratteristiche dei due impianti arborei oggetto delle prove, si è ritenuto opportuno testare nell'agrumeto lo spandiletame a distribuzione posteriore, essendo caratterizzato da una larghezza di lavoro maggiore rispetto al distributore cilindrico; quest'ultimo, invece, è stato impiegato nel vigneto in entrambe le sue

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

configurazioni. Le prove svolte hanno consentito di valutare l'efficienza di distribuzione delle macchine operatrici utilizzate per la distribuzione meccanica della frazione solida del digestato.

LINEA 3 di attività: conclusa

LINEA 4 di attività:

La prima fase dell'attività di impiego del separato liquido su piante di agrume è stata la caratterizzazione chimica della matrice organica. Sulla base del contenuto di azoto riscontrato è stato predisposto lo schema sperimentale di seguito descritto. Il materiale vegetale prescelto è rappresentato da due portinnesti di agrume: il citrange Carrizo e il Citrus volkameriana (vedi foto sotto).



Per entrambi i genotipi sono state programmate somministrazioni di 2,5; 5 e 10 grammi di azoto rispettivamente in una, due e quattro somministrazioni (2,5 g azoto/somministrazione) distanziate una dall'altra di 15 giorni (15 marzo, 30 marzo, 15 aprile, 30 aprile). L'origine dell'azoto era organica (separato liquido del digestato) e minerale (solfato ammonico). Per ogni tesi (tab. 2) sono state trattate 7 piante.

Tabella 2 – Schema sperimentale applicato per la valutazione del separato liquido



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Genotipo	Tesi	N/pianta (g)
Citrange carrizo	Separato liquido 1 (SL1)	2,5
	Separato liquido 2 (SL2)	5
	Separato liquido 3 (SL3)	10
	Solfato ammonico 1 (MIN1)	2,5
	Solfato ammonico 2 (MIN2)	5
	Solfato ammonico 3(MIN3)	10
	Controllo	0
Citrus volkameriana	Separato liquido 1 (SL1)	2,5
	Separato liquido 2 (SL2)	5
	Separato liquido 3 (SL3)	10
	Solfato ammonico 1 (MIN1)	2,5
	Solfato ammonico 2 (MIN2)	5
	Solfato ammonico 3(MIN3)	10
	Controllo	0

Tabella 3 – Quantitativi di matrici utilizzate per ciascuna pianta e per ciascun trattamento

Tesi	15/03/2019	30/03/2019	15/04/2019	30/04/2019
	g/pianta	g/pianta	g/pianta	g/pianta
Separato liquido 1 (SL1)	87,42			
Separato liquido 2 (SL2)	87,42	87,42		
Separato liquido 3 (SL3)	87,42	87,42	87,42	87,42
Solfato ammonico 1 (MIN1)	9,60			
Solfato ammonico 2 (MIN2)	9,60	9,60		
Solfato ammonico 3(MIN3)	9,60	9,60	9,60	9,60
Controllo	0,00			

Le piante saggiate erano state trapiantate in vasi da 6,5 L utilizzando un substrato misto di torba, lapillo e suolo vulcanico particolarmente sabbioso. Preliminarmente sulle piante sono stati rilevati diametro del fusto alla base e altezza. La misura dell'altezza è stata ripetuta settimanalmente in corrispondenza di ogni trattamento e alla fine di giugno. Durante il periodo di monitoraggio in serra, con la medesima cadenza dei rilievi sull'accrescimento delle piante si è provveduto anche a valutare l'indice di clorofilla mediante l'utilizzo di misuratore SPAD. Alla fine del mese di giugno si è provveduto, su tre piante per genotipo e per tesi (totale 42 piante) alla quantificazione e misurazione della ripartizione della biomassa. Per questo in laboratorio le porzioni delle piante sono state separate in foglia, germogli, fusto, fittone, radici di primo ordine e radici assorbenti. Per



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

ciascuna porzione è stato rilevato il peso fresco, il peso secco e la ripartizione percentuale rispetto alla biomassa della pianta. Inoltre, le foglie sono state utilizzate anche per la quantificazione dell'azoto minerale. Infine, su un ulteriore campione di foglie è in corso l'analisi relativa alla quantificazione della prolina, un amminoacido indicatore di eventuali livelli di stress per la pianta.

LINEA 5 di attività (Convenzione Di3A):

Per quanto attiene alla valutazione economica relativa alla disponibilità a pagare (DAP) per impiegare il digestato, in sostituzione degli ammendanti convenzionali, è stata condotta un'indagine sperimentale ipotetica coinvolgendo 230 imprenditori agricoli o, più in generale, responsabili di acquisto di mezzi tecnici. Il disegno sperimentale *between* è stato messo a punto dai ricercatori della sezione di Economia ed Estimo del Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente dell'Università degli Studi di Catania. Sono state somministrate due differenti tipologie di questionario a responsabili di acquisto di mezzi tecnici per l'agricoltura per rilevare non solo le loro disponibilità a pagare ma anche altri attributi o attitudini per meglio delineare il profilo dei possibili utilizzatori del digestato.

Le interviste sono state condotte *face-to-face* coinvolgendo principalmente soggetti nelle province di Catania, Ragusa, Enna e Siracusa.

La presenza di una domanda di screening all'inizio del questionario ha permesso di sottoporre ad intervista solo i reali responsabili di acquisto di mezzi tecnici per l'agricoltura, ovvero soggetti conoscitori del mercato di tali mezzi.

Per la rilevazione delle DAP è stata utilizzata una variante della Multiple Price List (MPL) teorica, ovvero è stata proposta agli intervistati una lista prefissata di prezzi per il digestato ed ognuno doveva indicare con un flag se allo specifico importo fosse disposto a pagare il digestato oppure no. Si tratta di una variante rispetto alla versione originale della MPL perché all'intervistato veniva anche proposto di scegliere se acquistare digestato o tradizionale letame per ogni combinazione di prezzi proposta. Il prezzo del letame indicato in tabella delle scelte rimaneva invariato (10 euro/t) mentre per quello del digestato venivano proposte 5 alternative: 7, 9, 10, 11, 13 euro/t (sono stati considerati decrementi ed incrementi del 10% e del 30% rispetto al prezzo di mercato del letame). Nella sezione finale del questionario sono state rilevate anche le caratteristiche socio-demografiche del campione e alcune caratteristiche delle aziende agricole a cui gli intervistati afferiscono a vario titolo (es. conduttore, contoterzista, ecc).

2. Risultati e deliverable

LINEA 1 di attività: conclusa

LINEA 2 di attività (Convenzione Di3A):

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Le biomasse impiegate per la prima prova di fermentazione anaerobica in continuo sono state caratterizzate per i solidi totali (ST) e solidi volatili (SV) i cui risultati sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 – Caratterizzazione chimica delle biomasse

Biomassa	Solidi Totali		Solidi Volatili	
	[g/kg]	[% tq]	[g/kg]	[% ST]
Pastazzo di agrumi	174,0	17,4%	128,8	74%
Acque di vegetazione	46,4	4,6%	32,1	69%
Pollina	339,1	33,9%	228,4	67%
Triticale insilato	303,7	30,4%	280,5	92%
Lettiera avicola	747,7	74,8%	641,3	86%
Sansa di olive	161,0	16,1%	144,5	90%
Letame bovino	141,2	14,1%	120,3	85%
Siero di latte	33,4	3,3%	23,8	71%
Paglia	936,2	93,6%	856,3	91%
Bucchette di pomodoro	270,0	27,0%	260,4	96%

In Tabella 2 i risultati della caratterizzazione durante la prova.

Tabella 2 - Caratterizzazione chimica della miscela di carico

n.campione	Solidi Totali		Solidi Volatili	
	[g/kg]	[% tq]	[g/kg]	[% ST]
1 - 10/10/17	242,8	24,3%	199,8	82,3%
2 - 24/10/17	232,0	23,2%	192,1	82,8%
3 - 15/11/17	245,6	24,6%	202,4	82,4%
4 - 02/01/18	230,1	23,0%	189,3	82,2%
5 - 01/02/18	233,6	23,4%	194,7	83,3%
media	236,8	23,7%	195,6	82,6%
dev.st	6,9	0,7%	5,4	0,0%

La miscela prodotta ha una concentrazione media del 24% in solidi totali e un contenuto in ceneri dell'ordine del 17% dei solidi totali. I risultati del test BMP sono riportati in Tabella 3. Il mix ha ottenuto la

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

produzione specifica di metano pari a 312 Nm³CH₄/tSV con una percentuale di metano nel biogas pari al 57,7%.

Tabella 3 - Caratterizzazione del mix di biomasse mediante test BMP

Matrice	ST	SV	BMP		SMeq ⁽¹⁾	Kmax ⁽²⁾	Degradabilità dei SV		H2S
	[%]	[%ST]	[Nm ³ CH ₄ /tSV]	[Nm ³ CH ₄ /t]	[t/tSMst]	[giorni]	[%]	[%]	[ppm]
Miscela	243	200	312,2	62,4	0,56	2,6	67,8	57,7	433

(1) Quantità di Silo Mais equivalente (SMeq), considerando un insilato di mais standard (SMst): 33% di ST, 4% di ceneri e BMP pari a 350 Nm³CH₄/tSV, ovvero 110,9 Nm³CH₄/t tq.

(2) Kmax: velocità massima di degradazione dei solidi volatili.

L'inoculo è stato caratterizzato chimicamente secondo i parametri di solidi totali (ST), solidi volatili (SV), acidità (FOS), alcalinità (TAC) e acidi grassi volatili (AGV) (Tabella 4 e Tabella 5).

Tabella 4 - Caratterizzazione chimica dell'inoculo utilizzato per l'avvio dei test

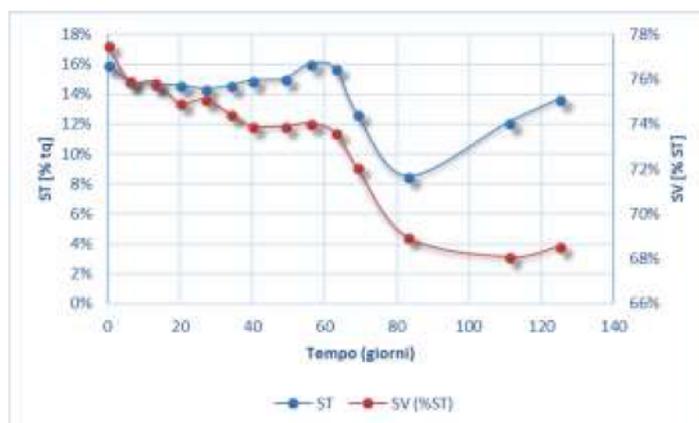
Solidi Totali	Solidi Volatili	FOS	TAC	FOS/TAC
[%tq]	[%ST]	[mg HAceq/l]	[mgCaCO ₃ /l]	[-]
16,0 %	77,5%	12184	23721	0,514

Tabella 5 - Analisi degli AGV nell'inoculo

Acetico	Propionico	Iso-butyrico	Butyrico	Iso-valerico	Valerico	Iso-Caproico
[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
5310	1226	258	258	297	<50	<50

Di seguito si riporta graficamente, Figura 1, l'andamento dei solidi totali (percentuale sul tal quale) e dei solidi volatili (in percentuale sui solidi totali).

Figura 1–Andamento nel corso della sperimentazione dei solidi totali (ST) e volatili (SV) del digestato estratto dal reattore.



Nei primi 60 giorni di prova si è osservato un aumento dei solidi totali; il successivo calo è dovuto all'aggiunta di acqua che ha diluito l'interno del reattore; si è osservato un aumento con la ripresa del carico. I risultati delle analisi per determinare la concentrazione degli acidi grassi volatili (AGV) su campioni di digestato nel tempo sono riportati in Figura 2. Il campione al giorno "0" è riferito all'inoculo di partenza; nei successivi campioni si è osservato, già all'inizio della sperimentazione, un valore alto di acido acetico, 5300 mg/kg, che aumenta nel tempo con l'aumentare del carico organico volumetrico fino ad arrivare ad una concentrazione pari a 11140 mg/kg, molto probabilmente inibitoria verso i microrganismi metanigeni. Parallelamente è stato osservato anche un accumulo di acido propionico nel primo mese di prova, la cui concentrazione si è stabilizzata attorno a 4000 mg/kg fino al giorno 103; dal giorno 84 al giorno 103 è stato osservato anche uno sbilanciamento nel rapporto tra acido acetico e acido propionico a favore di quest'ultimo, condizione notoriamente osservata in situazioni di forti rallentamenti nella via degradativa degli acidi grassi volatili in digestione anaerobica. Dal giorno 72 al giorno 99 l'alimentazione al carico è stata fortemente limitata arrivando alla sospensione totale anche per diversi giorni; questa manovra ha avuto l'obiettivo di permettere la naturale degradazione dell'acidità organica accumulata, in particolare di acido propionico. La sospensione del carico organico ha portato ad una progressiva diminuzione della concentrazione di acido acetico nel digestato da 6515 a 147 mg/kg ma non ha determinato riduzioni significative della concentrazione di acido propionico (sempre tra 3600-5000 mg/kg) e degli altri acidi grassi volatili C4-C6 (Figura 8), identificando proprio a quel livello il blocco della via metabolica. In questa fase, la degradazione della sostanza organica si è manifestata anche con una diminuzione nel contenuto di solidi totali nel digestato fino a 85,39 g/kg. Considerando la composizione della tabella di alimentazione ricca in sostanze oleose e grassi è stato deciso di utilizzare un formulato enzimatico per velocizzare la conversione della sostanza organica. Dal giorno 100 al giorno 118 è stato dosato un prodotto commerciale contenente lipasi e specifico per ottimizzare la degradazione biologica di oli e grassi di origine sia vegetale che animale presenti ad elevate concentrazioni. Al ripristino del carico organico volumetrico, la produzione specifica di

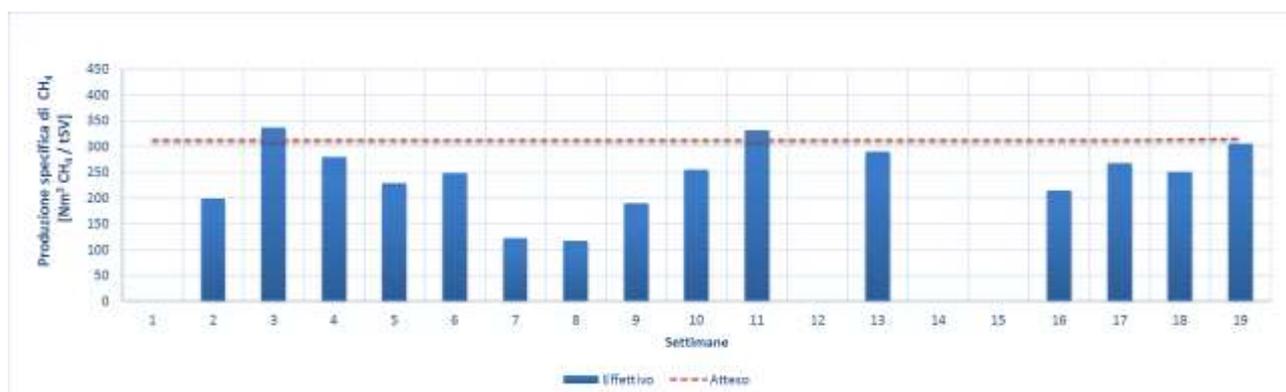
Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

metano è stata mediamente inferiore di circa il 30% rispetto alla produzione attesa sulla base delle biomasse utilizzate. I risultati ottenuti evidenziano come gli enzimi siano stati efficaci nel velocizzare la degradazione dell'acidità organica residua e fondamentali al ripristino dell'equilibrio biologico del digestore ma conferma che non possono rappresentare la soluzione ad un'inibizione del processo che si è ripresentata al raggiungimento del carico organico volumetrico target fissato nella prova. L'inibizione del processo ha portato ad avere una limitata conversione della sostanza organica in biogas rispetto alle attese (circa il 25-30% in meno) e ad un progressivo accumulo di acidi organici (acido acetico e acido propionico in particolare) che portano a situazioni di marcata acidosi nel caso in cui non vengano adottate le opportune contromisure. La produzione specifica di metano, espresso in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ rapportato alle tonnellate di solidi volatili caricati, è risultata mediamente nell'intera prova pari a $229 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{tSV}$. L'andamento della produzione specifica di metano misurata settimanalmente è riportata in figura 3 in cui si evidenzia il confronto con la produzione attesa (in rosso).

Figura2-Concentrazioni degliAGVincampioni didigestato



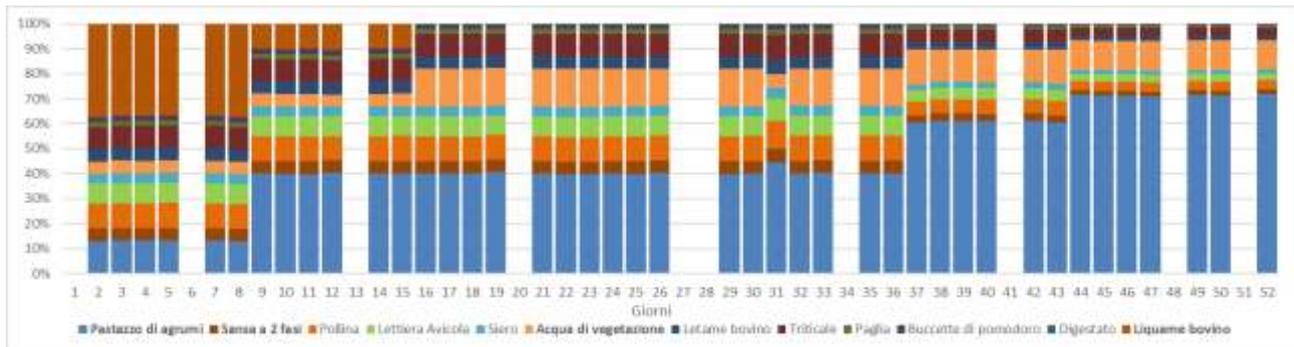
Figura 3 – Andamento della produzione specifica di metano settimanale in $\text{Nm}^3/\text{t SV}$, effettiva e attesa



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Al fine di migliorare le performance di processo, cercando di impiegare la stessa dieta d'impianto, è stata quindi avviata una seconda prova con una rampa di carico (figura 4).

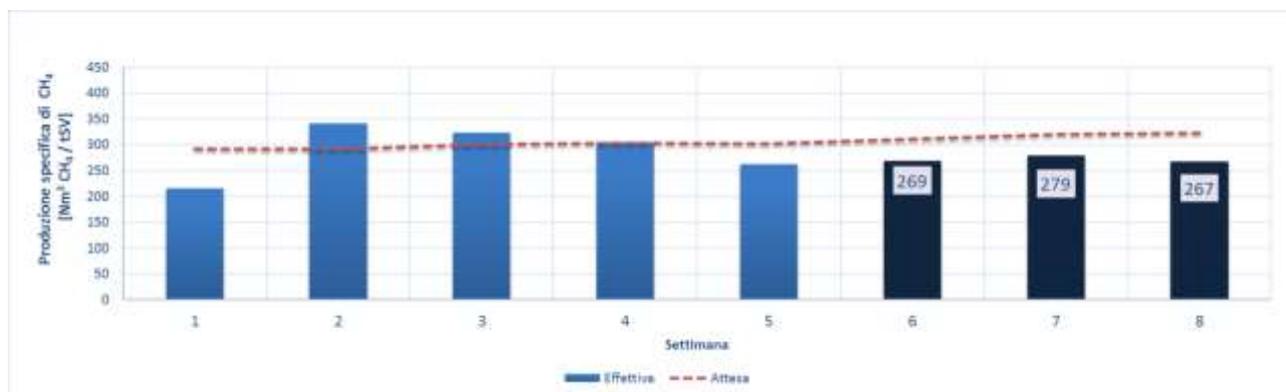
Figura 4 - Ripartizione della percentuale in peso delle biomasse nella miscela caricata giornalmente



Al giorno 38 la composizione della miscela di carico era uguale a quella utilizzata nella prima fase. Quindi per due settimane è stato monitorato il processo con il carico giornaliero a regime come previsto nella sperimentazione. Al fine del monitoraggio di processo, anche in questa fase è stata effettuata l'analisi degli acidi grassi volatili (AGV) in alcuni campioni di digestato. L'acido acetico, presente in tutti i campioni è rimasto sotto la soglia critica, con valori in un paio di casi che superano di poco 500 mg/kg. Trascurabili i valori degli altri AGV. Il tenore di solidi totali misurato all'interno del reattore è risultato mediamente nell'intera prova del 6,5 % di cui il 69% solidi volatili. La produzione di metano è risultata mediamente nell'intera prova pari a 297 Nm³ CH₄ /tSV. L'andamento della produzione specifica di metano misurata settimanalmente è riportata in Figura 5, in cui si evidenzia il confronto con la produzione attesa (in rosso). Il valore atteso di produzione specifica, ovvero 305 Nm³CH₄/tSV, è inferiore a quello atteso nella fase precedente della sperimentazione, confermato anche dal test BMP, in quanto varia la componente del pastazzo di agrumi, rappresentata sempre per il 40% in peso ma con un tenore di umidità minore rispetto al pastazzo utilizzato precedentemente.

Figura 5 - Andamento della produzione specifica di metano settimanale in Nm³/t SV, effettiva e attesa. In blu scuro le produzioni in corrispondenza del carico a regime.

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019



In conclusione, la miscela testata risulta energeticamente interessante in termini di potenzialità in metano. L'utilizzo in scala reale di una tabella di alimentazione di questo tipo deve però essere controllato e monitorato, soprattutto nella fase di avvio del processo di digestione anaerobica, in quanto si sono riscontrate diverse criticità nel corso della sperimentazione, evidenziate dai risultati ottenuti nelle due fasi di realizzazione della prova.

I risultati dell'attività di spandimento della frazione solida del digestato saranno oggetto di futura pubblicazione, per cui non si entra nel loro dettaglio, ma si forniscono solo delle indicazioni di massima. La percentuale media di sostanza secca presente nei campioni di digestato prelevati in campo è risultata pari a circa il 54%. Relativamente alle prove di distribuzione, per ciascuna configurazione delle macchine sono state eseguite tre ripetizioni, ognuna con tre punti di campionamento del prodotto distribuito, e tutte le operazioni sono state cronometrate per valutare anche i tempi di lavoro. I punti di campionamento, distribuiti lungo il percorso di ciascuna macchina operatrice (fig. 1), hanno consentito di verificare la quantità di digestato rilasciata e quindi di valutare le caratteristiche di distribuzione trasversale e longitudinale in ogni prova effettuata; le quantità di prodotto raccolte sono state pesate direttamente a bordo campo e l'analisi del tempo effettivo di lavoro ha permesso di stimare la velocità media di avanzamento delle macchine operatrici in ciascuna prova. Nel dettaglio, con lo spandiletame è stata mantenuta una velocità media di avanzamento pari a 1.50 m s^{-1} , mentre con il distributore cilindrico la velocità è stata pari a 0.66 m s^{-1} con la distribuzione posteriore a spaglio e 1.05 m s^{-1} con quella a file laterali. La combinazione di questi dati ha consentito anche di risalire alla portata distribuita e di verificarne la sua uniformità durante l'avanzamento (distribuzione longitudinale). L'analisi della quantità di digestato distribuita per unità di superficie, infine, ha permesso di osservare l'uniformità trasversale della distribuzione. In media, nello spandimento in agrumeto sono stati distribuiti 1.57 kg m^{-2} di digestato, invece nel vigneto sono stati rilasciati 1.09 kg m^{-2} con la distribuzione posteriore a spaglio e 1.93 kg m^{-2} con quella a file laterali. La valutazione dei dati ottenuti ha consentito di verificare l'efficienza di distribuzione delle macchine operatrici testate e meglio indirizzare l'operatore al momento del loro impiego.



Fig. 1. Distribuzione del digestato in agrumeto (sinistra) ed in vigneto, a spaglio (centro) e a file laterali (destra).

LINEA 3 di attività: conclusa

LINEA 4 di attività:

I risultati relativi alla caratterizzazione chimica del separato liquido utilizzato per le prove in vaso di concimazione su piante di agrume sono riportati in tabella 1.

Tabella 1 – Principali caratteristiche chimiche del separato liquido utilizzato

Separato liquido	Umidità (%)	NO ₃ (ppm)	N minerale (‰)	TOC (%)	SO (%)	pH	CE (μS/cm 25°C)
	67,9	0,7	9,8	5,4	9,3	8,2	28,2

Preliminarmente sulle piante sono stati rilevati diametro del fusto alla base e altezza. La misura dell'altezza è stata ripetuta settimanalmente in corrispondenza di ogni trattamento e alla fine di giugno. In figura 1 e 2 sono riportate le altezze iniziali e finali registrate per ciascun genotipo e ciascuna tesi.

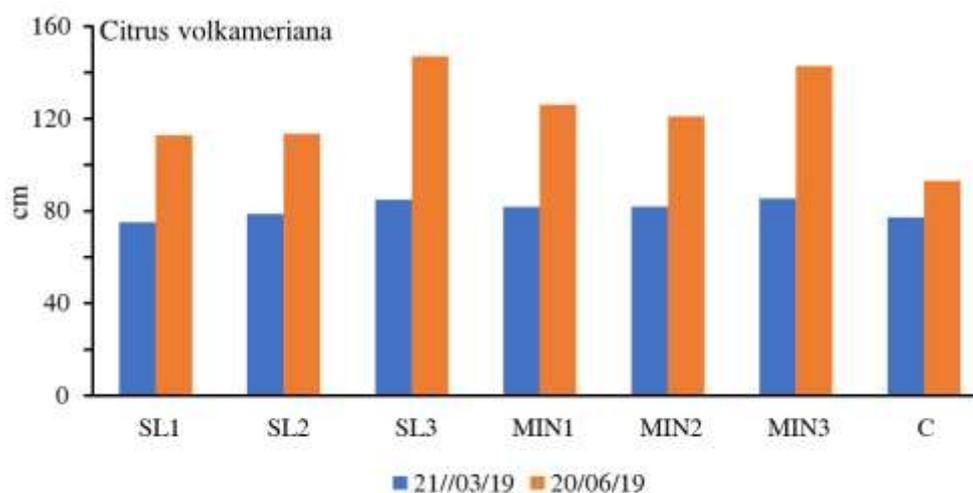


Figura 1 – Incremento dell'altezza delle piante tra l'inizio e la fine della prova in serra

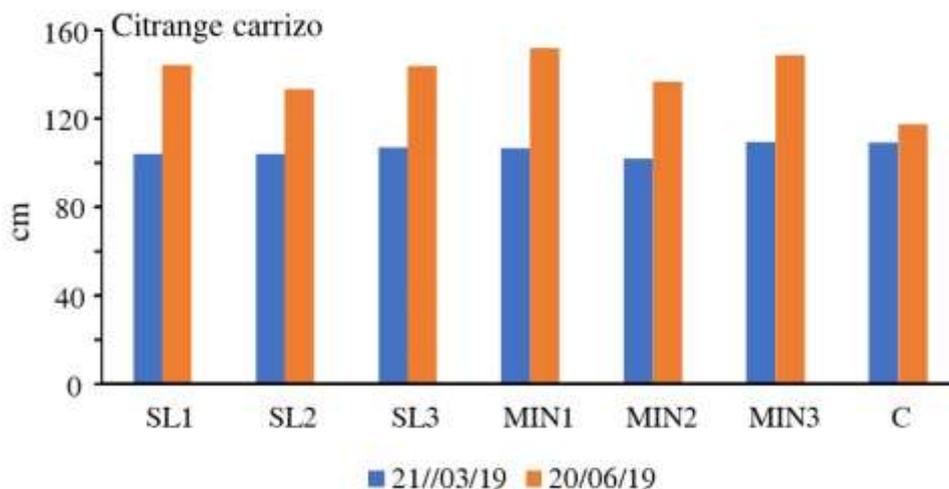


Figura 2 - Incremento dell'altezza delle piante tra l'inizio e la fine della prova in serra

I dati relativi alle determinazioni dell'indice di clorofilla, la ripartizione della biomassa, il contenuto di prolina e di azoto minerale saranno oggetto di pubblicazione.

LINEA 5 di attività (Convenzione Di3A):

L'elicitazione della disponibilità a pagare attraverso meccanismi di preferenze dichiarate (*stated preference*) permette di determinare il prezzo di riserva dell'intervistato, ovvero il massimo prezzo che è disposto a pagare. Sono stati intervistati 230 responsabili di acquisto di mezzi tecnici per l'agricoltura, ripartiti equamente in due gruppi differenti. Per tutti gli intervistati sono stati prima rilevati alcuni attributi o attitudini per meglio delineare il loro profilo, attraverso un'apposita scala Likert. È stato così delineato una sorta di profilo dei possibili utilizzatori che è stato correlato con i valori della disponibilità a pagare emersa dall'indagine condotta.

I due gruppi intervistati sono stati differenziati sulla base delle informazioni sul digestato fornite: un gruppo ha avuto le informazioni prima che gli venisse chiesto di esprimere la propria disponibilità a pagare (gruppo informato), mentre al secondo gruppo è stato chiesto di esprimere la DAP senza ricevere alcuna info sul digestato (gruppo non informato e di controllo).

Le informazioni fornite erano relative all'origine del prodotto, alle sue caratteristiche chimico-fisiche e alle sue capacità ammendanti.

Trattandosi di un disegno sperimentale *between*, ovvero con soggetti diversi esposti a trattamenti diversi, prima di procedere all'analisi dei dati si è testata l'eventuale presenza di differenze



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

statisticamente significative tra le varie caratteristiche dei due gruppi. Attraverso una batteria di test chi-quadro relativi alle singole variabili socio-demografiche dei due campioni, è stato accertato che non vi sono differenze significative tra i due gruppi, pertanto il confronto tra medie delle DAP è possibile farlo nel rispetto del principio *ceteris paribus*, escludendo possibili effetti di altre variabili sulle DAP.

In generale, i due campioni sono risultati esser costituiti da:

- circa 17-18% di donne;
- circa il 50% di soggetti aventi il diploma come grado di istruzione massimo;
- soggetti responsabili dell'acquisto di mezzi tecnici per aziende ad ordinamento cerealicolo-foraggicolo e agrumicolo.

In accordo con quanto descritto in letteratura da vari autori, la DAP media del gruppo informato è risultata essere superiore rispetto a quella del gruppo non informato. La prima infatti è risultata essere pari 7.55 €, mentre la seconda è risultata pari a 6.60 €. Inoltre, la differenza tra le due DAP è stata testata attraverso un test T ed è risultata statisticamente significativa all'8,5%; pertanto, è possibile affermare che è emerso un vero e proprio effetto dell'informazione sul campione.

Tutti i dati raccolti saranno oggetto di pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali indicizzate e/o su riviste di settore a carattere divulgativo.

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

Le attività della task 3.6 sono state divulgate nel corso della conferenza 'Mediterranean Hifood tra invenzione e tradizione' con una relazione della Dott.ssa Simona Fabroni dal titolo 'Utilizzo degli scarti della trasformazione degli agrumi in campo alimentare, nutraceutico ed energetico', tenutosi a Roma nell'ambito dell'evento Maker Faire 2018 (12-14 ottobre 2018). Inoltre, la Dott.ssa Simona Fabroni ed il Dott. Paolo Rapisarda hanno partecipato all'evento Biogas Italy 2019, tenutosi a Milano in data 28 febbraio-1 marzo 2019.

6. Elenco pubblicazioni

Simona Fabroni, Margherita Amenta, Gabriele Ballistreri, Flora Valeria Romeo, Nicolina Timpanaro, Paolo Rapisarda. Utilizzo degli scarti della trasformazione degli agrumi in campo alimentare, nutraceutico ed energetico La rivista di scienza dell'alimentazione. ISSN 1128-7969 Numero 3, Settembre - Dicembre 2018, Anno 47.



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.

Nell' **task 4.1** è stato completato lo studio inerente la Linea 2, relativa alla saccarificazione della biomassa pretrattata di *Arundo donax*, e definito il protocollo per la produzione di idrolizzati idonei alla fermentazione con microrganismi oleaginosi, in base al quale si ottiene una resa finale in zuccheri riducenti ottenibile prossima al 50% della biomassa secca. È stata anche avviata la Linea 3 di ricerca, relativa alla produzione di oli microbici da idrolizzati di *A. donax*. Dalla fermentazione di un idrolizzato ad alto tenore di polifenoli con *Lipomyces starkeyi* si sono ottenute elevate rese di conversione da lignocellulosa a lipidi (8,9%). Sono stati studiati alcuni metodi per l'estrazione completa dei lipidi dalle cellule.

Nella **task 4.2** sono state effettuate prove di crescita di ceppi di lieviti selezionati su siero di latte allo scopo di valutarne l'efficienza di produzione di SCO. Le fermentazioni sono state condotte in condizioni controllate di temperatura e sono state analizzate le cinetiche di crescita, determinando la quantità di biomassa prodotta e il contenuto lipidico totale.

Nella **task 4.3** l'olio di Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) e di Cartamo (*Carthamus tinctorium* L.) ottenuti per estrazione meccanica da semi provenienti dalla coltivazione svolta nel 2017 presso l'azienda sperimentale del CREA-CI di Bologna, sono stati testati nel banco di prova oli presso il CREA-IT, per la valutazione delle prestazioni come fluidi idraulici. I risultati del test hanno evidenziato, accanto a buone prestazioni tecniche dei due oli, un aumento di alcuni parametri chimico-fisici, indici di degradazione ossidativa. Pertanto, è stata stabilita una ulteriore prova con un nuovo batch di olio di Crambe, nuovamente estratto presso il CREA-CI e sottoposto a un diverso processo di additivazione. L'olio nuovo è stato inviato a CREA-IT per le prove nel circuito idraulico. Parallelamente sono state fatte presso ISSI-SSOG le prove di idrogenazione selettiva di entrambi gli oli con caratterizzazione chimico-fisica dei prodotti ottenuti. Infine, i pannelli residui provenienti dalla disoleazione dei due semi sono stati caratterizzati presso il CREA-CI e sottoposti ad idrolisi enzimatica per la produzione di idrolizzati proteici a uso agricolo come biostimolanti in pianta. Sono ad oggi in corso prove di messa a punto di biosaggi su pianta per valutare l'azione biostimolante degli idrolizzati ottenuti.

Nella **task 4.4** sono stati completati i test avviati nel secondo anno di progetto, con l'olio di cartamo e di olio di crambe, additivati con antiossidante, come fluidi idraulici tramite il banco prova appositamente realizzato presso il CREA IT di Monterotondo. Dopo una fase iniziale in cui hanno



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

mostrato un buon comportamento, entrambi gli oli hanno sono andati incontro ad importanti fenomeni di ossidazione primaria con perdita delle proprietà lubrificanti. Successivamente, l'olio di crambe è stato sottoposto ad una seconda prova con una più elevata dose di antiossidante. I risultati hanno evidenziato in questo caso un ottimo comportamento dell'olio per tutta la durata del test. È stata infine effettuata una prova prolungata con un fluido idraulico a base vegetale prodotto e fornito da Novamont. Anche in questo caso i risultati sono stati molto positivi sia dal punto di vista delle prestazioni che delle prestazioni.



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)

Linea 3 - Verifica dell'idoneità degli idrolizzati per la produzione di SCO

Referente: Stefania Galletti (CREA-AA)

Abstract

Nel terzo anno di progetto è stato completato lo studio inerente la Linea 2, relativa alla saccarificazione della biomassa pretrattata di *Arundo donax*, e definito il protocollo per la produzione di idrolizzati, idonei alla fermentazione con microrganismi oleaginosi. In breve, la frazione solida derivante dal pretrattamento alcalino della biomassa viene recuperata per filtrazione, neutralizzata, sterilizzata e idrolizzata con enzimi ad alta attività specifica, a 50°C, pH 5. La resa finale in zuccheri riducenti ottenibile raggiunge 489 mg/g di biomassa secca.

È stata anche avviata la Linea 3 di ricerca, relativa alla produzione di oli microbici da idrolizzati di *A. donax*. Sono stati ottenuti 2 idrolizzati, a basso e alto tenore di polifenoli (da fibra lavata e non), con C/N di 258 e 191, rispettivamente, e contenenti >50 g/L di zuccheri riducenti. Sono quindi stati formulati 4 media (2 idrolizzati x 2 livelli di nutrienti). Il formulato ad alto tenore di polifenoli e basso livello di nutrienti è stato utilizzato per fermentazioni con il lievito oleaginoso *Lipomyces starkeyi*. In parallelo sono stati valutati diversi metodi per l'estrazione completa dei lipidi dalle cellule. *L. starkeyi* ha raggiunto elevate concentrazioni di lipidi (68% g/g di cellule, 4,9 g/L.) con alte rese di conversione da lignocellulosa a lipidi (8.9%) su terreni minimi ad alto C/N (191). Infine, è stata misurata la cinetica di crescita cellulare, di consumo degli zuccheri e di accumulo dei lipidi.

1. Attività svolta

Linea 1 - Pretrattamenti di biomasse lignocellulosiche



Conclusa e già relazionata

Linea 2 - Saccarificazione delle biomasse lignocellulosiche pretrattate

Sono state condotte prove di confronto tra diversi mix enzimatici su fibre pre-trattate lavate e non, al fine di determinare se i polifenoli residui potessero influire sulle rese di saccarificazione.

Pertanto, 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), ricca di polifenoli.

È stato infine definito il protocollo per l'ottenimento di idrolizzati zuccherini da biomassa lignocellulosica (*Arundo donax* L.)

Linea 3 - Verifica dell'idoneità degli idrolizzati per la produzione di SCO

1) Effetti di inibizione/stimolazione dei polifenoli su *Lipomyces starkeyi*. Sono state effettuate prove di crescita del lievito oleaginoso su substrato zuccherino liquido semisintetico in presenza di diverse dosi di frazione liquida ricca di polifenoli derivata dal pretrattamento della biomassa lignocellulosica (0, 20, 40, 60%)

2) Pretrattamento ed idrolisi della biomassa lignocellulosica e formulazione di medium di coltura per le prove di fermentazione. Per preparare gli idrolizzati è stato utilizzato il mix enzimatico ad alta attività specifica sia sulla frazione solida della biomassa pre-trattata e lavata - praticamente priva di polifenoli - sia sulla frazione solida solo parzialmente separata da quella liquida (per filtrazione), ancora ricca di polifenoli. Sono stati formulati un totale di 4 medium di coltura: 2 idrolizzati (ad alto e basso tenore di polifenoli) X 2 livelli di nutrienti (nessuna aggiunta vs aggiunta di estratto di lievito, solfato d'ammonio etc). Il tenore di zuccheri dei diversi terreni è stato normalizzato a 30 g/L di equivalenti in glucosio (metodo del DNS)

3) Determinazione del rapporto C/N degli idrolizzati e dei medium formulati. Dopo essiccazione sono stati determinati i rapporti C/N degli idrolizzati e dei diversi media formulati, tramite un analizzatore degli elementi C, H e N (Leco, CHN Truspec).

4) Prove di estrazione dei lipidi. L'efficienza di estrazione dei lipidi dipende sia dai solventi scelti che dal microrganismo. Sono stati confrontati diversi protocolli di preparazione del campione (essicato



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

/ non essiccato prima della digestione con acidi diluiti; filtrato e non filtrato dopo la digestione) prima dei cicli di estrazione con solventi organici (esano puro in confronto esano e isopropanolo 3:2)

5) Prove di fermentazione in beuta agitata. Sono stati utilizzati in via preliminare i due formulati al minor contenuto di azoto, contenenti idrolizzato di *A. donax* da fibra lavata e non (28°C 180 rpm, 120h), in confronto ad un terreno zuccherino di controllo contenente glucosio in quantità equivalente.

Il primo obiettivo è stato quello di valutare l'effetto del lavaggio della fibra pretrattata prima dell'idrolisi enzimatica sulla successiva crescita della biomassa microbica e sull'accumulo dei lipidi, il secondo obiettivo è stato quello di individuare le condizioni che massimizzano crescita e accumulo di lipidi per *L. starkeyi*.

6) Cinetiche di crescita. È stata monitorata la cinetica di crescita, di consumo di zuccheri riducenti e di accumulo di lipidi da parte di *L. starkeyi* su di un terreno contenente idrolizzato di *A. donax* da fibra pretrattata, filtrata ma non lavata. Sono state allestite apposite colture batch (beute agitate da 250 mL, 28°C, 180 rpm, 120h) effettuando 2 campionamenti al giorno ad intervalli regolari.

I principali parametri della coltura sono stati determinati mediante misure spettrofotometriche: la densità cellulare è stata determinata come densità ottica a 660nm dei campioni diluiti 1 a 10, il contenuto di zuccheri residui nel terreno di coltura è stato determinato col metodo del DNS, l'accumulo dei lipidi è stato determinato col metodo della fosfovanillina, adattato per micropiastre.

2. Risultati e deliverables

Linea 2 - Saccharificazione delle biomasse lignocellulosiche pre-trattate

Effetti di inibizione/stimolazione dei polifenoli sul mix enzimatico. I risultati hanno indicato 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.

Rese di conversione: Il protocollo di saccharificazione individuato ha consentito di ottenere dalla frazione solida pretrattata 489 ±18 mg di zuccheri riducenti per g di biomassa secca con il mix enzimatico ad alta attività specifica (Cellic Ctec2, Novozymes).

È stato infine definito il protocollo per l'ottenimento di idrolizzati zuccherini da biomasse lignocellulosiche idonei alla fermentazione con MO oleaginosi (D.4.1.2)

- 1) Recupero per filtrazione (senza lavaggio) della frazione solida di biomassa lignocellulosica pre-trattata secondo il protocollo già individuato e determinazione del contenuto di s.s.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- 2) Preparazione di una slurry al 7% w/w con acido citrico 10 mM finale
- 3) Correzione del pH fino a 4.9-5.1 con HCl
- 4) Sterilizzazione in autoclave a 120°C per 20 min
- 5) Aggiunta del mix enzimatico ad alta attività specifica (Cellulase Enzyme Blend SAE 0020 Sigma, contenente cellulase CTec C2) corrispondente a 22 FPU/g di biomassa secca
- 6) Idrolisi per 120 h a 50°C su agitatore magnetico
- 7) Recupero dell'idrolizzato zuccherino mediante centrifugazione (surnatante)

Linea 3 - Verifica dell'idoneità degli idrolizzati per la produzione di SCO

1) Le prove preliminari di inibizione/stimolazione dei polifenoli su *L. starkeyi* hanno mostrato un effetto di parziale inibizione della crescita. Il lievito è stato in grado di crescere in presenza di liquor (frazione liquida ricca di polifenoli derivante dal pretrattamento) anche alla massima dose testata (60% vol/vol). La velocità specifica di crescita (calcolata dopo 17 h di coltura) è risultata significativamente diversa rispetto al controllo, indicando parziale inibizione a questa dose. Poiché un'inibizione parziale della crescita potrebbe riflettersi in una riduzione dell'accumulo di lipidi, appare necessario allontanare almeno parte del liquor al termine del pretrattamento prima dell'idrolisi delle fibre e della successiva fermentazione degli idrolizzati.

La separazione parziale delle 2 frazioni derivanti dal pretrattamento di *A. donax* (fibra pretrattata insolubile e liquor) può essere ottenuta agevolmente mediante semplice filtrazione a vuoto (fino all'82% del liquor può essere rimosso con questo processo).

2) Pretrattamento ed idrolisi della biomassa lignocellulosica e formulazione di medium di coltura per le prove di fermentazione. Sono stati ottenuti due diversi idrolizzati (da biomassa pretrattata lavata e non lavata). Il tenore di zuccheri riducenti in equivalenti di glucosio (metodo del DNS) negli idrolizzati è risultato superiore a 50 g/L anche in seguito al parziale scale-up del processo, ciò ha consentito di formulare mezzi di coltura con un tenore di zuccheri di 30 g/L di glucosio equivalente.

3) Determinazione del rapporto C/N degli idrolizzati e dei medium formulati. I rapporti C/N degli idrolizzati sono risultati pari a 258 e 191, rispettivamente per l'idrolizzato ottenuto a partire da fibre pretrattate e lavate e per l'idrolizzato da fibre pretrattate e filtrate. I rapporti C/N dei 4 terreni formulati da idrolizzati di fibre lavate o non lavate e con o senza nutrienti aggiunti sono risultati rispettivamente 66 (fibre lavate + nutrienti), 64 (fibre non lavate + nutrienti), 258 (fibre lavate senza nutrienti aggiunti), 191 (fibre non lavate senza nutrienti aggiunti). Per il terreno di controllo G30 il C/N è risultato pari a 43. Utilizzando *A. donax* raccolta a fine ciclo vegetativo ed enzimi ad alta attività è stato possibile ottenere idrolizzati enzimatici ad elevatissimo C/N ossia superiore a 150.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

4) Prove di estrazione dei lipidi. Dal confronto di diversi metodi è stata individuata la seguente procedura di preparazione del campione ed estrazione con solventi:

- Le cellule essiccate vengono risospese in HCl 2M (12,5 mL di acido per g di biomassa secca) e lasciate lisare in bagno caldo (80 °C, 2 h).
- La sospensione di cellule lisate viene raffreddata in centrifuga refrigerata (5°C, 4500 rpm, 10 minuti) e successivamente sottoposta a 4 cicli di estrazione con 10 mL di una miscela di esano: isopropanolo (3:2) direttamente nella sospensione acida di lisati cellulari.
- Le 4 estrazioni vengono riunite in tubi in vetro tarati e il solvente viene allontanato in bagno a caldo (60 °C) sotto cappa.
- I lipidi possono essere quantificati gravimetricamente dopo essiccazione finale sottovuoto.

Con questo metodo può essere calcolata con buona riproducibilità la resa in lipidi in funzione del peso secco di cellule, degli zuccheri forniti o della biomassa totale di *A. donax* in input (ossia prima del pretrattamento).

5) Prove di fermentazione in beuta agitata. Le prove di fermentazione con gli idrolizzati di *A. donax* hanno evidenziato che l'allontanamento parziale del liquor per filtrazione prima dell'idrolisi è sufficiente a rimuovere gli inibitori, quindi non è necessario il lavaggio della fibra pretrattata. Questo consente di semplificare il processo e di ridurre i residui. *L. starkeyi* è risultato in grado di raggiungere elevate concentrazioni cellulari di lipidi (68% g/g s.s.) mantenendo elevate rese di conversione (lipidi 4,9 g/L; 8.9% conversione complessiva) su terreni minimi ad alto C/N (191).

6) Cinetiche di crescita. *L. starkeyi* allevato su terreno senza nutrienti aggiunti (formulato a partire da idrolizzato enzimatico di *A. donax* pretrattata con alcali e separata per filtrazione, C/N=191) ha mostrato una elevatissima capacità di accumulare lipidi ed ha presentato un contenuto in lipidi >50% w/w del peso secco cellulare già nelle prime fasi della fermentazione (dopo 30 h). Al termine della fermentazione (120 h) questo isolato ha raggiunto circa il 70% w/w del peso secco in lipidi con una resa finale pari a 4.9 g/L (Fig. 1).

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

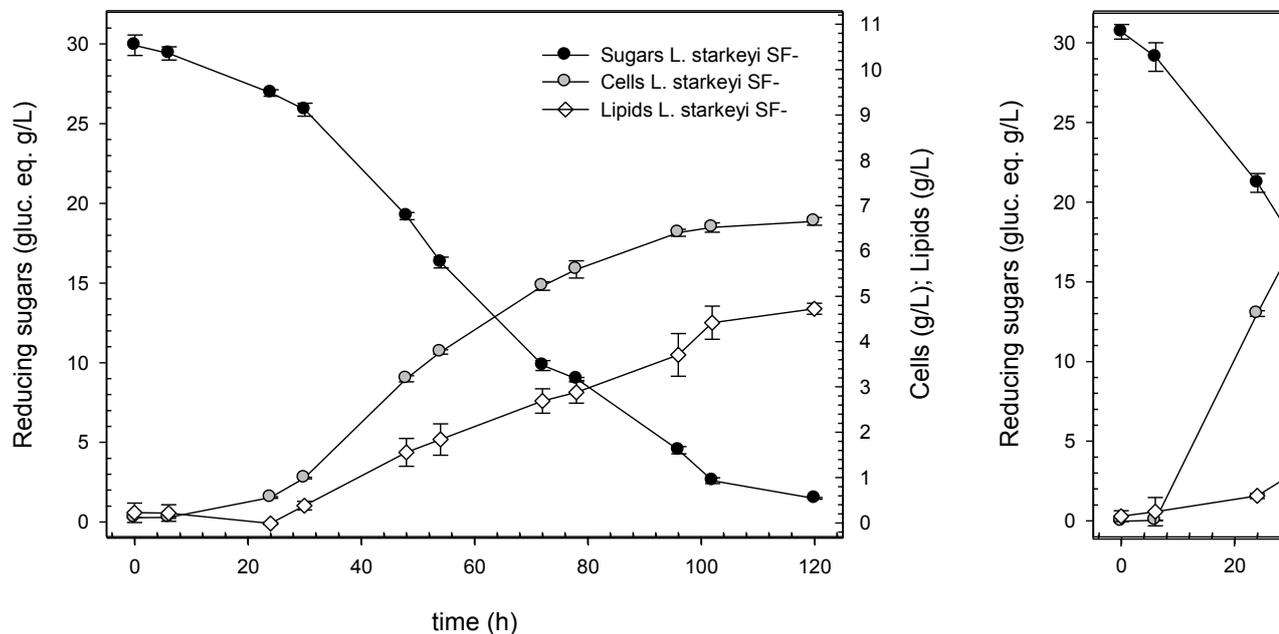


Figura 1. Cinetica di crescita, di consumo degli zuccheri e di accumulo di lipidi di lieviti oleaginosi allevati in beute agitate su terreni contenuti 30 g/L di zuccheri (terreni formulati a partire da idrolizzati enzimatici di *A. donax* pretrattata con alcali e filtrata). *L. starkeyi* è stato cresciuto su terreno minimo con C/N=191 (SF- = saccarificato da fibre pretrattate separate per filtrazione, senza nutrienti aggiunti)

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.

Valutazione del potenziale di inibizione del residuo liquido del pretrattamento verso patogeni fungini, in collaborazione con la Prof. Roberti del DISTAL- UNIBO.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Formazione:

Assegno di ricerca biennale (vincitore Dr. Stefano Cianchetta, decorrenza 30 dicembre 2016): "Valutazione dell'ideoneità delle biomasse lignocellulosiche per la filiera del biodiesel di II generazione". (Bando CIN del 18/10/2016 - AGROENER.2)



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Tirocinio curriculare 13 CFU - 325 ore (2 marzo 2018 al 31 dicembre 2018) dello studente Paolo Terzo Timoncini, presso la sede di Bologna del CREA-AA, per il conseguimento della laurea magistrale in Scienze e Tecnologie agrarie. Titolo della tesi: *Un estratto di Arundo donax come possibile alternativa all'uso di prodotti chimici di sintesi in orticoltura*. 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 al 31 dicembre 2018) dello studente Nakia Polidori, presso la sede di Bologna del CREA-AA, per il conseguimento della laurea magistrale in Biotecnologie molecolari e industriali. Titolo della tesi: *Oli microbici da idrolizzati enzimatici di Arundo donax per la filiera del biodiesel e dei biolubrificanti*. Tutor CREA Dr.ssa Stefania Galletti e Dr. Stefano Cianchetta, Tutor accademico Prof. Alejandro Hochkoeppler, Università di Bologna.

Partecipazione ai seguenti meeting e convegni tramite poster o presentazione visuale:

XII Giornate scientifiche SOI, Bologna, 19-22 giugno 2018: Galletti S., Cianchetta S., Roberti R Lignin-rich waste from alkali pretreated *Arundo donax* as a promising alternative to synthetic antifungal products in horticulture (poster)

ELB2018 – Exploring Lignocellulosic Biomass!, Reims, 26-29 giugno 2018: Cianchetta S., Vasmara C., Galletti S., Orsi A, Marchetti R. (2018) Effect of alkaline pre-treatment of giant reed biomass on biogas production (poster)

[27th European Biomass Conference & Exhibition](#) (EUBCE), Lisbona 27-31 maggio 2019: S. Cianchetta, N. Polidori, E. Ceotto, S. Galletti. Is it possible to produce low-nitrogen hydrolysate of giant reed suitable for single cell oil production? (presentazione visuale)

6.Elenco pubblicazioni

Cianchetta S., Nota M., Polidori N., Galletti S. (2019). Alkali pre-treatment and enzymatic hydrolysis of *Arundo donax* for single cell oil production. Environmental Engineering and Management Journal, v.18(8), in stampa.

Cianchetta S., Polidori N., Ceotto E., Galletti S. (2019.) Is it possible to produce low-nitrogen hydrolysate of giant reed suitable for single cell oil production? Atti EUBCE, in stampa.

Bologna, 2 luglio 2019

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)

Abstract

Sono state effettuate prove di crescita di ceppi di lieviti selezionati su siero di latte allo scopo di valutarne l'efficienza di produzione di SCO. Le fermentazioni sono state condotte in condizioni controllate di temperatura e sono state analizzate le cinetiche di crescita, determinando la quantità di biomassa prodotta e il contenuto lipidico totale.

1. Attività svolta

In aggiunta ai ceppi microbici selezionati e testati nel corso del secondo anno di progetto sono stati acquisiti e testati ulteriori ceppi di lieviti, già utilizzati e caratterizzati per le attività della task 4.1 con cui è stata instaurata una collaborazione viste le possibilità di sinergia per obiettivi e tecniche utilizzate: *Rhodotorula graminis*, *Rhodospiridiobolus azoricus*, *Trichosporon oleaginosus*, *Lipomyces starkeyi*.

Sia questi nuovi ceppi che quelli selezionati nel secondo anno sono stati utilizzati in coltura pura per fermentazioni *in batch* in cui sono stati utilizzati come substrato di fermentazione effluenti di caseificio. Sono state determinate le cinetiche di crescita determinando per ogni ceppo la quantità massima di biomassa ottenibile ed il tempo minimo di fermentazione necessario. La biomassa ottenuta è stata utilizzata per estrarne i lipidi totali che sono stati quantificati gravimetricamente.

2. Risultati e deliverable

Per ogni ceppo sono stati ottenuti i dati di resa di fermentazione in termini di biomassa prodotta (peso fresco e peso secco) e di lipidi estratti. I ceppi di maggior interesse per i risultati ottenuti sono stati *Trichosporon oleaginosus* e *Lipomyces starkeyi*, per i quali sono state ottenute rese di fermentazione in SCO fra 8 e 14 g/l, con tempi di fermentazione molto rapidi per *Trichosporon oleaginosus*, più lenti per *Lipomyces starkeyi*, comunque inferiori a una settimana.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Visto il permanere di una situazione di mancato completamento dei lavori di adeguamento del laboratorio della sede CREA IT di Torino non è stato possibile effettuare le analisi cromatografiche necessarie per la quantificazione e caratterizzazione degli estratti lipidici cellulari. Si è pertanto cercato di compensare tale lacuna richiedendo la collaborazione dei laboratori dell'INRIM dell'Area di Ricerca di Torino del CNR, presso cui è situata la nostra sede, dove sono state effettuate prove preliminari di analisi del contenuto lipidico cellulare tramite spettrofluorimetria; tali analisi consentono di determinare rapidamente il contenuto lipidico nelle cellule senza effettuarne l'estrazione, ed anche di averne una parziale caratterizzazione relativa al rapporto fra lipidi polari e quelli neutri. I dati ottenuti rendono possibile la scelta dei ceppi da utilizzare nelle fasi successive del progetto.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Nessuna

6. Elenco pubblicazioni



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: produzione di olio ad alto erucico e alto oleico rispettivamente da *Crambe abyssinica* Hochst. ex R. E. Fr e *Carthamus tinctorium* L. e studi per l'incremento della stabilità ossidativa e delle performance degli oli nei settori dei biocarburanti e biolubrificanti

Referenti: Dr. Luca Lazzeri, Dr.ssa Luisa Ugolini (CREA-CI) e il Dr. Paolo Bondioli (consulente ISSI-SSOG)

Linea 2 di attività: valorizzazione del pannello proteico residuo di estrazione

Referente: Dr.ssa Luisa Ugolini e Dr. Luca Lazzeri (CREA-CI)

Abstract

Nel terzo anno di attività l'olio di Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) e di Cartamo (*Carthamus tinctorium* L.) ottenuti per estrazione meccanica da semi provenienti dalla coltivazione svolta nel 2017 presso l'azienda sperimentale del CREA-CI di Bologna, sono stati testati nel banco di prova oli presso il CREA-IT, per la valutazione delle prestazioni degli oli come fluidi idraulici. I campioni di olio prodotti nel corso della prova sono stati caratterizzati dal gruppo ISSI-SSOG. Dalla prova è emerso che gli oli vegetali hanno presentato prestazioni tecniche adeguate all'uso previsto, ma hanno mostrato un aumento di alcuni parametri chimico-fisici, indici di degradazione ossidativa. Pertanto, è stata stabilita una ulteriore prova con un nuovo batch di olio di Crambe, nuovamente estratto presso il CREA-CI e sottoposto a un diverso processo di additivazione, ottimizzato da ISSI-SSOG, per aumentarne la stabilità ossidativa. L'olio nuovo è stato inviato a CREA-IT per le prove nel circuito idraulico. Parallelamente sono state fatte presso ISSI-SSOG le prove di idrogenazione selettiva di entrambi gli oli con caratterizzazione chimico-fisica dei prodotti ottenuti. Infine, i pannelli residui provenienti dalla disoleazione dei due semi sono stati caratterizzati presso il CREA-CI e sottoposti ad idrolisi enzimatica per la produzione di idrolizzati proteici a uso agricolo come biostimolanti in pianta. Sono ad oggi in corso prove di messa a punto di biosaggi su pianta per valutare l'azione biostimolante degli idrolizzati ottenuti.

1. Attività svolta

Attività 1



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

1.1 Caratterizzazione complementare dei campioni prodotti (intermedi e finale) nel corso della prova su circuito idraulico.

Le caratterizzazioni principali degli oli di Crambe e Cartamo sottoposti a test su circuito idraulico sono state realizzate in corso d'opera da CREA-IT; a ISSI-SSOG è stata valutata l'evoluzione della contaminazione metallica e dell'assorbimento di umidità nel corso della prova. Per questo motivo campioni dei due oli a diverso tempo di trattamento (da 0 a 140/148 ore) sono stati prelevati e caratterizzati.

1.2 Disoleazione del Crambe

Olio di Crambe è stato prodotto procedendo come nel secondo anno mediante pressione a freddo dei semi utilizzando un mini-impianto pilota con una pressa Bracco realizzato dalla ditta MIG e disponibile presso i laboratori del CREA-CI di Bologna. L'olio (ca 24 kg) verrà utilizzato per una seconda prova su circuito idraulico presso CREA-IT.

1.3 Ottimizzazione dell'additivazione con antiossidante

In considerazione del fatto che entrambi gli oli in prova avevano mostrato importanti segnali di degradazione nel corso della prova su circuito idraulico, realizzata utilizzando un ridotto dosaggio di antiossidante additivato agli oli, è stato realizzato uno studio per verificare se mediante l'applicazione di dosaggi superiori fosse possibile ottenere una maggiore stabilità all'ossidazione. La stabilità degli oli alle diverse concentrazioni di antiossidante è stata valutata mediante tecnica Rancimat a 120 °C.

1.4 Prove di idrogenazione selettiva degli oli di Cartamo e Crambe

Le prove di idrogenazione selettiva degli oli oggetto di questa ricerca sono state realizzate utilizzando un catalizzatore brevettato a base Rame, in grado di idrogenare dieni e trieni lasciando inalterati gli acidi grassi con un solo doppio legame, quali ad esempio l'acido oleico e l'acido erucico. Questa trasformazione è di sicuro impatto sulle proprietà chimico-fisiche dei fluidi, che sono stati sottoposti a caratterizzazione ante e post idrogenazione. Le idrogenazioni sono state realizzate in autoclave agitata e riscaldata alla temperatura di 180 °C. Per ciascun campione sono state utilizzate pressioni pari a 6 e 20 bar di idrogeno

Attività 2

1.1. Produzione di idrolizzati proteici

Per la produzione di idrolizzati proteici da pannelli residui di disoleazione si è partiti da tre campioni di farine disoleate: un pannello di Crambe, estratto a caldo presso la ditta MIG di Bergamo (si veda relazione del secondo anno di attività); un pannello di Crambe estratto a freddo presso i laboratori del CREA-CI; un pannello di Cartamo estratto a caldo sempre a Bergamo. Sulla base del contenuto



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

proteico e di saggi preliminari è stato messo a punto un protocollo di idrolisi a due stadi con enzimi commerciali del tipo endo e esopectidasi, applicato alle tre farine disoleate. L'idrolisi è stata eseguita mediante pH-stat. Il pH e la temperatura di esercizio sono stati mantenuti ai valori ottimali per gli enzimi testati. Al termine dell'idrolisi, e a seguito della centrifugazione, è stato ottenuto un idrolizzato in forma liquida e la farina solida residua dall'idrolisi. L'idrolizzato è stato successivamente liofilizzato. I campioni finali sono stati quindi analizzati per il contenuto in proteine. Per il Crambe è stato valutato, sia nella farina di partenza che nell'idrolizzato, anche il contenuto di composti bioattivi quali i glucosinolati e i relativi prodotti di degradazione.

Parallelamente sono iniziate prove di messa a punto di biosaggi sul fagiolo mungo verde (*Vigna radiata*), per valutare l'effetto degli idrolizzati come biostimolanti in particolare sulle radici della pianta.

2. Risultati e deliverable

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-IT) e per usi nel settore agricolo

1.1 Caratterizzazione complementare dei campioni prodotti (intermedi e finale) nel corso della prova su circuito idraulico.

Per quanto riguarda l'olio di Cartamo non si è riscontrato un complessivo incremento della concentrazione dei metalli dovuti a segnali di usura dell'apparecchiatura, con l'unica eccezione di un ridotto incremento nella concentrazione del Rame, che potrebbe avere avuto un impatto negativo sulla stabilità dell'olio. Al contrario, la presenza di altri elementi quali Ca, P e Zn nei fluidi in esercizio e non riscontrata nel l'olio di Cartamo di partenza potrebbe essere dovuto ad un fenomeno di contaminazione dell'olio in esercizio causata da tracce residue di un fluido utilizzato in una prova precedente. Relativamente alla presenza di umidità è stata riscontrata una leggera riduzione all'inizio della prova per poi stabilizzarsi su valori stabili nell'intorno dei 500 mg/kg, a significare una ridotta tendenza ad assorbire umidità, nelle condizioni di esercizio applicate.

Per quanto riguarda l'olio di Crambe è possibile confermare in tutto e per tutto le considerazioni fatte in precedenza per l'olio di Cartamo.

1.2 Ottimizzazione dell'additivazione con antiossidante

Entrambi gli oli di Crambe e Cartamo hanno reagito positivamente all'additivazione, con l'olio di Crambe che ha fornito una migliore prestazione probabilmente dovuta al ridotto livello di insaturazione. Per la prova finale in circuito idraulico si è pertanto deciso di utilizzare olio di Crambe



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

additivato con una concentrazione superiore di antiossidante, definita nei saggi. Tale concentrazione ha permesso di ottenere, alle condizioni testate, un tempo induzione del Rancimat, di 19,13 ore (contro le 13,38 ore per l'olio di Cartamo), misurato alla temperatura di 120 °C.

1.3 Prove di idrogenazione selettiva degli oli di Cartamo e Crambe

Alla pressione operativa inferiore (6 bar), normalmente utilizzata per l'idrogenazione degli esteri metilici degli acidi grassi, entrambi gli oli non hanno dimostrato alcuna reazione probabilmente a causa della maggiore viscosità e del più elevato peso molecolare rispetto ai corrispondenti metilesteri. Incrementando la pressione a 20 bar la reazione è risultata evidente per l'olio di Cartamo, dove è stato possibile osservare una riduzione selettiva del numero delle insaturazioni presenti, con scomparsa o quanto meno un'importante riduzione dei sistemi dienici e trienici e contemporaneo aumento della concentrazione di monoeni. Per quel che riguarda il Crambe, invece l'idrogenazione selettiva è stata preceduta da una fase di deodorazione spinta per ridurre il contenuto di Zolfo da 31 a 25 mg/kg, elemento in grado di impedire l'idrogenazione. La riduzione del contenuto in Zolfo, anche se non quantitativa, ha infatti consentito l'idrogenazione del campione.

In nessun caso si è osservato un incremento della concentrazione degli acidi grassi saturi. Un fattore negativo atteso ed emerso anche in questo caso è stata l'elevata formazione di acidi grassi monoinsaturi in configurazione *trans*, che ha determinato un impatto sulle caratteristiche di stabilità al freddo dei prodotti idrogenati.

Per concludere l'indagine è stata effettuata la completa caratterizzazione chimico-fisica degli oli idrogenati. In entrambi i casi è stata ben visibile l'attesa riduzione del numero di Iodio, un peggioramento delle caratteristiche di stabilità al freddo, la non influenza della reazione di idrogenazione sul Residuo Carbonioso. Al contrario è stato ben evidente il crollo della stabilità ossidativa nei campioni idrogenati. Tra le diverse ipotesi formulate per spiegare questo comportamento potrebbe essere la degradazione dei pigmenti naturali e con essi di alcune molecole ad azione antiossidante, quali ad esempio di tocoferoli e caroteni. Inoltre, nel campione di Cartamo idrogenato è stata rilevata una concentrazione di Rame, caratteristico per la sua azione pro ossidante, maggiore di quella del campione di partenza, probabilmente dovuto ad un fenomeno di *leaching*, che si è verificato a carico del catalizzatore a base Rame impiegato.

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 e biosaggi su piante e in test in vitro.

L'analisi del contenuto proteico delle tre farine residue di disoleazione ha mostrato valori paragonabili intorno al 24% (p/p). Sulla base di questo dato si è proceduto con la messa a punto di



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

un protocollo di idrolisi utilizzando due enzimi commerciali in sequenza, in particolare uno ad attività endopeptidasi e uno ad attività prevalentemente esopeptidasi. È stato così ottenuto buon grado di idrolisi (DH% ~ 40%) a partire da tutte e tre le farine, dopo un tempo totale di reazione di circa 3 ore. Si è inoltre dimostrato come la presenza di olio residuo nella farina non incidesse sul grado di idrolisi.

Gli idrolizzati liofilizzati così ottenuti presentavano un buon contenuto proteico (42-54%), maggiore per il Cartamo. Sono in corso valutazioni qualitative e quantitative sul contenuto in aminoacidi liberi, ritenuti composti con attività tipicamente biostimolante in pianta, diversa a seconda della composizione aminoacidica.

Per il Crambe è stata anche valutata la presenza di composti bioattivi, quali glucosinolati nell'idrolizzato, estratti dalla farina durante il processo di idrolisi. È stato così possibile verificare che la loro presenza è fortemente influenzata dal metodo di estrazione a caldo o a freddo dell'olio che ha prodotto le farine che ha determinato anche la presenza o meno dei prodotti di degradazione dei glucosinolati. Questi prodotti hanno una nota attività biologica dimostrata nei confronti di numerosi patogeni vegetali, ma l'effetto diretto in pianta non è stato ad oggi ancora sufficientemente studiato.

Nello stesso tempo è stato messo a punto un biosaggio per la valutazione di un'eventuale azione simil-auxinica degli idrolizzati sulla formazione di radici di fagiolo mungo verde (mung bean), particolarmente adatto a questo tipo di studio. Dopo germinazione al buio in vermiculite, talee ottenute dalle piantine sono state messe in vials contenenti apposite soluzioni acquose dei prodotti da testare a diverse concentrazioni e fatte crescere in camera di crescita per dieci giorni. Al termine della prova è stato valutato l'effetto del trattamento su numero, lunghezza, peso fresco e peso secco delle radici. Sono tuttora in corso prove volte a determinare il tempo ottimale di contatto delle soluzioni di idrolizzato con le piantine e le concentrazioni ottimali dei tre idrolizzati da testare (Cartamo, Crambe da estrazione a freddo o a caldo).

Si prevede di ultimare la caratterizzazione degli idrolizzati in termini di molecole bioattive ad azione antiossidante e di valutare l'eventuale effetto biostimolante su radici dei tre idrolizzati mediante il saggio mung bean messo a punto.

D.4.3.4: Valorizzazione dei risultati tramite stesura di articoli scientifici, eventi di divulgazione, eventuale valutazione della possibilità di tutelare la proprietà intellettuale.

Al termine delle prove si procederà con le attività che riguardano la valorizzazione dei risultati ottenuti.

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 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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

Si propone di divulgare in toto o in parte i risultati ottenuti dal gruppo di ricerca mediante:

- Presentazione orale o poster al 17° Eurofedlipid Congress in Siviglia, 20 – 23 Ottobre 2019
“Driving Science and Technology to new Horizons”
- Comunicazione al convegno annuale UNICHIM, Milano – Prodotti petroliferi e Lubrificanti, 20 novembre 2019
- Preparazione di almeno una pubblicazione scientifica da inviare ad una rivista scientifica da individuare



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 i 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). È stata completata la valutazione iniziata l'anno scorso, dell'olio di cartamo e di olio di crambe come fluidi idraulici tramite il 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.

Entrambi gli oli hanno subito importanti fenomeni di ossidazione primaria con perdita delle proprietà lubrificanti. Successivamente, l'olio di crambe è stato sottoposto ad una seconda prova con una più elevata dose di antiossidante. I risultati hanno evidenziato in questo caso un ottimo comportamento dell'olio per tutta la durata del test.

È stata infine effettuata una prova prolungata con un fluido idraulico a base vegetale prodotto e fornito da Novamont. Anche in questo caso i risultati sono stati molto positivi sia dal punto di vista delle prestazioni che delle prestazioni.



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.

Linea completata nel 2018

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.

Linea completata nel 2018

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 i cicli di prova

Linea completata nel 2018

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).

Sono state completati i test di 150 h con un olio di cartamo alto oleico e un olio di crambe alto erucico iniziati nella primavera del 2018. Tali oli sono stati prodotti nell'ambito della task 4.3 dal partner CREA-CIN e sono stati addizionati con una dose di antiossidante per uso alimentare.

Il CREA-CIN ha fornito una seconda partita di olio di crambe che, dopo essere stato additivato con una dose maggiore di antiossidante, è stato sottoposto ad un test al banco prova che ha avuto una durata di oltre 300 h.

Infine, un ulteriore test al banco prova è stato effettuato su un olio idraulico a base vegetale prodotto e fornito da Novamont. Anche in questo caso il test è proseguito oltre le canoniche 150 h ed ha avuto una durata complessiva di 430 h.

Tutti i test effettuati sono stati corredati dal prelievo di campioni che sono stati analizzati per la misura della viscosità cinematica a 40 e 100 °C, del TAN e del Numero di perossidi.

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)

Linea completata nel 2018



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)

Linea completata nel 2018

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 i cicli di prova (Referente: Daniele Pochi)

Linea completata nel 2018

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)

I primi test con olio di cartamo ed olio di crambe come fluidi idraulici, additivati con antiossidante per uso alimentare hanno mostrato che dopo 30-40 h di lavoro al banco prova si avvia un processo di degradazione degli oli stessi, evidenziato da un aumento della viscosità del numero di perossidi, legato a fenomeni di ossidazione primaria. Il processo si evolve rapidamente portando alla perdita delle caratteristiche idrauliche.

Il secondo test condotto su olio di crambe con una più elevata concentrazione di antiossidante ha invece fornito ottimi risultati. La prova è stata condotta per oltre 300 h senza che siano state rilevate variazioni sostanziali dei parametri. Il test è stato sospeso per mancanza di olio nel banco prova in seguito ai ripetuti prelievi di campioni per le analisi.

Il test con il fluido fornito da Novamont ha dato risultati analoghi a quelli descritti al punto precedente: la prova è proseguita per oltre 400 h ed è stata sospesa per motivi analoghi. Non si sono osservate variazioni dei parametri caratteristici.

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



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

D. Pochi, R. Fanigliulo, C. Bisaglia, M. Cutini, R. Grilli, M. Betto, L. Fornaciari (2019). Vegetable oil-based as UTTO fluid for agricultural tractors application. In corso di pubblicazione su Applied Engineering in Agriculture, manoscritto ASABE MS-13488-2019.

Bondioli P., Folegatti L., Lazzeri L., Ugolini L., Malaguti L., Pochi D., Fanigliulo R. (2019). Semi-refined Crambe Abissinica oil as a hydraulic fluid. "Driving Science and Technology to new Horizons", 17° Eurofedlipid Congress, Siviglia, 20 – 23 Ottobre 2019.

Pochi D., Fanigliulo R., Grilli R., Fornaciari L., Bisaglia C., Cutini M., Brambilla M., Sagliano A., Capuzzi L., Palmieri F., Chiatti G. (2019). Design and assessment of a test rig for hydrodynamic tests on hydraulic fluids. "Biosystems Engineering for sustainable agriculture, forestry, and food production", AIIA Mid-Term Conference 2019. University of Basilicata. Matera, 12 -13 September 2019.



WP 5: Realizzazione impianti sperimentali, dimostrazioni e divulgazione.

WP leader: Francesco Gallucci

La condizione climatica attuale, caratterizzata dalle enormi problematiche ambientali che assumono entità sempre maggiore, come evidenziato durante l'ultimo summit dell'ONU di New York, richiede una maggiore attenzione da parte di tutti gli stati.

L' emissione incontrollata dei gas serra sta portando le temperature medie mondiali verso il catastrofico aumento di 2°C che, come noto, rappresenta il punto di non ritorno ed implicherebbe effetti devastanti sugli ecosistemi. Tutto ciò dovrebbe portare le classi dirigenti a rivalutare le politiche ambientali e prevedere incentivi atti a favorire l'utilizzo delle bioenergie anche per poter recepire la RED II (Direttiva del parlamento europeo sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili) e dare il giusto risalto al contributo delle biomasse di origine agricola sul piano nazionale Energia - Clima 2030.

Da considerare che con l'incremento 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. 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 (c.d. Decreti sulle rinnovabili) volte a incentivare e regolamentare le biomasse a uso energetico. Tuttavia, nell'ultimo Triennio a livello Nazionale la produzione di EE da biomasse agricole ha subito una battuta d'arresto a causa della diminuzione e della successiva cancellazione degli incentivi

È necessario prevedere politiche e misure di sostegno che tengano conto della capacità delle biomasse di mitigare gli effetti del cambiamento climatico e quindi la produzione di EE e/o termica deve essere sostenuta da un'ulteriore crescita delle bioenergie al 2030 rispetto agli attuali livelli di produzione.

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



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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.

Obiettivo generale del WP è quello di realizzare impianti sperimentali, in particolare vedrà la realizzazione di: una microfiera 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, alimentate a biomassa, di diversa potenza, rispettivamente da 350 kW_{th} e 80 kW_{th}, sia la produzione di Syngas nel gassificatore da 40 kW_{th}.

Ai fini del monitoraggio qualitativo del biogas e del biometano, si sta sviluppando un metodo di campionamento e analisi volto all'individuazione e alla quantificazione dei silossani in essi presenti e che rivestono notevole importanza poiché ad alte temperature hanno effetto abrasivo sull'unità termica dei MCI.

Grande interesse si rivolgerà, nell'ottica di favorire la *green* e la *circular economy*, all'utilizzo di biomasse derivanti da coltivazioni volte alla bonifica di suoli (fitorimediazione) e alla valutazione delle differenze che intercorrono con le biomasse tradizionali.

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, Vincenzo Civitarese, Andrea Acampora

Linea 2 di attività: Implementazione di un sistema informativo-territoriale su base GIS.

Referente: Giulio Sperandio, Marco Bascietto, Vincenzo Civitarese

Linea 3 di attività: Valutazione della sostenibilità economica ed energetica.

Referente: Giulio Sperandio, Alessandro Suardi, Andrea Acampora

Abstract

Per l'attività relativa alla Linea 1, è proseguito il monitoraggio delle nuove piantagioni SRF e MRF realizzate nel 2017 e di quelle già esistenti. È stato realizzato, presso l'azienda Oville del CREA-FL di Roma-Casalotti, in collaborazione con la Task 2.4, responsabile il Dott. G. Pignatti, circa un ettaro di un nuovo impianto SRF policiclico/polifunzionale. Relativamente alla gestione delle piantagioni energetiche di pioppo esistenti, è stata organizzata, in collaborazione con altre Task, la seconda "Giornata dimostrativa del progetto Agroener" presso il CREA-IT di Monterotondo, nella quale è stato presentato, per la Task 5.1, un cantiere forestale altamente meccanizzato per l'utilizzazione di tali piantagioni fuori turno. Relativamente alla Linea 2, è proseguita la fase di implementazione dei dati del modello previsionale di stima della biomassa agroforestale presente nell'area prossimale al CREA-IT, potenzialmente utilizzabile nel contesto del modello di microfiliera energetica. Per la Linea 3, è stata completata la base dati riferita al ciclo di vita delle piantagioni energetiche e alla microfiliera di produzione di energia termica della centrale a biomassa. I dati raccolti sono in fase di elaborazione per lo sviluppo di un'analisi dei processi produttivi, tramite applicazione della metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*) e LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*), per la valutazione dell'impatto ambientale e della sostenibilità economica ed energetica del modello di microfiliera.

1. Attività svolta

Le attività svolte nel corso del terzo anno del progetto sono ripartite nelle seguenti tre linee di ricerca:



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Linea 1.

L'attività svolta è suddivisa nei tre punti: a) costituzione di nuove piantagioni a ciclo breve e medio; b) gestione e monitoraggio dei cantieri meccanizzati; c) caratterizzazione dendrometrica e stima della biomassa ritraibile.

Per quanto riguarda il punto a) è stata realizzata, in collaborazione con la Task 2.4, responsabile il Dott. G. Pignatti, una nuova piantagione di pioppo presso l'Azienda Oville del CREA-FL di Roma-Casalotti. La superficie interessata è stata di circa un ettaro, che si somma ad un altro ettaro precedentemente realizzato. In questo nuovo impianto, viene sperimentato un modello di piantagione policiclico/polifunzionale, realizzato consociando due tipologie di piantagione: una SRF di cloni di pioppo da biomassa con un impianto di arboricoltura da legno costituito con filari di pioppo bianco e pioppo nero. Oltre questo impianto, nella primavera di quest'anno, era prevista la realizzazione di un altro impianto MRF di cloni di eucalipto presso l'azienda del CREA-IT di Monterotondo, ma, a causa di momentanea indisponibilità di talee di cloni specifici in selezione presso il CREA-FL (resp. Dott. G. Mughini), l'intervento è stato posticipato ad ottobre-novembre prossimi.

Per quanto riguarda il punto b), è stata avviata l'utilizzazione meccanizzata dei 4,6 ha di piantagioni dedicate SRF, impiantate nel 2005 (circa 4 ha) e nel 2006 (circa 0,6 ha). All'interno della piantagione erano presenti varie sezioni, caratterizzate da età diverse dei polloni in dipendenza dei diversificati interventi di raccolta effettuati negli anni. Erano presenti quindi piante dell'età di 14 anni (R14F14, radici e fusti di 14 anni), di 11 anni (R14F11), di 8 anni (R14F8), di 4 anni (R14F4) e, per i restanti 0,6 ha, piante dell'età di 13 anni (R13F13). In queste condizioni, con piante che spesso alla base presentano diametri anche superiori ai 30 cm, la meccanizzazione tipica impiegata nella raccolta della SRF, come per esempio l'utilizzo di macchine dedicate falcia-trincia-caricatrici (idonee a tagli su cicli biennali/triennali), oppure di macchine munite di organo di taglio a sega circolare per l'abbattimento/allineamento in continuo su filare delle piante, non potevano essere utilizzate a causa di queste eccessive dimensioni diametriche delle piante da tagliare. Per questo motivo, per la raccolta della piantagione è stato necessario ricorrere ad una meccanizzazione tipica del settore forestale. Nel caso specifico è stato allestito un cantiere ad elevata meccanizzazione, che ha previsto l'impiego di una cesoia forestale montata su escavatore per l'abbattimento delle piante, di un trattore portante forwarder per l'esbosco delle piante intere o sezionate e di un cippatore forestale di elevata potenza per la cippatura su piazzale delle piante esboscate. Il cippato ottenuto, quale biocombustibile autoprodotta all'interno dell'azienda, sarà utilizzato il prossimo inverno per l'alimentazione della centrale termica che produrrà calore per riscaldare gli edifici del CREA-IT di Monterotondo, completando il ciclo del modello di microfiliera energetica avviato presso il Centro di ricerca.

Le suddette macchine forestali sono state impiegate anche per la dimostrazione dinamica in campo, quale esempio di cantiere altamente meccanizzato da applicare su una piantagione SRF fuori turno



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

(età dei polloni da 4 a 14 anni), in occasione della seconda “Giornata dimostrativa del progetto Agroener”, tenutasi il giorno 26 giugno 2019, presso l’azienda del CREA-IT, organizzata in collaborazione tra varie Task del progetto (Task 5.1, 5.2, 5.6, 2.5).

Relativamente al punto c), si è proceduto ai rilievi dendrometrici delle piantagioni SRF e MRF costituite nel 2017 e di quelle già esistenti, in relazione ai diametri, alle altezze e alle fallanze. Per le piantagioni pregresse, si è proceduto anche alla determinazione dei pesi di alcuni campioni di piante al fine di valutare la biomassa presente.

Linea 2.

È in fase di completamento la costruzione di un modello di stima della biomassa agroforestale presente in prossimità territoriale e l’analisi della relativa sostenibilità economica ed energetica in riferimento al recupero e al trasporto della stessa finalizzato ad un potenziale utilizzo energetico nell’ambito della microfiliera del CREA-IT di Monterotondo. Il modello è stato costruito a partire dall’analisi d’immagine del territorio osservato, con identificazione delle aree classificate in funzione della diversa tipologia di coltura o destinazione produttiva. Rispetto all’attività svolta l’anno precedente, è stato implementato un nuovo modello di valutazione basato sull’identificazione delle aree, tenendo in considerazione la base di identificazione territoriale elaborata tramite la classificazione *CORINE Land Cover 2018* resa disponibile in versione definitiva nel 2019. Ai fini dello studio, per il territorio osservato, sono state identificate 8 tipologie di aree: 1) Verde urbano; 2) Aree sport e tempo libero; 3) Vigneti; 4) Frutteti; 5) Oliveti; 6) Colture consociate erbacee-arboree; 7) Alberature naturali in terreni agricoli; 8) Foreste. Mediante un design sperimentale a set di ranghi (ranked set sampling), effettuato all’interno degli 8 usi del suolo, sono state identificate delle aree di campionamento della biomassa. È stata effettuata, analizzando le immagini satellitari tratte da Google Earth, una verifica di queste tipologie e la stima della biomassa presente su un campione costituito da 139 aree. Per ciascuna area campione sono stati costruiti degli indici di densità sulla base del livello di copertura della coltura, tramite i quali è stato poi possibile procedere alla stima della biomassa presente per ciascun’area campione. Il risultato atteso sarà volto alla determinazione della mappatura territoriale dei costi di recupero e trasporto della biomassa agroforestale in relazione alle diverse tipologie, al fine di individuare le aree dove il recupero e il relativo trasporto della biomassa franco centrale CREA-IT risulti economicamente più sostenibile.

Linea 3.

È continuato il lavoro di monitoraggio delle operazioni meccanizzate e manuali eseguite sulle nuove piantagioni SRF e MRF, su quelle esistenti e su formazioni forestali di prossimità territoriale. I dati raccolti, di tipo tecnico ed economico, incrementano in continuo il database già strutturato e vengono utilizzati anche in modo trasversale nelle collaborazioni attivate con altre Task del progetto (Task 1.4, 1.6, 2.4, 2.5 e 5.2) per la determinazione delle produttività dei lavori meccanizzati (in



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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. I dati fin qui raccolti, relativi sia alla gestione delle piantagioni energetiche dedicate, sia al processo di trasformazione energetica, sono in fase finale di elaborazione per lo sviluppo di un'analisi complessiva di filiera applicando le metodologie LCA (*Life Cycle Assessment*) e LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*) per la valutazione della sostenibilità energetica, ambientale ed economica del modello di microfiliera di autoconsumo adottato presso il CREA-IT di Monterotondo. A tale scopo, si è proceduto all'analisi dei principali scenari produttivi riguardanti la microfiliera, i quali verranno posti a confronto in termini di unità di energia equivalente prodotta (in GJ). Per la redazione dell'inventario dei dati da utilizzare nell'analisi, sono stati considerati, quindi, i dati primari ottenuti direttamente dal CREA-IT in anni di sperimentazione e dall'inizio del progetto Agroener, mentre, per altri dati non facilmente reperibili, si è fatto ricorso alla banca dati del codice SimaPro 8.0.1, dataset Ecoinvent 3 (dati secondari). I dati primari, reperiti in azienda, sono relativi alle caratteristiche tecniche dei trattori e delle attrezzature agricole utilizzate, oltre al consumo di diesel, olio lubrificante, acqua di irrigazione, alla quantità e tipologia dei diserbanti e dei fertilizzanti impiegati, ai consumi ed alle emissioni della centrale termica. I dati secondari sono invece riferiti alle emissioni generate dalle macchine nelle varie fasi agricole, dai fertilizzanti e dagli altri materiali tecnici impiegati.

Il sistema preso in esame, applicato sull'intero ciclo di vita (ciclo di 15 anni), è volto a valutare la sostenibilità energetica ed economica per ogni GJ di energia termica equivalente prodotta dalla biomassa legnosa di pioppo proveniente da colture dedicate con cicli di taglio diversi, tenendo conto dei processi produttivi attinenti alla gestione delle piantagioni energetiche, al trasporto e alla trasformazione energetica in caldaia. L'unità funzionale scelta garantisce il corretto confronto dei risultati ottenuti rispetto ad altri sistemi di produzione energetica come quella da fonti fossili. In particolare, nel caso della microfiliera si confronterà l'impatto ambientale ed economico derivante dalla produzione di 1 GJ di energia termica prodotta dal legno di pioppo cippato in una caldaia per biomasse, con 1 GJ di energia termica prodotta da una equivalente caldaia a gasolio.

2. Risultati e deliverable

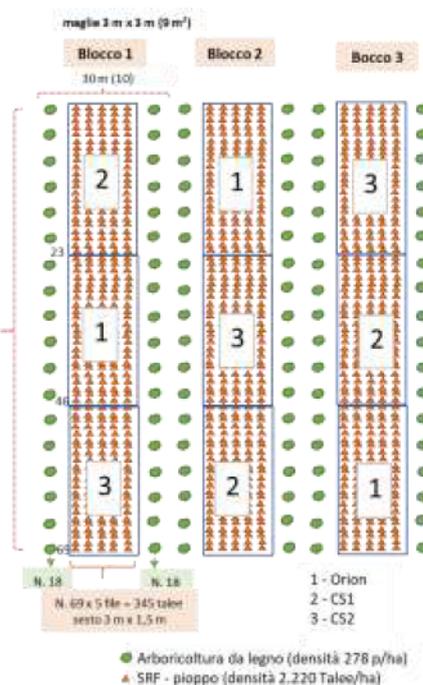
D.5.1.1. Output dell'attività della Linea 1 (7°-8°-9° quadrimestre).

- Costituzione di nuove piantagioni a ciclo breve e medio di diverse specie forestali

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

La nuova piantagione, realizzata in collaborazione il Dott. G. Pignatti (Task 2.4), presso l'Azienda Ovale del CREA FL di Roma Casalotti, copre circa un ettaro di superficie. La piantagione è di tipo policiclico/polifunzionale, costituita da una parte a SRF e una parte ad arboricoltura da legno. Lo schema sperimentale è riportato a fianco. Per la parte di arboricoltura da legno, sono stati costituiti complessivamente 6 filari, due filari per ciascun blocco. Le file sono rappresentate, in modo alterno, da pioppo bianco (*Villafranca*) e pioppo nero (*Jean Pourtet*). Per quanto riguarda l'impianto SRF, è stato adottato uno schema sperimentale a blocchi randomizzati, con 3 trattamenti (cloni) e 3 ripetizioni (blocchi), per un totale di 9 parcelle sperimentali. Ogni blocco è formato da tre parcelle di cloni diversi: 1. *Orion*; 2. *CS1* (clone sperimentale N.1) e 3. *CS2* (clone sperimentale N.2). Ciascuna parcella è formata da 5 file di pioppo (115 talee) per singolo clone. Il sesto d'impianto è di 3 m tra le file e 1,5 m tra le talee sulla fila, ottenendo quindi una densità pari a 2.220 piante/ha. Per l'impianto di arboricoltura da legno è stata applicata una spaziatura di 6 m x 6 m, corrispondente ad una densità di 278 talee/ha. La finalità dell'impianto è quella di valutare, non soltanto le differenze negli accrescimenti e nella produzione dei diversi cloni, ma anche gli effetti di una diversificazione della produzione, potendo ottenere sia biomassa per energia a cicli brevi/medi, sia legname da opera di maggiore qualità e valore commerciale, su periodi più lunghi tipici dell'arboricoltura da legno.

SCHEMA SPERIMENTALE



- Monitoraggio e caratterizzazione dendrometrica delle piantagioni energetiche

a) Piantagioni energetiche presso il CREA-IT di Monterotondo.

È stato effettuato il monitoraggio delle nuove piantagioni energetiche SRF e MRF realizzate nel 2017. Relativamente agli impianti realizzati presso l'azienda del CREA-IT di Monterotondo, sono stati effettuati, nel mese di giugno 2019, i rilievi dendrometrici relativi a diametri, altezze e fallanze. Come già riportato nella relazione relativa al secondo anno del progetto, a causa delle avverse condizioni climatiche dell'anno d'impianto e successivo, sono ulteriormente aumentate le

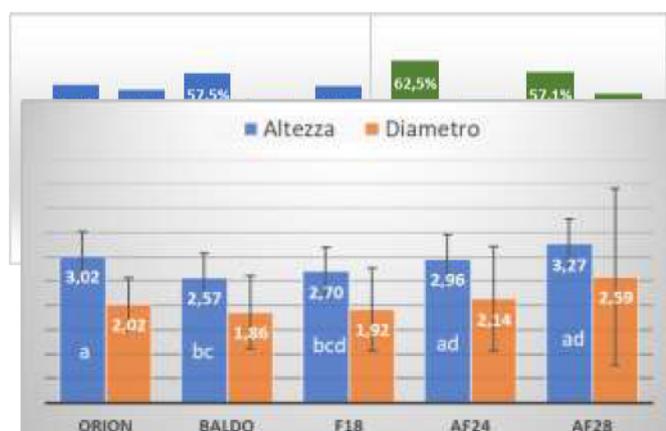


Figura 2. Diametri e altezze medie (\pm dev.st.), ripartiti per cloni del piantagione SRF di pino del 2017.

fallanze negli impianti sperimentali. Relativamente agli impianti SRF di pioppo, tali fallanze raggiungendo una media complessiva tra i cloni di pioppo pari al 50,4%, mentre, nell'impianto MRF di eucalipto tale percentuale ha raggiunto il 52,3% (Figura 1).

I rilievi dendrometrici effettuati sulle piantagioni di pioppo SRF realizzate nel 2017, hanno evidenziato differenze in alcuni casi statisticamente significative tra i diversi cloni nelle altezze, mentre non sono state evidenziate differenze nell'accrescimento dei diametri (Figura 2). L'elaborazione statistica effettuata con il software PAST3 ha evidenziato, tramite il test di normalità, distribuzioni non normali delle altezze per i cloni Orion e AF28. Il successivo test di Kruskal-Wallis ha individuato differenze statisticamente significative ($p < 0,05$). Il post hoc test di Mann-Whitney ha indicato differenze significative tra il clone Orion e i cloni Baldo e AF18; Baldo differisce oltre che da Orion anche da AF24 e AF28. Per i diametri, il test di normalità ha indicato distribuzioni non normali, ad eccezione del clone Baldo. Il test di Kruskal-Wallis non ha rilevato differenze statisticamente significative per questo parametro ($p > 0,05$).

Per quanto riguarda l'impianto di eucalipto realizzato nel 2017, l'elaborazione statistica dei dati dendrometrici rilevati, non evidenziano differenze statisticamente significative nei diametri e nelle altezze dei diversi cloni (Figura 3).

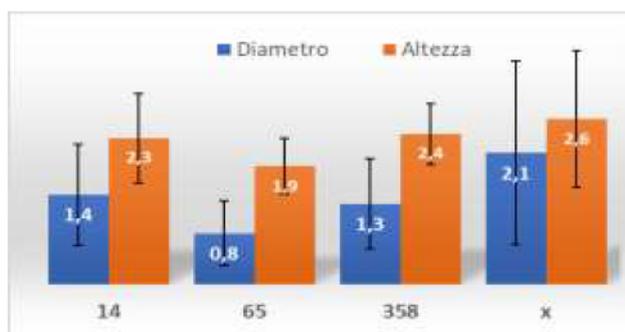


Figura 3. Diametri e altezze medie (\pm dev.st.), ripartiti per cloni dell'impianto di eucalipto.

b) Piantagioni energetiche presso il CREA-FL di Roma Casalotti.

Relativamente alla piantagione di pioppo realizzata nel 2017 presso il CREA-FL di Roma-Casalotti, i rilievi effettuati hanno evidenziato buoni risultati del giovane impianto, tenendo in considerazione le avverse condizioni climatiche verificatesi dall'anno d'impianto e nel successivo. Dai rilievi effettuati nel febbraio 2019, è stato confermato un elevato attecchimento delle giovani piantine. Per quanto riguarda diametri ed altezze, si è voluto effettuare una elaborazione statistica tenendo conto anche dei cloni posti ai bordi delle parcelle sperimentali. Dal punto di vista statistico, non sono state evidenziate differenze, nelle medie dei diametri e delle altezze, tra i due cloni esaminati (Clone 0 e Clone 1). Si evidenziano, invece, differenze statisticamente significative tra i suddetti cloni posti nelle parcelle interne alla piantagione,

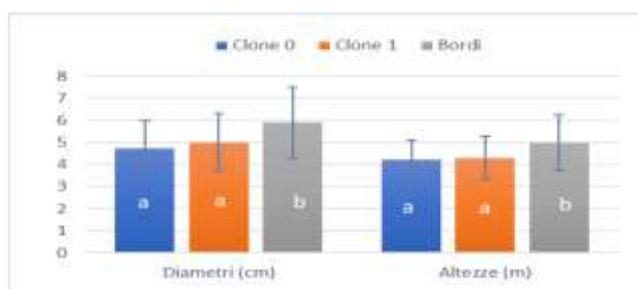


Figura 4. Diametri e altezze medie (\pm dev.st.), impianto di pioppo del 2017, presso il CREA-FL di Roma-Casalotti.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

rispetto ai cloni posti ai bordi della piantagione, a dimostrazione del significativo effetto di bordo esercitato sui cloni. Infatti, a fronte di diametri di 4,76 ($\pm 1,23$) e di 5,00 ($\pm 1,31$) ed altezze di 4,22 ($\pm 0,87$) e 4,30 ($\pm 0,96$), rispettivamente per il clone 0 e il clone 1, per quanto riguarda i cloni posti all'esterno, sono stati raggiunti diametri medi di 5,89 ($\pm 1,61$) ed altezze medie di 4,99 ($\pm 1,24$).

D.5.1.2. Output dell'attività della Linea 2 (7°-8°-9° quadrimestre)

È in fase di elaborazione un articolo scientifico sulla tematica: Sostenibilità economica, energetica e ambientale di una microfiliera da biomasse legnose.

D.5.1.3. Output dell'attività della Linea 3 (7°-8°-9° quadrimestre).

È in fase di elaborazione un articolo scientifico sulla tematica: Recupero della biomassa agroforestale in prossimità territoriale di una filiera energetica su piccola scala.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Si ribadisce la difficoltà riscontrata soprattutto per la prima linea di attività, relativamente alla costituzione di nuove piantagioni energetiche SRF e MRF, per le ridotte disponibilità operative aziendali, sia in termini di personale per eseguire i lavori di impianto e manutenzione delle colture, sia in termini di superficie disponibile da destinare a questa tipologia di coltura. Le difficoltà sono aumentate ulteriormente a causa delle avverse condizioni climatiche riscontrate sin dal 2017, soprattutto in riferimento alle sempre più elevate temperature estive e stagioni siccitose che rendono indispensabili e sempre più frequenti gli interventi irrigui estivi di soccorso sui nuovi impianti, ciò comportando un forte aggravio nelle richieste di manodopera. Rispetto a quanto inizialmente pianificato, la superficie complessiva delle nuove piantagioni dedicate da realizzare, risulta pertanto notevolmente ridimensionata.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Non si prevedono attività integrative o aggiuntive

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

1. Organizzazione e realizzazione, in collaborazione con CREA-FL, Task 2.4, insieme alle Task 5.1, 5.2 e 5.6, della prima "Giornata Dimostrativa del Progetto AGROENER: Biomasse



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

forestali: da residuo a risorsa”, presso l’azienda Ovile del CREA di Roma-Casalotti, il giorno 10 ottobre 2018. Tutta la documentazione relativa alle presentazioni mostrate nel convegno, il resoconto della giornata dimostrativa, le caratteristiche delle macchine impiegate e la documentazione fotografica sono state pubblicate sui siti internet di Agroener: *agroener.crea.gov.it*.

2. Partecipazione al IV Congresso Nazionale di Selvicoltura “Il bosco: bene indispensabile per un presente vivibile e un futuro possibile”. Intervento orale di Giuseppe Pignatti, Stefano Verani e Giulio Sperandio “Valorizzazione delle biomasse forestali residuali”, sessione 10. Torino, 5-9 novembre 2018.
3. Organizzazione e realizzazione, in collaborazione con le Task 5.1, 5.2, 5.6 e 2.5, della seconda “Giornata Dimostrativa del Progetto AGROENER: Innovazioni per la filiera biomasse e l’efficientamento energetico in agricoltura”, presso il CREA di Monterotondo, il 26 giugno 2019. La dimostrazione in campo è stata distinta in due parti: settore biomasse e settore efficientamento. Per il settore biomasse, relativamente alla Task 5.1, è stato mostrato all’opera, sull’impianto esistente di pioppo SRF fuori turno, un cantiere forestali con alto livello di meccanizzazione: un escavatore con cesoia per l’abbattimento e l’acatastamento delle piante, un trattore forestale portante forwarder, per l’esbosco fino al piazzale di lavorazione e un potente cippatore forestale per la sminuzzatura delle piante accatastate.

6. Elenco pubblicazioni

- Civitarese V., Assirelli A., Sperandio G., Caracciolo G., Faugno S., Sannino M., Crimaldi M. 2018. Biomass quality of different species after storage. In: 26th European Biomass Conference and Exhibition, Copenhagen, 14-18 maggio. Pp. 342-345.
- Civitarese V., Faugno S., Picchio R., Assirelli A., Sperandio G., Saulino L., Crimaldi M., Sannino M. 2018. Production of selected short-rotation wood crop species and quality of obtained biomass. *European Journal of Forest Research*, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1122-3>.
- Fedrizzi M., Antonucci F., Sperandio G., Figorilli S., Pallottino F., Costa C. 2019. An Artificial Neural Network model to predict the effective work time of different agricultural field shapes. *Spanish Journal of Agricultural Research (SJAR)*, Vol. 17, Issue 1, e0201. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13366>.



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- Gallo P., Sperandio G., Imperi G., Guglielmelli T., Biocca M., 2018. Cost and productivity of urban trees maintaining by climbing arborists. 1° World Forum on Urban Forests (28 November - 01 December 2018, Mantova, Italy). Book of abstracts, 177.
- Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2019. Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi. In corso di stampa sul numero speciale dell'Italia Forestale e Montana "Atti del IV Congresso Nazionale di Selvicoltura".
- Sperandio G. 2018. Caso studio: Modello di microfiliera energetica. Box 3 di approfondimento. In: Biomasse legnose. Microfiliera di autoconsumo da biomasse legnose. A cura di Raoul Romano e Manuela Plotino. CREA-MIPAAF, ROMA. Pp. 136-143 [ISBN 9788899595845].



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);
Linea 3: valutazione della qualità e delle potenzialità di produzione del pellet (Referente Vincenzo Civitarese); Linea 4: valutazione della sostenibilità economica ed energetica (Referente Giulio Sperandio).

Abstract

Le attività svolte nel corso della terza annualità del progetto hanno riguardato la caratterizzazione, il recupero, lo stoccaggio, la disidratazione, la cippatura, la raffinazione e la pellettizzazione delle biomasse provenienti dalle utilizzazioni forestali e da piantagioni di pioppo di 9 anni. La caratterizzazione qualitativa del pellet e le relative valutazioni tecnico/economiche, invece, hanno interessato anche il materiale prodotto nel corso della precedente annualità (pioppo a ciclo breve e medio). I pellet prodotti soddisfano molti dei parametri richiesti dalla normativa di riferimento. Alcune criticità tuttavia, sono state riscontrate in funzione della tipologia di biomassa: eccessivo contenuto in ceneri e bassa densità apparente per il pioppo; eccessivo contenuto in ceneri e basso potere calorifico per gli eucalipti; bassa densità apparente e non sufficiente durabilità per i pini. Per quanto riguarda la valutazione dei costi della produzione del pellet, considerando le fasi di essiccazione, raffinazione, pellettizzazione, raffreddamento, ammortamento dei capitali investiti, possiamo affermare, in linea generale, che tale costo di produzione per unità di prodotto, sia inversamente proporzionale alle rese produttive dell'impianto, le quali sono correlate alle dimensioni e, quindi, al livello di investimento iniziale.

1. Attività svolta

Le attività svolte nel corso del terzo anno del progetto hanno interessato le linee di ricerca "2 - Pellettizzazione delle biomasse di diversa origine", "3 - valutazione della qualità e delle potenzialità di produzione del pellet" e "4 - valutazione della sostenibilità economica ed energetica"



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

1 Recupero e stoccaggio della biomassa trinciata origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni da impiegare nel processo di pellettizzazione [linea 2].

In questo studio sono stati utilizzati topi residuali provenienti da diradamenti in cedui di eucalipto e pinete di pino eldarica e pino radiata al diciottesimo anno di età e pioppo SRF al nono anno di vegetazione. Per quanto concerne il pioppo i rilievi dendrometrici hanno interessato 12 piante campione rilevando il diametro basale, l'altezza totale, il peso delle piante intere comprensive di rami e cimoli, il numero dei rami, la lunghezza e il diametro di inserzione dei rami sul fusto, il peso dei rami e dei cimoli. La biomassa forestale è stata caratterizzata misurando i diametri e le lunghezze dei topi residuali disponibili per la sperimentazione.

2 Disidratazione della biomassa trinciata di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni da impiegare nel processo di pellettizzazione [linea 2].

Il materiale, suddiviso per tipologia e frazione considerata è stato stoccato in un piazzale per un totale di 59 giorni. Durante tale periodo sono stati rilevati, tramite centralina meteorologica aziendale, i principali dati meteorologici. La biomassa, una volta cippata, è stata posizionata sotto tettoia all'interno di nove differenti bins. Il processo di disidratazione del materiale ridotto è stato favorito esponendolo periodicamente al sole. Il contenuto di umidità della biomassa è stato monitorato dalla data di abbattimento a quella finale di pellettizzazione rilevandone i parametri in 4 intervalli temporali

3 Raffinatura della biomassa trinciata di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni da impiegare nel processo di pellettizzazione [linea 2].

Analogamente a quanto avvenuto per il pioppo di 3 e 6 anni la biomassa disidratata in campo è stata sottoposta ai necessari processi di sminuzzamento impiegando rispettivamente una cippatrice forestale a disco Farmi Forest CH260 con griglia da 60 mm e un biotrituratore BL-100 con griglia da 6 mm. Parte del materiale proveniente dal pioppo di 9 anni è stato sottoposto ad una ulteriore operazione di raffinazione, utilizzando un mulino Retsch SM100 con vaglio da 4 mm.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

4 Pelletizzazione della biomassa trinciata di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni [linea 2].

Sulla base dei prodotti pretrattati sono state realizzate le seguenti tipologie di pellet: pioppo di 9 anni pianta intera, pioppo di 9 anni solo fusto, pioppo di 9 anni ramaglie e cimali, residui forestali di eucalipto di 18 anni, residui forestali di pino radiata di 18 anni, residui forestali di pino eldarica di 18 anni, eucalipto di 6 anni MRF.

5 Caratterizzazione qualitativa del pellet ottenuto da biomasse di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 3, 6 e 9 anni [linea 3].

La caratterizzazione dei campioni ha riguardato la determinazione del contenuto di umidità, della composizione elementare, del contenuto di ceneri, del potere calorifico e del contenuto di metalli pesanti. Il materiale ottenuto dal pioppo è stato analizzato presso il Laboratorio per le attività sperimentali sull'energia rinnovabile da biomassa (LAS-ER-B) del CREA-IT. Il materiale ottenuto dai residui forestali è stato esaminato presso il Laboratorio del DAFNE dell'Università degli studi della Tuscia di Viterbo.

6 Valutazione tecnica ed economica dei processi di filiera inerenti all'utilizzo di biomasse di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni. Bilancio energetico dei processi inerenti il processo di pelletizzazione di biomasse di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni [linea 4].

L'analisi dei costi del processo di pelletizzazione è stata effettuata tenendo in considerazione quanto riscontrato in bibliografia sull'argomento, in relazione ad impianti di pelletizzazione di diversa capacità produttiva. In considerazione di impianti di piccola capacità produttiva, sviluppati in contesti di piccole filiere energetiche, per quanto attiene ai costi della materia prima in entrata (cippato) si fa riferimento ai risultati elaborati in riferimento ai quattro casi esaminati di produzione del cippato da piantagioni SRF di pioppo e dal recupero di cimali e ramaglie dell'utilizzazione di un bosco ceduo.

2. Risultati e deliverable



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

D.5.2.2 - 8° quadrimestre (09/10/2018 - 09/02/2019): Recupero e stoccaggio della biomassa trinciata origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni da impiegare nel processo di pellettizzazione [linea 2]. Il diametro, l'altezza e il peso medio delle piante di pioppo 9 anni (R9F9) risultano pari rispettivamente a 21,39 cm (dev. st. $\pm 3,46$), 17,70 m (dev. st. $\pm 3,78$) e 183,92 kg (dev. st. $\pm 73,82$), con valori minimi e massimi compresi tra 15,50 e 26,70 cm per i diametri, 11 e 22 m per le altezze e 74,26 e 310,15 kg per il peso. Le ramaglie e i cimali rappresentano il 20,36% della biomassa totale. La lunghezza dei cimali è risultata, invece, pari a 3,89 m a partire da un diametro indicativo di circa 5 cm. Relativamente alla biomassa di origine forestale i topi si caratterizzavano per diametro e lunghezza medi pari a 11,96 cm e 1,05 m per l'eucalipto, 18,48 cm e 1,09 m per il pino radiata, 16,5 cm e 1,02 m per il pino eldarica.

D.5.2.2 - 8° quadrimestre (09/10/2018 - 09/02/2019): Disidratazione della biomassa trinciata di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni da impiegare nel processo di pellettizzazione [linea 2]. Al momento dell'abbattimento le piante si caratterizzavano per un contenuto medio di umidità del 54,74% (T0) raggiungendo, dopo 2 mesi di stoccaggio, un valore medio del 48,96% (T1). Nel periodo successivo l'esposizione al sole ha favorito una considerevole riduzione del tenore idrico raggiungendo valori medi di poco superiori al 11% (T2). Confrontando i valori di umidità prima e dopo il passaggio nel sistema rulli trafila è stato inoltre possibile quantificare la riduzione direttamente riconducibile al processo di addensamento, risultata compresa tra 7,46% e 18,53%. Il T test evidenzia, ad eccezione delle ramaglie e cimali di pioppo di 9 anni, differenze statisticamente significative nel contenuto di umidità prima e dopo la pellettizzazione.

D.5.2.2 - 8° quadrimestre (09/10/2018 - 09/02/2019): Raffinatura della biomassa trinciata di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni da impiegare nel processo di pellettizzazione [linea 2]. Relativamente al pioppo sono state misurate e confrontate le masse volumiche apparenti dei vari prodotti ottenuti dalla cippatura e dalla duplice raffinazione. I valori rilevati risultano compresi tra 220 e 230 kg/m³ per il cippato, 145 e 197 kg/m³ per il raffinato di 6 mm, 190 e 224 kg/m³ per il raffinato di 4 mm. L'analisi statistica evidenzia differenze significative per il materiale raffinato.



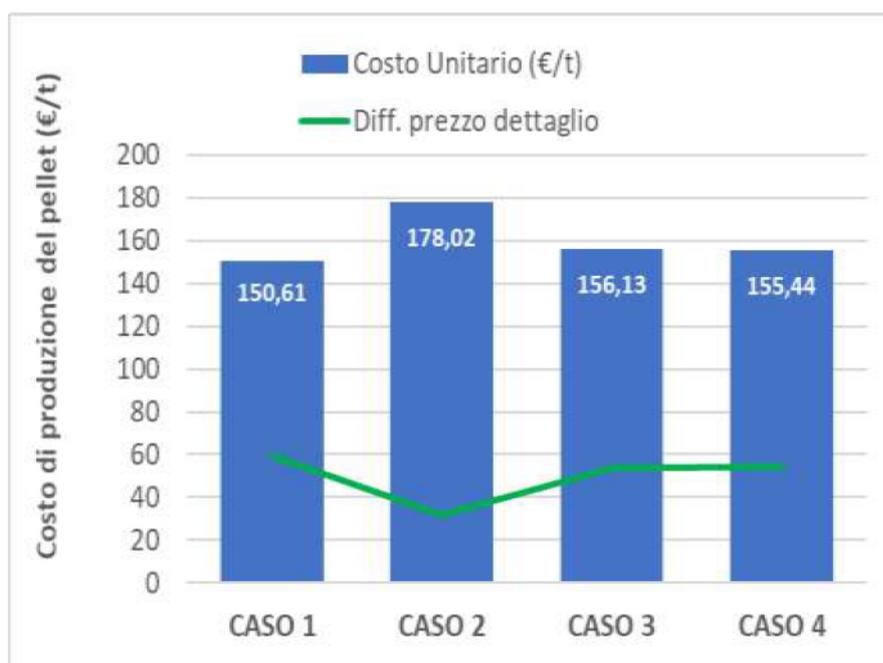
Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

D.5.2.2 - D.5.2.3: 7° e 8° quadrimestre (09/06/2018 - 09/02/2019): Pellettizzazione della biomassa e caratterizzazione qualitativa del pellet ottenuto da biomasse di origine forestale e da piantagioni di pioppo a ciclo breve (3 anni), medio (6 anni) e lungo (9 anni) [linea 2 e 3]. Relativamente al pioppo tutti i prodotti soddisfano i requisiti della classe A1 per diametro, lunghezza, contenuto di umidità, punto di fusione delle ceneri, PCI, N, S e metalli pesanti. Per quanto riguarda le ceneri, è possibile rispettare solo i parametri di classe B e non per tutti i tipi di materiali utilizzati, escludendo il materiale di 3 anni e le piante intere di 9 anni. Per quanto riguarda la durabilità meccanica è possibile rispettare i parametri di classe A1 per pioppo intero di 3 e 6 anni e A2 per pioppo di 3 e 6 anni senza rami. Infine, nessuna delle tesi analizzate è in grado di soddisfare la densità apparente nelle tre classi di riferimento. Relativamente al materiale di origine forestale, il pellet di Eucalipto MRF sembra fornire i migliori risultati pur rilevando criticità sul contenuto in ceneri e PCI. I pellet provenienti dalle piantagioni del genere Pinus presentano numerose similitudini, evidenziando carenze significative a livello di durabilità meccanica e densità bulk, probabilmente strettamente legate alla potenza della pellettatrice.

D.5.2.4 - 9° quadrimestre (09/02/2019 - 09/06/2019): Valutazione tecnica ed economica dei processi di filiera inerenti all'utilizzo di biomasse di origine forestale e da piantagioni di pioppo di 9 anni [linea 4]. Come evidenziato in Figura 1, il costo medio di produzione del pellet, in riferimento ad un impianto da 500 kg/h, si attesta intorno a 160 €/t. Il costo più elevato è riferito al caso 2 (178 €/t), cioè quando la raccolta e la produzione di cippato viene effettuata con minima meccanizzazione, con mezzi cioè disponibili in azienda. Il costo più basso si realizza nel caso 1, cioè con la raccolta di biomassa con falcia-trincia-caricatrice in piantagioni con turni di taglio di 3 anni (151 €/t).

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Figura 1. Costi di produzione del pellet in un impianto con capacità di 500 kg/h in relazione alla tipologia di materia prima impiegata e margine di profitto, rispetto al prezzo del pellet al dettaglio, considerando un prezzo di vendita del pellet in classe B di 210 €/t.



3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

A distanza di 36 mesi dall'inizio del progetto si riscontra la difficoltà nel reperire potature di nocciolati non biologici dato l'elevato tasso di conversione dei nocciolati a conduzione tradizionale. Per tale ragione, visto anche l'eventualità prevista nel progetto nell'inserire altre colture nel circuito del processo di pellettizzazione, si è deciso di impiegare, in sostituzione del nocciolato tradizionale il materiale proveniente dalle potature degli oliveti, coltura di grande importanza per il territorio e l'economia locale

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

A distanza di 36 mesi dall'inizio del progetto non si ravvisa la necessità di attività integrative in quanto la soluzione adottata al punto 3 era già indicata nel progetto (punto d – pagina 299).



5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

In data 10/10/2018 è stata organizzata la giornata dimostrativa “Biomassa forestale: da residuo a risorsa”, presso la sede del CREA-FL di Roma. L'evento è stato organizzato dai dottori G. Pignatti, S. Verani, G. Sperandio, V. Civitarese e A. Acampora nell'ambito del progetto AGROENER, coinvolgendo le Task 2.4, 5.1, 5.2 e 5.6. Il programma prevedeva sia presentazioni orali sia prove dimostrative in campo.

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
- Civitarese V., Sperandio G., Acampora A., Gallucci F., Carnevale M. 2019. Pellet da pioppo a ciclo breve. Qualità del prodotto ottenuto. *Sherwood Foreste ed alberi oggi* 241: 17-19
- Civitarese V., Sperandio G., Acampora A., Tomasone R., Caracciolo G., Assirelli A., Gallucci F. 2019. Poplar from SRF for pellet production. Characterization of the material of 3 and 6 years. 27th European Biomass Conference and Exhibition. 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.



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, le attività sono consistite nell'individuazione e testing di tecnologie agro-meccaniche adatte al recupero dei residui di trebbiatura di cereali. La disponibilità di questi macchinari, essendo ancora limitata in Italia, ha richiesto uno studio allargato all'Europa, prevedendo lo svolgimento di ricerche di mercato e test di raccolta con le diverse soluzioni disponibili. Le attività svolte hanno quindi permesso di acquisire e trasferire le conoscenze necessarie all'Italia per lo sfruttamento dei residui colturali succitati, fornendo indicazioni importanti sulle metodologie di raccolta più efficienti.

La Linea 3 ha terminato il secondo anno di attività previsto dal programma. È stata effettuata una seconda raccolta delle piante allevate in contenitore su suolo contaminato. Per metà delle piante si è proceduto al prelievo della parte radicale. Sulle piante ancora in allevamento sono proseguite le



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

osservazioni morfologiche e fisiologiche. Durante l'estate 2018 è stata effettuata una prova di contaminazione sulle piante allevate in semi-idroponica.

Per quanto riguarda la Linea 4, si è concluso anche il secondo anno di valutazione sulle bucce raccolte da linee diversificate per il colore della bacca. La caratterizzazione delle bucce raccolte è iniziata e terminerà in autunno.

1. Attività svolta

Relativamente alla linea 1, sono stati elaborati i dati raccolti durante le attività sperimentali realizzate nel secondo anno di attività:

- Valutazione del sistema per raccolta della pula denominato "Combi" della ditta svedese Rekordverken". Agosto 2017, Uppsala (Svezia)
- Valutazione del sistema per la raccolta dei tutoli di mais "Harcob" della ditta italiana Racca. Settembre 2017, Marene (CN).

I risultati sono stati pubblicati all'interno dello Speciale Sherwood 2019 e presentati alla European Bioamss Conference 2018.

Nel periodo di riferimento è stato testato un'altra tecnologia per la raccolta della pula dei cereali, commercializzato dalla ditta francese Thievin. L'attività è stata realizzata in Francia a Luglio 2018. Analogamente al sistema Rekordverken, la pula e gli altri residui fini di trebbiatura viene scaricata al di sopra dell'andana di paglia, che viene successivamente raccolta dall'imbaltatrice. Il sistema francese si è dimostrato più efficace, ma i risultati ottenuti essendo legati alle diverse condizioni operative richiederanno ulteriori verifiche, in programma a luglio ed agosto 2019.

Linea 3. Dopo il primo taglio nel gennaio 2018, è proseguita l'attività di monitoraggio dei parametri morfologici (altezza e diametro del fusto principale, numero di germogli, contenuto in clorofilla) eseguiti con cadenza mensile. Al termine del secondo anno (febbraio 2019) è stato effettuato il secondo taglio. La biomassa aerea prodotta è stata raccolta da tutte le 24 piante (sei per trattamento). I campioni di foglie e fusto prelevati verranno caratterizzati per le caratteristiche energetiche. Il monitoraggio sulle piante rimanenti è proseguito, come da programma, fino alla data corrente. In occasione della raccolta di febbraio, su tre piante per trattamento (12 piante in totale) si è proceduto anche al prelievo della biomassa radicale, valutando il peso, la conformazione dell'apparato e preparando i campioni per la caratterizzazione energetica. Per quanto riguarda la prova in semi-idroponica, le talee trapiantate ad ottobre 2017 sono state allevate fino a giugno 2018 quando sono state sottoposte a contaminazione con rame. Dopo la contaminazione sono stati rilevati i principali caratteri morfologici e le caratteristiche fisiologiche relative all'efficienza fotosintetica.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Linea 4. A marzo ed aprile 2018 si è proceduto alla semina dei genotipi oggetto di studio; due linee normali a bacca rossa (*wt1*, *wt2*), quattro linee mutanti per la via biosintetica dei carotenoidi (*r*, *BMoB*, *t*, *og^c*), tre linee mutanti per la via biosintetica dei flavonoidi (*pd*, *y*, *Aft_atv*), una linea mutante per tutti i pigmenti (*hp-2*), una linea doppio mutante con maggiore contenuto in clorofilla (*gf_hp-2*). Il trapianto è avvenuto nel mese di aprile in tunnel freddo e nel mese di maggio in pieno campo. In tunnel sono stati allevati tutti i genotipi (8 piante per linea), mentre in pieno campo sono stati trapiantati 4 degli 11 genotipi a confronto (20 piante per linea). La raccolta delle bacche e l'estrazione delle bucce è stata effettuata nel mese di luglio (piante in tunnel) e in agosto (piante in pieno campo). Le bucce estratte sono state conservate a -20°C prima della successiva caratterizzazione. Al momento è stata conclusa solo la determinazione dei carotenoidi (licopene e β -carotene) mediante HPLC. Nei prossimi mesi è previsto il completamento delle analisi sulle sostanze bioattive (polifenoli e antocianine) e l'esecuzione delle determinazioni energetiche. Parte delle bucce di una linea normale a bacca rossa sono state impiegate per prove di metanazione effettuate in collaborazione con la dott.ssa Chiariotti (CREA-ZA) nell'ambito della Task 3.1 (Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica).

2. Risultati e deliverable

Linea 1

Relativamente all'esperienza svedese, dove è stata valutata l'efficacia del sistema Rekordeken per la raccolta della pula, la caratterizzazione pre-raccolta, ha evidenziato che la biomassa totale per ettaro era uguale a 13,5 tonnellate, di cui il 50,7% costituita da seme (6,8 t/ha), il 36,8 % da paglia (5 t/ha) e il 12,5 % da pula (1,7 t/ha). Quest'ultime comprensive anche del rachide, che rappresentava circa il 7% della pula. La mietitrebbia ha mostrato buone capacità, con assenza di differenze statisticamente significative tra le prestazioni registrate nelle unità sperimentali A (paglia + pula in andana) e B (paglia in andana).

Tabella 1: prestazioni della mietitrebbia con sistema Rekorveken

Mietitrebbia: FENDT 9490X				
Plot	Capacità effettiva	Capacità operativa	Rendimento operativo	Cosumo combustibile
	ha/h	ha/h	%	l/h
A1	4,7	2,9	62%	10
B1	4,5	2,7	61%	
B2	5,6	3,3	59%	10,6
A2	5,7	3,4	59%	10



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

B3	5,8	3,2	56%	9,7
A3	4,7	3,0	65%	

Tabella 2 – prestazioni della trattrice New Holland T6.175 abbinata a rotopressa New Holland 125 Combi

Trattore New Holland T6.175 abbinato a rotopressa New Holland roll baler 125 Combi				
Plot	Capacità effettiva	Capacità operativa	Rendimento operativo	Produttività oraria
	ha/h	ha/h	%	t/h
A1	4,4	1,5	35%	4,01
B1	4,4	2,0	45%	5,69
B2	3,8	1,1	29%	3,29
A2	3,8	1,8	49%	4,27
B3	3,9	2,1	53%	5,17
A3	3,2	1,4	44%	3,23

La fase di imballatura ha evidenziato un rendimento operativo basso, dovuto principalmente ai ripetuti ingolfamenti della macchina. Si ritiene che questo dato sia dovuto al fatto che l'imballatrice operava su un prodotto ottenuto da mietitrebbia ibrida, che presenta caratteristiche diverse rispetto a quello prodotto da mietitrebbia tradizionale. Difatti il sistema ibrido, esercitando un'azione più energica sulla paglia, rilascia un prodotto con dimensioni minori, che possono portare a maggiori difficoltà per essere sollevato dal pick up dell'imballatrice.

Tale problematica è stata evidenziata anche dallo studio delle perdite. Per quel che riguarda le perdite fisiologiche, cioè quelle dovute all'altezza di taglio, lo studio ha rivelato che su un'altezza di taglio media di 16,2 cm, circa il 29% della paglia disponibile è rimasta in campo. Considerando quindi l'ammontare di paglia disponibile pari a 5 ton/ha, circa 1,45 ton/ha sono rimaste in campo come stoppie di grano.

Questo primo studio implica che la paglia disponibile (sostanza secca), escludendo le perdite fisiologiche, era di 3,55 t/ha. Quindi nelle unità sperimentali A, l'ammontare di biomassa potenzialmente imballabile era stato pari a 5,25 t/ha (3,55 t/ha di paglia e 1,7 t/ha di residuo di trebbiatura), mentre nelle unità sperimentali di B dove il residuo non è stato incorporato alla paglia in uscita, l'ammontare di biomassa imballabile era pari alle sole 3,55 t/ha della paglia.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Il peso delle rotoballe raccolte ha evidenziato che l'ammontare di biomassa raccolta nelle unità sperimentali A è stato pari a 2,77 t/ha (52,7% del disponibile) mentre quello raccolto nelle unità sperimentali di B è stato pari a 2,43 t/ha. L'analisi statistica ha rivelato l'esistenza di differenze statisticamente significative tra le quantità raccolte in A e quelle raccolte in B, pertanto il sistema ha permesso effettivamente di raccogliere più materiale. È pur vero che nelle unità sperimentali di B il prodotto imballato era costituito da sola paglia, pertanto, in proporzione il materiale raccolto dall'imballatrice sarebbe maggiore (circa 68% del materiale disponibile). Le perdite in entrambe i sistemi rimangono alte e ciò sottolinea la problematica già evidenziata, relativa alla raccolta della paglia derivante da mietitrebbie ibride.

Lo studio ha potuto comunque dimostrare che il sistema Combi permette effettivamente di raccogliere circa 340 kg di biomassa ad ettaro in più. Lo studio delle perdite effettuato con metodologia 2 solo nelle unità sperimentali A (dove si è testata la raccolta combinata) ha confermato quanto individuato con la metodologia 1, mostrando perdite di biomassa pari a 2,33 t/ha (figura 7), rispetto alle 5,25 t/ha disponibili. L'analisi statistica ha mostrato l'assenza di differenze tra i due metodi utilizzati, confermando quindi la validità di utilizzo per entrambi.

Lo studio ha rivelato che il sistema Combi in modalità attiva (A) ha permesso di recuperare il 14% di materiale in più rispetto alla modalità disattivata (B), ma le perdite generali del sistema ammontano a circa il 50%. I problemi principali riscontrati sono imputabili principalmente all'uso di una mietitrebbia ibrida, che producendo una paglia molto corta, rende difficoltosa la seguente fase di imballatura. La validità del sistema quindi dovrà essere verificata per mezzo di altri test, da portare a termine con mietitrebbia tradizionale.

Relativamente alla raccolta dei tutoli con il sistema Harcob, considerando la quantità totale di biomassa misurata nei plot di campionamento (1 m²), la quantità di biomassa per ettaro è stata in media 50 t, la quantità di spighe 22 t e il rapporto spiga/biomassa pari a 42,6 %.

Il valore medio della capacità operativa è risultato 2,1 ha h⁻¹, mentre i valori registrati nelle repliche variavano da 1,7 a 2,2 ha h⁻¹, mostrando una bassa variabilità. Il valore medio della resa di granella e di tutoli è stato rispettivamente di 13,6 e 2 t ha⁻¹. Le perdite di tutoli sono state mediamente 16,7%, con valori compresi tra il 14 e il 18%. Nel campo C sono stati registrati i valori più bassi di velocità di avanzamento (0,90 m s⁻¹), capacità operativa (1,7 ha h⁻¹) e produttività oraria di granella e tutoli 23,0 e 3,1 t h⁻¹ rispettivamente, ciò è attribuibile alla maggiore quantità di biomassa totale registrata nello stesso campo (55 t ha⁻¹) che ha causato la riduzione della velocità di avanzamento della macchina durante la raccolta.

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Tabella 3. Prestazioni della mietitrebbiatrice con sistema Harcob

	Velocità di avanzamento (m s ⁻¹)	Rendimento operativo (%)	Capacità operativa (ha h ⁻¹)	Produttività oraria in granella (t h ⁻¹)	Resa di granella (t ha ⁻¹)	Produttività oraria in tutoli (t h ⁻¹)	Resa dei tutoli (t ha ⁻¹)	Perdite di tutoli (%)
CAMPO A	1,03	65,6	2,2	31,4	14,1	4,7	2,1	18
CAMPO B	1,00	67,8	2,2	29,4	13,2	4,6	2,1	18
CAMPO C	0,90	65,7	1,7	23,0	13,5	3,1	1,8	14
Media	0,97±0,06	66,4±1,2	2,1±0,3	27,9±4,4	13,6±0,5	4,1±0,9	2±0,2	16,7±2,3

Dalle prove condotte è stato messo in luce che il sistema Harcob, ha raccolto in media 2 t ha⁻¹ di tutoli, con una produttività oraria di 4,1 t h⁻¹. Le perdite di tutoli sono il 16,7% del raccoglibile.

Il sistema Harcob ha operato senza alcun problema, non influenzando sui tempi di raccolta della raccogliitrice, difatti anche il sistema di scarico, realizzato con un innovativo sistema a coclea, ha richiesto circa 3 minuti, permettendo lo scarico contemporaneo di tutoli e granella di mais.

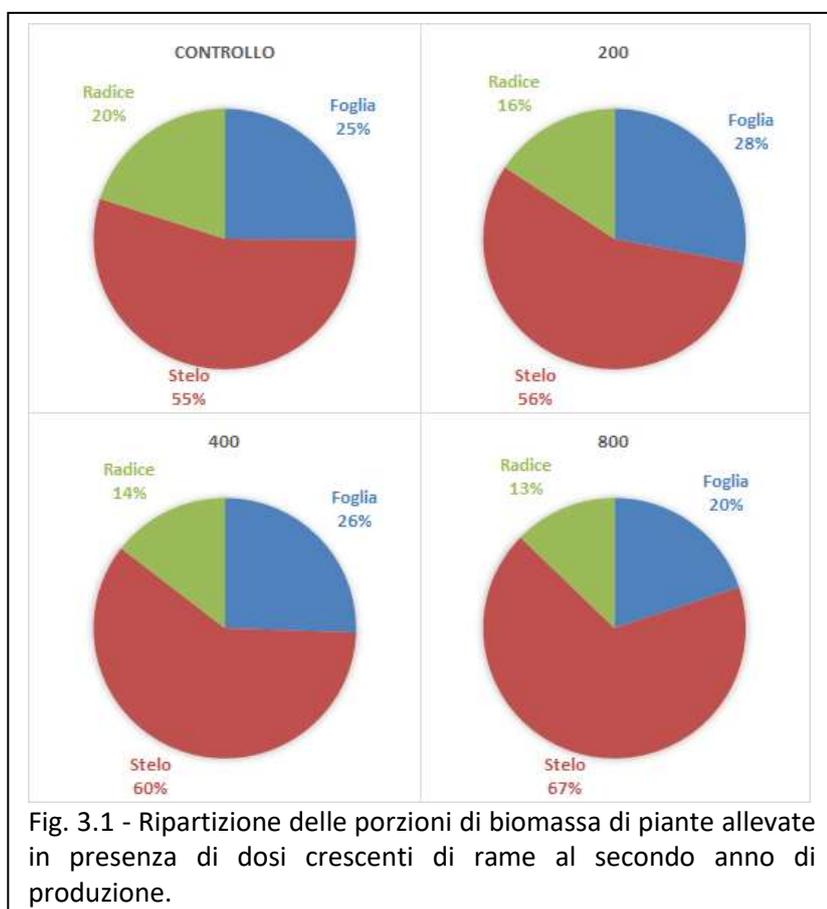
Il tutolo di mais, una volta raccolto, considerando il contenuto di umidità (49,1%) è una biomassa appropriata per alimentare un impianto per la produzione di biogas. Qualora invece sia utilizzato per la produzione di mangimi o per l'utilizzo come lettiera animale, deve essere essiccato.

Il corretto funzionamento del sistema Harcob, unica esperienza conosciuta in Europa, ha mostrato la concreta possibilità di valorizzare una risorsa importante che attualmente viene lasciata in campo, senza influire sui tempi di raccolta della granella di mais.

Linea 3

Nei mesi di ottobre del 2017, e gennaio, aprile e luglio del 2018 si è proceduto alla caratterizzazione morfologica ed energetica delle piante in prova al fine di avere un riscontro a 3, 6, 9 e 12 mesi dal trattamento. In queste date sono state analizzate le foglie, mentre a 6 e 12 mesi sono stati considerati anche gli steli ed il terreno. Tutti i risultati del periodo temporale indicato sono stati riportati nel secondo deliverable della linea 3 (D.5.3.8 - Relazione sull'efficienza produttiva di *Arundo* in presenza di elementi contaminanti e delle dinamiche di accumulo nei tessuti – secondo anno) e consegnato, come previsto dal programma, al termine dell'ottavo quadrimestre del progetto

(gennaio 2019). Dopo il monitoraggio trimestrale effettuato nel primo anno, nel mese di febbraio 2019 è stata effettuata la seconda raccolta della biomassa ed una prima raccolta delle radici su metà delle piante in prova. Rispetto ai quantitativi registrati al primo taglio (gennaio 2018) è stato osservato un incremento significativo della produzione di biomassa da 3 (controllo e 200 ppm) a più di 4 volte (800 ppm) raggiungendo valori medi variabili da 804 (controllo) a 945 (800 ppm) g m⁻² di sostanza secca. Gran parte della biomassa prodotta apparteneva al fusto, in minor misura alle foglie e tra il 20 ed il 13% alla porzione radicale



(fig. 3.1). È interessante notare come, con l'aumentare della concentrazione di rame, si è registrato un incremento della percentuale di biomassa prodotta dal fusto, una riduzione della percentuale di foglie ed una riduzione ancora maggiore per la proporzione di radice. L'osservazione è in accordo con quanto riportato da altri autori (Ambrosini et al., 2018; Shiyab, 2018) relativamente all'effetto negativo che hanno alti dosaggi di Cu sullo sviluppo dell'apparato radicale.

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

In collaborazione con il CNR-IRET di Montelibretti è stata allestita una prova di allevamento in semi-idroponica (mesocosmi, fig. 3.2). In questo caso, le piante di *Arundo* sono state sottoposte a due concentrazioni di rame (150 e 300 ppm). In base ai dati ottenuti, la presenza di dosi eccessive di rame ha causato un disequilibrio a livello fisiologico alterando la concentrazione ferro e zinco nelle prime fasi dopo la contaminazione. Comunque, da un punto di vista morfologico, la canna ha mostrato di tollerare bene le dosi di Cu somministrate e, in condizioni di semi-idroponica, prontamente assimilabile.



Fig. 3.2 - Piante di *Arundo* dopo il trattamento con rame in semi-idroponica.

I dati fisiologici relativi all'efficienza dei sistemi fotosintetici sembrano delineare un andamento differente rispetto ai parametri morfologici. In generale, l'esposizione delle piante di *Arundo* alle due concentrazioni di rame (150 e 300 ppm) ha determinato una riduzione del contenuto di clorofilla e dei parametri legati all'attività fotosintetica soprattutto dopo la prima settimana di trattamento. Tuttavia, a partire dalla seconda settimana successiva alla contaminazione e fino al termine dell'esperimento (28 giorni), tali parametri hanno mostrato un incremento dei loro valori determinando un parziale recupero della funzionalità dell'apparato fotosintetico e del contenuto in clorofilla più evidente nelle piante trattate con 150 ppm di rame. Sulla base dei risultati si può ipotizzare che l'esposizione ad elevate concentrazioni di rame abbia indotto nelle piante di *Arundo* disturbi nei processi fotochimici a livello cloroplastico. Tuttavia, nel corso delle successive settimane la riduzione delle differenze nei parametri analizzati tra le piante trattate e quelle di controllo ha evidenziato come i meccanismi di difesa utilizzati per dissipare l'energia in eccesso abbiano consentito alle piante di recuperare almeno parzialmente la loro funzionalità fotosintetica.

Linea 4.

Nel secondo anno di allevamento in tunnel freddo sono state raccolte 504 bacche corrispondenti a 31 kg di prodotto per una produzione complessiva in bucce di 3.49 kg (resa media in buccia 11.1%). L'analisi dei dati relativi alle principali variabili rilevate nei due anni ha messo in evidenza un notevole effetto dell'anno, mentre il genotipo ha influenzato i gradi Brix ed il numero di semi per bacca e l'interazione anno x genotipo solo il numero di semi (tab. 4.1).

Tab. 4.1 - Analisi della varianza relativa ai principali caratteri rilevati nei due anni di sperimentazione

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

	Fonte di variazione					
	Anno		Genotipo		Anno x genotipo	
	F	P	F	P	F	P
No. bacche	18.29	<0.0001	0.479	0.872	0.505	0.854
Produzione bacche	15.25	<0.001	0.922	0.526	0.858	0.575
Produzione bucce	8.56	<0.01	0.261	0.978	0.62	0.767
Brix°	41.79	<0.0001	3.314	0.011	0.852	0.579
Num. semi per bacca	41.64	<0.0001	2.609	0.034	2.652	0.031

Relativamente alla resa in bucce, la differenza tra i genotipi non è risultata significativa ed è oscillata dall'8.1% della linea *r* al 15.6% della linea *gf hp-2* (fig. 4.1a). Per quanto riguarda l'attività di campo, per le quattro linee interessate (*wt2*, *Aft/atv*, *y*, *t*) sono state effettuate due raccolte durante la prima metà di agosto. Complessivamente sono state raccolte 1042 bacche per un totale di 58.3 kg di produzione. Nonostante il peso medio delle bacche fosse molto differente ($F=31.92$, $P=0.003$) la resa in buccia è risultata pressoché simile, compresa tra l'8.8 e il 12.3% senza una differenziazione statistica rispetto ai valori rilevati per le bacche allevate in tunnel freddo (fig. 4.1b).

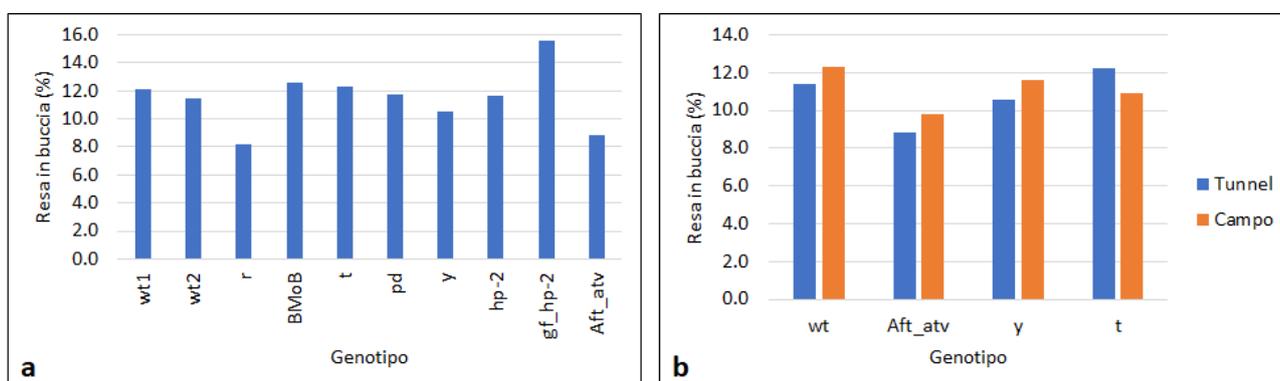


Fig. 4.1 - (a) Resa in buccia delle linee di pomodoro allevate in tunnel freddo; (b) confronto tra i valori osservati per le linee allevate in campo e in tunnel freddo.

Il contenuto in carotenoidi totali nelle bucce ha rispecchiato abbastanza puntualmente l'effetto determinato dai geni mutati presenti nelle diverse linee (per la funzione dei geni si rimanda alla relazione del primo anno). I genotipi in cui erano presenti geni "enhancer" (*hp-2*, *Aft/atv*, *ogc* e *gf/hp-2*) hanno fatto rilevare un contenuto di carotenoidi variabile da 140 a 155 mg kg⁻¹_{pf}, significativamente maggiore rispetto a quasi tutte le altre linee. Nel confronto tra sistemi di coltivazione, le bucce ottenute da piante allevate in tunnel freddo mostravano una quantità di carotenoidi totali sempre superiore alle corrispettive piante allevate in campo (fig. 4.2).

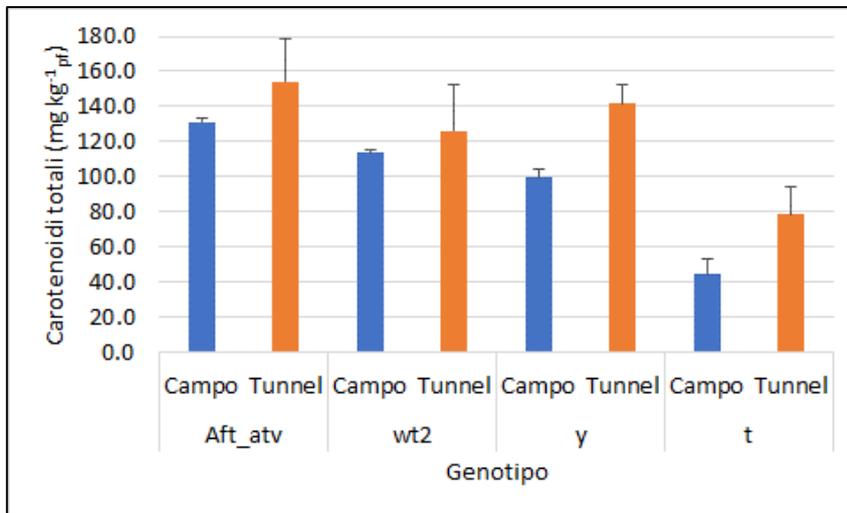


Fig. 4.2 - Confronto tra i valori di carotenoidi totali (media±DS) osservati per le linee allevate in campo e in tunnel freddo.

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

Presentazione poster al "62nd SIGA Annual Congress "Plant development and crop productivity for sustainable agriculture". 25-28 September 2018, Verona".

Presentazione poster al "27th European Biomass Conference and Exhibition. 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal".

6. Elenco pubblicazioni

Linea 1

Luigi Pari, Alessandro Suardi, Simone Bergonzoli, Antonio Scarfone, Vincenzo Alfano, Giuseppe Toscano (2019). Tutoli di mais e pula dei cereali per fini energetici. Considerazioni preliminari



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

sull'impiego energetico di residui scarsamente utilizzati. Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare. Ripensare riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi. n. 241; pp.: 41-44. ISSN: 1590-7805

Luigi Pari, Simone Bergonzoli, Vincenzo Alfano, Alessandro Suardi, Antonio Scarfone, Sandu Lazar (2019). La raccolta dei tutoli del mais con sistema Harcob. Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare. Ripensare riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi. n. 241; pp.: 37-40. ISSN: 1590-7805

Luigi Pari, Antonio Scarfone, Alessandro Suardi, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Paolo Mattei, Sandu Lazar (2019). Raccolta combinata di pula e paglia per la produzione di bioetanolo. Prime esperienze in Svezia su grano tenero. Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare. Ripensare riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi. n. 241; pp.: 32-36. ISSN: 1590-7805

Luigi Pari, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Antonio Scarfone, Alessandro Suardi, Sandu Lazar (2019). Macchine per la raccolta della pula dei cereali. Stato dell'arte. Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare. Ripensare riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi. n. 241; pp.: 25-31. ISSN: 1590-7805

Linea 3

M. Carnevale, C. Beni, F. Gallucci, E. Paris, A. Del Giudice, E. Santangelo (2019). Energy characterization of giant reed (*Arundo donax*, L.) grown on soil contaminated with copper. a preliminary study. 27th European Biomass Conference and Exhibition. 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.

Linea 4

E. Santangelo, M. Carnevale, C.A. Migliori, A. Mazzucato, M.E. Picarella, G. Dono, F. Gallucci (2019). Tomato genetic variants for peel color, a source of biocompounds and biomass for energy recovery. 27th European Biomass Conference and Exhibition. 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.

G. Dono, M.E. Picarella, E. Santangelo, C. Pons, A. Granell, A. Mazzucato (2018). Characterization of a collection of tomato lines introgressing fruit mutations in San Marzano. Poster presentato al 62nd SIGA Annual Congress "Plant development and crop productivity for sustainable agriculture". 25-28 September 2018, Verona.



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 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). Nel periodo di riferimento, si sono concluse le attività previste nella linea 2. Nella linea 2 sono terminate le attività relative alle attività di valutazione delle prestazioni di tre tipologie di pompe (pompe a lobi, a vite e centrifughe) in quattro condizioni operative.

1. Attività svolta

Nell'ambito della Linea 2, le tre diverse pompe sono state individuate in distinti impianti di biogas, campionando il digestato in modo tale da avere fluidi con caratteristiche diversificate. Per ogni tipologia di fluido sono stati analizzati solidi totali, solidi volatili, viscosità apparente, granulometria, densità, temperatura di processo e portata. Al fine di valutare come varia la viscosità apparente dei digestati, parametro ritenuto fondamentale nel dimensionamento delle condotte e delle manichette, sono state effettuate una serie di diluizioni progressive dei campioni di digestato chiarificato, prelevati nelle attività descritte in precedenza, in modo da valutare come la miscelazione con acqua di irrigazione possa agevolare l'utilizzo del digestato in manichette.



2. Risultati e deliverable

Relativamente alla Linea 2, lo scopo della ricerca, è stato quello di valutare, in primo luogo, l'effetto dell'utilizzo di diverse tipologie di pompe (a lobi, centrifughe, a vite) su diverse tipologie di fluido (digestato/liquame) e, in secondo luogo, quello di valutare la viscosità apparente su digestato chiarificato sottoposto a diluizione seriali.

Le principali indicazioni che risultano da questa ricerca sono:

- I fluidi monitorati hanno avuto un contenuto di sostanza secca compresa tra 40 e 100 g/kg e un'area specifica superficiale compresa tra circa 30 e 35 m²/Kg_{ST}, variabile in funzione della tipologia di biomassa utilizzata nell'impianto di biogas e della degradazione dei solidi volatili ottenuti nel processo di digestione anaerobica.
- Le tre tipologie di pompe (lobi, a vite, centrifuga) sono risultate idonee al pompaggio dei fluidi studiati durante l'attività di campionamento
- Diluendo con acqua di irrigazione, da 2,5 a 20 volte, le varie tipologie di digestato chiarificato hanno mostrato sempre una viscosità inferiore a 10 cP.

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

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 35 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 inizialmente 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 3 lavori su riviste internazionali e altri due sono in fase di submission.

1. Attività svolta



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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 35 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). Il prototipo di valutazione è stato presentato alla giornata dimostrativa svolta presso il CREA-IT di Monterotondo il 26 Giugno 2019.

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



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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.

Giornata dimostrativa svolta presso il CREA-IT di Monterotondo il 26 Giugno 2019.

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 3 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/>). È 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). Il prototipo di valutazione è stato presentato alla giornata dimostrativa svolta presso il CREA-IT di Monterotondo il 26 Giugno 2019.

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: Swot analysis dei sistemi di upgrading del biometano

Referente: Dr. Claudio Fabbri (CRPA)

- Linea 2.1 di attività: Swot analysis sistemi di upgrading biometano

Referente: Claudio Fabbri, Mirco Garuti - CRPA

- Linea 2.2 di attività: Valutazione degli effetti dei pretrattamenti meccanici sulla composizione delle biomasse

Referente: Claudio Fabbri, Mirco Garuti - 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



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Le attività svolte nel terzo anno riguardano la prosecuzione dell'attività di ricerca relativa alle linee 1,2,4 e 5. In particolare, sono state condotte sperimentazioni su biomasse derivate da residui agroforestali per ottenere informazioni utili sulle caratteristiche chimico-fisiche e le relative emissioni in seguito alla combustione diretta simulando la combustione in condizioni incontrollate (*open burning*) mediante l'impiego di una caldaia da 80 kW_{th} senza alcun sistema di abbattimento delle emissioni. Questo è servito da un lato, ad approfondire i risultati già ottenuti nelle attività precedenti inerenti alla correlazione tra produzione di microinquinanti organici e presenza di metalli nella biomassa, mentre dall'altro lato risulta la base per i lavori successivi di correlare la caratterizzazione della biomassa alla caratterizzazione delle emissioni al fine di valutare il potenziale emissivo. Relativamente ai sistemi di upgrading del biogas a biometano, sono stati condotti studi su diverse matrici attraverso la proposta di metodiche di upgrading innovative e ne è stata valutata l'efficacia. Nella linea 2.2 sono terminate le attività relative ai test di valutazione dei sistemi di pretrattamento di tipo meccanico installati su impianti di biogas. Sono in corso le attività previste nella linea 2.1 in cui è prevista un'analisi tecnico/economica dei sistemi di upgrading del biogas a biometano che prende in considerazione le principali tecnologie presenti sul mercato.

1. Attività svolta

Durante il terzo anno, le attività svolte relative alle linee 1, 4 e 5 si sono focalizzate sulla caratterizzazione della biomassa proveniente da residui agroforestali e le relative emissioni al camino prodotte dalla combustione diretta. In particolare, sono state condotte prove di combustione in condizioni incontrollate (*open burning*) su cippato di varie essenze, con particolare attenzione alla paglia di riso e di grano, poiché rappresentano due dei principali residui agricoli a livello globale. Partendo dalle prove preliminari condotte lo scorso anno su tali biomasse, è stata impiegata una caldaia da 80 kW_{th}, in grado di generare aria calda, priva di sistemi di abbattimento del particolato (PM), per implementare lo studio delle emissioni e per definirne dei pattern emissivi caratteristici. Sono state effettuati studi preliminari su una gran varietà di biomasse quali: potature di ulivi, vite, nocciole, susino, pesco, albicocco, agrumi, malli, noci e fondi di caffè, ovvero tutte le matrici e i residui che risultano più diffusi sul nostro territorio. Tali studi sono volti alla caratterizzazione dei parametri chimico-fisici delle matrici e sono stati condotti presso il Laboratorio Attività Sperimentali – Energia Rinnovabile da Biomassa (LAS-ER-B) del CREA-IT di Monterotondo, dove in particolare si sono valutati: umidità, potere calorifico superiore ed inferiore, contenuto in ceneri e loro punto di fusione, analisi elementare (C,H,N,S). Simulazioni di processi di gassificazione, combustione e delle relative emissioni, sono stati condotti con l'innovativa costituzione di un apparato strumentale composto da TGA – Filtro Particellare – Tubi per termodesorbimento. L'utilizzo dell'Analisi Termo-Gravimetrica (TGA) permette di generare materiale particolato e sostanze volatili utilizzando piccolissime, ma tuttavia rappresentative, quantità di biomasse. Le successive analisi tramite Microscopio a Scansione Elettronica (SEM) e Termo Desorbitore (TD), permettono di valutare le emissioni di PM e VOC. Relativamente alla linea 2, sulle tecniche di



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

upgrading del biogas a biometano, sono state condotte due importanti studi volti al miglioramento dei sistemi di upgrading e alla riduzione delle criticità degli impianti. Nel primo studio, in particolare, si è sviluppato un nuovo approccio per l'upgrading del biogas a biometano, basato sull'utilizzo di carbonato di potassio, volto a ridurre la perdita di metano. Nell'upgrade del biogas al biometano, infatti, il rilascio di off-gas (CO_2) nell'atmosfera è generalmente considerato come emissione neutra in termini di emissioni di carbonio, ma in questo passaggio può verificarsi una perdita significativa di CH_4 : considerando la pericolosità come gas serra di quest'ultimo composto, la perdita del metano può peggiorare o addirittura annullare i risparmi di CO_2 associati al biometano. La CO_2 è stata quindi rimossa attraverso una colonna di assorbimento K_2CO_3 , con assorbimento CH_4 trascurabile e successivamente è stata eseguita una valutazione della qualità del biometano per verificarne la conformità alle recenti specifiche nazionali ed europee. Il secondo studio condotto ha riguardato la conversione in biometano dei fanghi di depurazione negli impianti di trattamento delle acque reflue (WWTP). Un impianto prototipo è stato monitorato nel Nord Italia, basato sull'adsorbimento ad oscillazione sottovuoto (vacuum swing adsorption - VSA) su zeolite sintetica 13x. La tecnica proposta è abbastanza comune per altri tipi di biomasse, ma risulta innovativa per questa. Misure di ingresso di biogas, uscita di biometano e gas di scarico sono stati eseguiti tra cui CH_4 , CO_2 , CO , H_2 , O_2 , N_2 , HCl , HF , NH_3 , H_2S e composti organici volatili (COV). Per quanto riguarda la linea 2.2 sono state eseguiti campionamenti presso impianti di biogas dotati di un sistema di pretrattamento meccanico delle biomasse o del digestato (mulino, disgregatori frantumatori a catene, estrusore, bioacceleratori a impatto, cavitazione). Presso CRPA Lab sono state eseguite le valutazioni delle biomasse o del digestante prima e dopo il pretrattamento. La determinazione del Potenziale Biochimico di Metano (BMP) ha consentito di valutare sia la velocità di produzione di metano che la degradabilità dei solidi volatili; è stata determinata la distribuzione granulometrica delle biomasse prima e dopo il pretrattamento; sono state valutate la conducibilità elettrica (CE) e la determinazione del COD (Chemical Oxygen Demand) delle biomasse prima e dopo il pretrattamento. I tessuti vegetali sono stati osservati, presso il laboratorio LAS-ER-B (Laboratorio Attività Sperimentali Energia Rinnovabile da Biomassa) del CREA-ING, mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) prima e dopo ogni metodo di pretrattamento.

2. Risultati e deliverable

Per quanto riguarda le linee 1, 4 e 5, i risultati delle prove di caratterizzazione condotte sono riassunti nelle seguenti tabelle:

Samples	Wheat straw	Rice straw	Olive	Vine	Hazel	Walnut	Almond
Moisture content %	10.59	9.70	9.80	18.50	11.80	48.15	8.30



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Ash content %	7.60	16.96	2.16	2.33	1.85	16.87	14.92
HHV MJ/kg	17.00	14.70	18.73	17.68	20.30	17.84	17.60
LHV MJ/kg	15.70	13.53	17.41	16.96	19.53	16.73	16.44

Table 1: Caratterizzazione delle principali biomasse studiate

Per le potature di olivo, vite, nocciolo, mandorla e noce sono stati individuati anche altri parametri:

Samples	Olive	Vine	Hazel	Walnut	Almond
Volatile content %	87.81	78.64	86.10	19.20	75.40
Fixed carbon content %	0.23	0.53	0.25	16.50	1.33
Total solid content %	90.20	81.50	88.20	52.57	91.65

Table 2: Frazioni della composizione

Samples	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
Olive	50.73	3.08	1.02	< 0.05	43.01
Vine	47.34	3.50	3.40	< 0.05	43.43
Hazel	47.81	3.76	2.12	< 0.05	44.46
Walnut	45.66	4.22	2.52	<0.05	31.70
Almond	60.73	6.00	2.85	<0.05	15.62

Table 3: Analisi elementare

I valori ottenuti per la paglia di riso e di grano, non vengono riportati perché concordi con quelli rinvenuti lo scorso anno e disponibili sulla relativa relazione. I risultati dell'analisi fisica e chimica danno una risposta positiva per l'uso di potature di olivo, nocciola e vite in processi termochimici come la gassificazione, la pirolisi e la combustione diretta per la produzione di calore ed energia. Il recupero di energia di queste biomasse lignocellulosiche rappresenta anche una soluzione ai problemi dovuti alla gestione dei residui agricoli e agli impatti ambientali correlati. Il passo successivo sarà l'analisi delle emissioni prodotte dalla combustione di tali biomasse e l'individuazione, a parità di condizioni di combustione, di *link* tra le caratteristiche chimico-fisiche e



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

le sostanze emesse. Per quanto riguarda la paglia di riso e di grano ai risultati già ottenuti lo scorso anno sulle emissioni (PCDD/Fs e PCBs), si sono aggiunti quelli dei metalli in emissione, riportati in tabella:

Metals $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Wheat straw	Rice straw
Li	3.80	3132.30
Na	1524.70	1579.90
Mg	48.00	610.90
Al	35.00	53.30
K	724.40	29629.20
Ca	43.80	485.90
Cr	5.50	2.20
Mn	1.70	30.40
Fe	84.70	77.50
Co	0.40	0.10
Ni	4.40	9.90
Cu	10.60	47.50
Zn	39.50	89.20
Sr	2.00	22.20
Ag	0.50	0.10
Cd	0.60	0.80
Ba	0.01	4.40
Tl	0.40	0.10
Pb	4.00	14.50
Bi	5.40	7.20

Table 4: Metalli in emissione durante la combustione incontrollata della paglia di riso e di grano

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Dai risultati dello scorso anno e di quello attuale, si evince come la combustione incontrollata della paglia di riso produca concentrazioni elevate di inquinanti e sia perciò un grosso rischio per l'atmosfera essendo uno dei residui agricoli più diffusi a livello mondiale. Si è scelto perciò di cercare di fornire un *pattern* dei composti volatili emessi, tramite il campionamento con materiale adsorbente e successiva analisi in TD-GC/MS in modalità *full scan*. I risultati qualitativi sono riportati in figura:

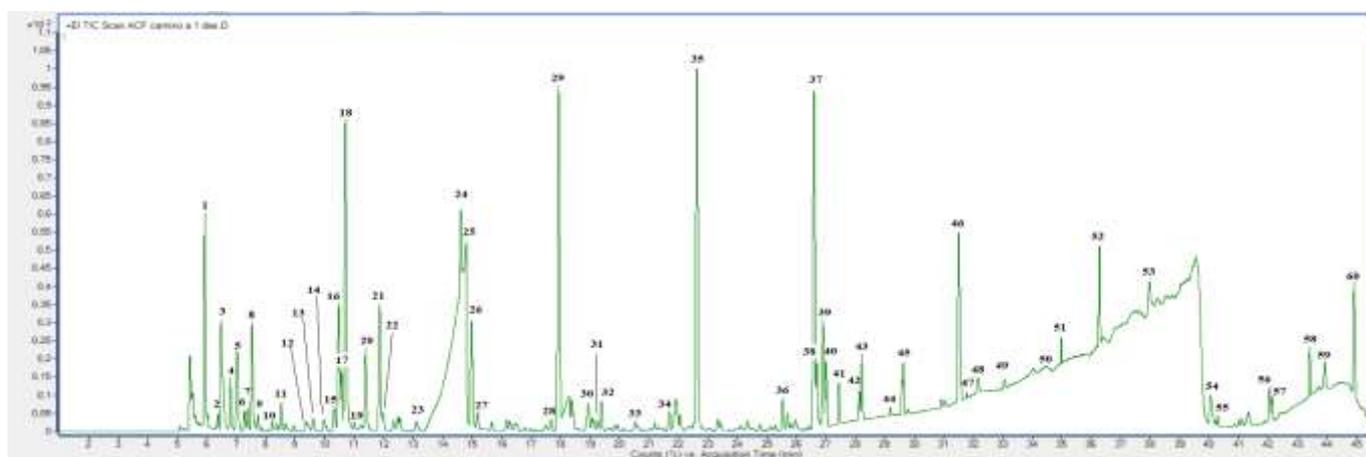


Figure 1: COV emessi dalla combustione della paglia di riso

- 1) Cyclopropane, 2) Propyne, 3) Aminomethanesulfonic acid, 4) Methane, chloro-, 5) 2-Butene, (Z)-, 6) 1,3-Butadiene, 7) Cyclobutane, 8) Glycidol, 9) 2-Butene, (E)-, 10) Methanethiol, 11) Methane, bromo-, 12) 1-Pentene, 13) 2-Methyl-1-butene, 14) 2-Pentene, (E)-, 15) Cyclopentene, 16) Furan, 17) 2-Propenal, 18) Acetone, 19) 1,4-Pentadiene, 20) Acetonitrile, 21) Acetic acid, methyl ester, 22) 1,3-Cyclopentadiene, 23) Cyclopentane, methyl-, 24) 2,3-Butanedione, 25) Furan, 2-methyl-, 26) 2-Butanone, 27) Furan, 3-methyl-, 28) Cyclopentane, 1,2-dimethyl-, cis-, 29) Benzene, 30) 2-Pentanone, 31) Furan, 2-ethyl-, 32) Furan, 2,5-dimethyl-, 33) Carbamic acid, phenyl ester, 34) 3-Penten-2-one, (E)-, 35) Toluene, 36) Furfural, 37) 3-Furaldehyde, 38) Ethylbenzene, 39) Benzene, 1,3-dimethyl-, 40) 2-Cyclopenten-1-one, 41) 2-Propanone, 1 (acetyloxy)-, 42) p-Xylene, 43) Styrene, 44) 2-Cyclopentene-1,4-dione, 45) 1-(3H-Imidazol-4-yl)-ethanone, 46) Phenol, 47) 2 Furancarboxaldehyde, 5-methyl-, 48) Benzaldehyde, 49) Benzofuran, 50) Phenol, 2-methyl-, 51) Phenol, 4-methyl-, 52) Phenol, 2-methoxy-, 53) Phenol, 4-ethyl-, 54) Benzofuran, 2,3-dihydro-, 55) Naphthalene, 56) Phenol, 4-ethyl-2 methoxy-, 57) Benzothiazole, 58) Pentanoic acid, 2-ethylhexyl ester, 59) Naphthalene, 1 methyl, 60) Phenol, 2,6-dimethoxy-

In merito alla linea 2, l'utilizzo di una colonna di assorbimento a base di K_2CO_3 , ha dato risultati soddisfacenti: Un impianto a base di carbonato di potassio caldo è stato alimentato con 150-200 Nm^3/h di biogas da rifiuto municipale.

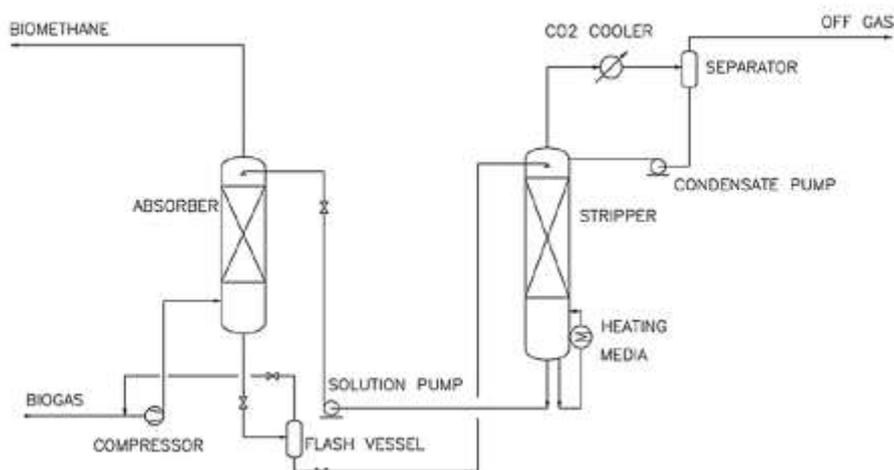


Figure 2: Sistema di upgrading

I risultati mostrano che con questa tecnologia è possibile ottenere una fuga del metano inferiore allo 0,1%, quindi in modo significativo ridurre le emissioni di gas a effetto serra associate all'industria del biometano. L'assorbimento del CH₄ da parte della colonna è inoltre del tutto trascurabile, il che comporta che non ci sia una perdita di resa del biometano. È bene evidenziare che tali risultati comportano una riduzione degli investimenti perché non è richiesto alcun post-trattamento dell'off-gas. Per quanto riguarda l'utilizzo di zeolite sintetica 13x in un impianto prototipo per il trattamento delle acque reflue, sono stati osservati livelli critici nel biogas per H₂S e HCl, le cui concentrazioni erano rispettivamente 1.570 e 26,8 mg/m³. D'altra parte, la concentrazione di COV alogenati, PFAS e mercaptani sono risultate relativamente basse e nessun livello critico è stato osservato per fluoro, ammoniaca, ammine, monossido di carbonio, idrogeno e ossigeno. La presenza di HCl è dovuta a agenti chiarificanti e la sua rimozione è necessaria per soddisfare le esigenze caratteristiche del biometano: è stato perciò utilizzato con successo un ulteriore adsorbente a base di carbonio per rimuovere questo contaminante. Elevato è anche il contenuto di silicio volatile totale (TVS), con un importante contributo del silossano D5: Il presente studio propone di selezionare questo singolo composto come indicatore del silicio volatile totale nel biogas, sulla base della sua alta concentrazione nelle emissioni e la sua trascurabile presenza nei bianchi analitici. Nonostante i metil silossani volatili (VMS) sono considerati una delle principali criticità nella produzione di biometano dai fanghi di depurazione, i risultati hanno dimostrato che nella metodologia di upgrading proposta non rappresentano un problema critico. Per ciò che riguarda la linea 2.2 lo scopo della ricerca è stato quello di valutare l'effetto di sistemi di pretrattamento meccanici installati presso impianti di biogas. Le principali indicazioni che risultano da questa ricerca sono i seguenti:

- I sistemi di pretrattamento meccanico installati presso gli impianti di biogas si rendono necessari principalmente per favorire la miscelazione e limitare problemi di stratificazione all'interno del digestore;
- I risultati ottenuti dall'analisi granulometrica hanno evidenziato come tutti i sistemi meccanici presi in considerazione permettano una riduzione della grandezza dei solidi e



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- di conseguenza si possa ottenere un aumento dell'area superficiale specifica della biomassa;
- L'analisi della superficie dei tessuti vegetali con microscopia a scansione elettronica ha permesso di comprendere l'effetto e osservare il principio di funzionamento dei singoli pretrattamenti sulle biomasse;
 - Nella maggior parte dei casi i sistemi di pretrattamento hanno determinato un aumento della cinetica di produzione di metano e in alcuni casi anche un aumento della produzione specifica di metano
 - La valutazione del potenziale metanigeno, l'analisi granulometrica e la microscopia elettronica sono metodiche sperimentali che permettono una valutazione maggiormente informativa riguardo l'effetto del pretrattamento meccanico sulle biomasse di tipo agro-zootecnico rispetto ad altre metodiche sperimentali (conducibilità elettrica, COD solubile) proposte in letteratura.
 - L'analisi degli autoconsumi elettrici dei sistemi di pretrattamento ha evidenziato come essi siano effettivamente impattanti sotto questo aspetto; in ultima analisi, però, i migliori risultati ottenibili con il trattamento meccanico delle biomasse giustifica il loro utilizzo nei casi di studio analizzati.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

La principale problematica riscontrata nello svolgimento delle attività previste per il terzo anno è 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 procedura per individuare una 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 terzo anno, assieme ai relativi risultati, sono state presentate ai seguenti eventi:

- Conferenza nazionale: Biogas Italy, Milano 28 Febbraio – 1 Marzo 2019.
- Conferenza internazionale: European Biomass Conference and Exhibition – 27th EUBCE, Lisbona, 27-30 Maggio 2019.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- Organizzazione e realizzazione della prima “Giornata Dimostrativa del Progetto AGROENER: Biomasse forestali: da residuo a risorsa”, presso l’azienda Ovine del CREA di Roma-Casalotti, il giorno 10 ottobre 2018.
- Organizzazione e realizzazione della seconda “Giornata Dimostrativa del Progetto AGROENER: Innovazioni per la filiera biomasse e l’efficientamento energetico in agricoltura”, presso il CREA di Monterotondo, il 26 giugno 2019.

6. Elenco pubblicazioni

Le pubblicazioni, prodotte e in fase di stesura, relative ai risultati ottenuti durante il terzo anno sono di seguito elencate:

1. Paolini V., Petracchini F., Carnevale M., Gallucci F., Perilli M., Esposito G., Segreto M., Galanti Occulti L., Scaglione D., Ianniello A., Frattoni M., “Characterisation and cleaning of biogas from sewage sludge for biomethane production”. *Journal of Environmental Management* 217 (2018) 288-296
2. Petracchini F., Liotta F., Paolini V., Perilli M., Cerioni D., Gallucci F., Carnevale M., Bencini A., “A novel pilot scale multistage semidry anaerobic digestion reactor to treat food waste and cow manure”. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* DOI 10.1007/s13762-017-1572-z
3. Del Giudice A., Acampora A., Santangelo E., Pari L., Bergonzoli S., Guerriero E., Petracchini F., Torre M., Paolini V. and Gallucci F., “Wood Chip Drying through the Using of a Mobile Rotary Dryer”. *Energies* 2019, 12; DOI 10.3390/en12091590
4. Colantoni A., Villarini M., Marcantonio V., Gallucci F. and Cecchini M., “Performance Analysis of a Small-Scale ORC Trigenation System Powered by the Combustion of Olive Pomace”. *Energies* 2019, 12; DOI 10.3390/en12122279
5. Paolini V., Torre M., Giacomini W., Pastori M., Segreto M., Tomassetti L., Carnevale M., Gallucci F., Petracchini F., Guerriero E., “CO₂/CH₄ separation by hot potassium carbonate absorption for biogas upgrading”. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 83 (2019) 186–194
6. Guerriero E., Khalid A., Mahmood T., 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. and Centritto M., “Characterization of emissions from a straw-fed thermal



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

power plant of wheat and rice straw". – Conference Proceedings of the CNR-Institute of Atmospheric Pollution Research –2018, Edizioni Ambiente,126-130, ISBN: 978-88-6627-254-0

7. Gallucci F., Liberatore R., Sapegno L., Volponi E., Venturini P., Paris E., Carnevale M., Rispoli F., "Biomass Gasification: The Effect of Equivalence Ratio on Syngas Quality in the Case of Externally Heated Reactor". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
8. Carnevale M., Petracchini F., Salerno M., Colantoni A., Tonolo A., Drigo C., Paris E., Guerriero E., Paolini V., Gallucci F., "Characterization of Agricultural Residues: Physical and Chemical Analysis for Energy Transformations". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
9. Paris E., Salerno M., Tonolo A., Drigo C., Petracchini F., Khalid A., Paolini V., Carnevale M., Guerriero E., Gallucci F., "Characterization of Emissions from Combustion of Agricultural Waste: Wheat Straw and Rice Straw". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
10. Liberatore R., Crescenzi T., Sapegno L., Volponi E., Venturini P., Rispoli F., Paris E., Carnevale M., Gallucci F., "Analysis on the Coupling of Biomass Gasification Processes with a Parabolic trough Concentrating Solar Plant". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
11. Torre M., Borin D., Segreto M., Tomassetti L., Paolini V., Petracchini F., Paris E., Gallucci F., Scaglione D., "Siloxanes Concentration and Removal in Biomethane from Sewage Sludge". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
12. Torre M., Tomassetti L., Segreto M., Borin D., Tratzi P., Paolini V., Petracchini F., Paris E., Gallucci F., "Development of a long energy action planning for wood biomass in latium, central Italy". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
13. Paris E., Gallucci F., Carnevale M., Khalid A., Paolini V., Guerriero E., "Evaluation of the VOCs emitted by the combustion of rice straw". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
14. Paris E., Assirelli A., Carnevale M., Gallucci F., Roccuzzo G., Pagano M., Santangelo E., "Residues from harvesting of tree nuts: an appraisal of energy value of walnut and almond husks". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
15. Borin D., Torre M., Segreto M., Tomassetti L., Paolini V., Petracchini F., Carnevale M., Gallucci F., Scaglione D., "Clarifying agents affect chlorine concentration in biomethane from sewage



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

sludge" 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE

16. Civitarese V., Acampora A., Sperandio G., Tomasone R., Caracciolo G., Gallucci F., Carnevale M., Assirelli A., "Poplar wood from SFR for pellet production. Characterization of the raw materials derived from 3 and 6 years old trees" 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
17. Tomassetti L., Torre M., Palma A., Segreto M., Tratzi P., Paolini V., Petracchini F., Carnevale M., Gallucci F., "A survey of forestry biomass potential in Latium, central Italy". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
18. Proto A.R., Benalia S., Papandrea S., Bernardi B., Bonfiglio R., Leuzzi A., Zimbalatti G., Tonolo A., Pari L., Gallucci F., "Harvesting citrus and olive pruning residues for energy use in southern Italy". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
19. Gallucci F., Carnevale M., Paris E., Plescia P., Ancona V., De Caprariis B., Borello D., "Fluidized bed gasification of biomass from plant-assisted bioremediation: characterization of products" (in fase di stesura)
20. Gallucci F., Colantoni A., Liberatore R., Sapegno L., Volponi E., Venturini P., Rispoli F., Paris E., Carnevale M., "Influence of oxidant agent on syngas composition: gasification of hazelnut shells through an updraft reactor". (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, dr Mirco Garuti - CRPA

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 – CRPA, Gabriella Aureli – CREA-IT

Abstract

Nella terza annualità si sono concluse le attività previste nelle linee 1 e 3. Per la linea 1 è stato realizzato un sistema da laboratorio per lo studio delle stratificazioni del digestato che ha permesso di misurare la cinetica di formazione delle croste galleggianti; sono continuati i campionamenti negli impianti di biogas per la caratterizzazione dei sedimenti. Nella linea 3 sono terminate le attività relative ai test di digestione anaerobica in mesofilia con reattori dinamici alimentati con una miscela di biomasse; i digestati raccolti sono stati per caratterizzati per la popolazione microbica e per lo studio del genere Clostridium.

1. Attività svolta

Linea 1

Dal punto di vista sperimentale sono stati ultimati i campionamenti di sedimenti su impianti di biogas focalizzando l'attenzione sul recupero di sedimenti da digestori anaerobici per una loro



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

caratterizzazione quantitativa (distribuzione granulometrica) e qualitativa (osservazione allo stereomicroscopio). Parallelamente, è stata studiata la cinetica di formazione delle stratificazioni del digestato utilizzando l'apparato sperimentale progettato durante l'attività; queste prove hanno permesso di correlare i dati di viscosità e di distribuzione granulometrica del digestato con il fenomeno di stratificazione osservato nei campioni, nell'ottica di poter fornire informazioni utili agli operatori degli impianti di biogas nella gestione della miscelazione nei fermentatori e nelle vasche di stoccaggio del digestato.

Linea 3

Nel periodo di riferimento sono state eseguite le analisi e quindi lo studio della comunità microbica nel processo di digestione con tecnica Next Generation Sequencing. Per studiare la comunità microbica nei digestori anaerobici si è scelto di studiare l'inoculo utilizzato per avviare i digestori, il digestato in avvio ed al momento in cui il processo di digestione anaerobico era stabile (steady state) e sono stati statisticamente comparati. Il campionamento nei digestori e l'analisi del metagenoma sono stati eseguiti sull'inoculo, sui tre reattori dopo 10 giorni (fase di avvio), e nella fase di steady state. Anche le comunità microbiche delle matrici utilizzate per l'alimentazione dei digestori sono state studiate con metodica NGS

2. Risultati e deliverable

Linea 1

I risultati ottenuti permettono di delineare informazioni utili alla gestione operativa di un impianto di biogas, che possono essere sintetizzate tenendo presente i seguenti principi:

- l'utilizzo di substrati che apportano solidi sedimentabili può essere gestito con sistemi di carico adeguati quali prevasche di sedimentazione a fondo conico o con tecnologie dedicate alla rimozione di corpi estranei;
- conoscere l'aumento del sedimento all'interno di un digestore permette di programmare operazioni straordinarie di pulizia, riducendo le perdite di produzione rispetto ad interventi di manutenzione non programmati;
- i miscelatori all'interno dei digestori devono poter essere azionabili con programmazione a tempi intermittenti e deve essere possibile direzionare almeno uno dei miscelatori presenti sia sul piano orizzontale che verticale in modo da poter intervenire laddove necessario;



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- i miscelatori sommersi ad elica marina devono essere mossi regolarmente nei diversi strati, da quello più superficiale a quello più profondo: tale operazione deve essere compiuta regolarmente, per evitare di favorire in una prima fase un accumulo di materiale organico con successiva movimentazione improvvisa quando agitato con il miscelatore. La distribuzione improvvisa di una grande quantità di materiale sedimentato può portare ad un sovraccarico di materiale organico con incremento repentino dei processi di idrolisi, accumulo di acidi organici e conseguente inibizione dei microrganismi metanigeni;
- il gestore deve controllare visivamente, attraverso gli opportuni oblò sul digestore, e con cadenza almeno giornaliera lo stato della superficie del digestato all'interno del reattore: la presenza di bolle di piccole dimensioni e diffuse e l'assenza di incrostazioni superficiali indica in linea di massima una buona miscelazione. Qualora si verificasse la presenza di primi nuclei di aggregazione o flottazione è opportuno intervenire immediatamente ed avviare una fase di miscelazione intensa e prolungata fino alla disgregazione totale di tali aggregati;
- la separazione solido-liquida del digestato prima dello stoccaggio nelle vasche limita la formazione di strati galleggianti e croste. Anche nelle vasche di stoccaggio del digestato chiarificato possono verificarsi fenomeni di sedimentazione da tenere in considerazione nel momento in cui vuole essere usato in fertirrigazione;
- Le analisi di viscosità e granulometria sono correlate alla tendenza di un digestato di stratificare; queste determinazioni analitiche sono di supporto ad una gestione più consapevole della miscelazione negli impianti di biogas.

Linea 3

Lo scopo della ricerca è stato:

- Verificare la popolazione di clostridi nel processo biologico di digestione anaerobica;
- Verificare il rischio di sviluppo in digestione anaerobica di forme patogene di Clostridi in relazione a piani di alimentazione.

Le principali indicazioni che risultano da questa ricerca sono:

- È stato confermato il ruolo fondamentale dei clostridi nel processo di digestione anaerobica.
- I clostridi coltivabili sono costantemente presenti in un valore che oscilla tra 3-4 log spore/g nel periodo di efficiente funzionamento del digestore (steady state).



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- La specie coltivabile largamente dominante tra i clostridi in questo test è stata il *Clostridium perfringens*, ma sono state altresì isolate altre specie *Clostridium bifermentans* e *Clostridium butyricum*.
- Si conferma perciò la presenza nei digestori anaerobici sia di microrganismi patogeni che di microrganismi sporigeni contaminanti responsabili di difetti nei formaggi a lunga stagionatura.
- L'analisi della comunità microbica eseguita con tecniche di Next Generation Sequencing (regioni V3-V4) ha confermato la dominanza dei clostridi nel processo di digestione anaerobica, ma ha mostrato che una volta arrivato nella fase di steady state, rispetto alle fasi iniziali di avvio, la popolazione dei clostridi si riduce. Questa analisi basata sul DNA comprende sia cellule vive che morte e tutte le specie di clostridi presenti nel digestore incluse le specie non coltivabili.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Nessuno

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

6. Elenco pubblicazioni

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.

Aureli G., Iori A., Fabbri C., Gallucci F., Soldano M., 2019. Tossine dell'*Alternaria* spp. nel frumento: effetti della digestione anaerobica e BMP. Poster al VI Congresso Nazionale Micotossine e Tossine Vegetali nella filiera agro-alimentare. ISS, Roma, 10-12 giugno 2019.

Soldano M., Piccinini S., Gallucci F., Fabbri C., 2019. Studio del comportamento del mais contaminato da aflatossine in digestione anaerobica. Poster al VI Congresso Nazionale Micotossine e Tossine Vegetali nella filiera agro-alimentare. ISS, Roma, 10-12 giugno 2019.

A. Fontana, M. Soldano, P. Bellassi, C. Fabbri, F. Gallucci, F. Cappa, 2019. Identification of pathogenic and dairy-spoiling *Clostridium* consortia in lab-scale anaerobic digesters fed with agricultural biomass. Poster al 16th World Congress on Anaerobic Digestion. 23-27 June 2019, Delft, The Netherlands.



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 CO₂, 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 CO₂ 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 presso il CREA-IT 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



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Nell'ambito della convenzione di ricerca fra CREA-IT e Dipartimento di Ingegneria – UniRomaTRE è stata fatta una dettagliata analisi degli aspetti tecnici dell'impianto da realizzare. La soluzione più rispondente alle esigenze del progetto consiste in un gruppo elettrogeno di piccola potenza (5 kW) con sistema di alimentazione convertibile a metano (biogas) e successivamente integrabile con iniezione di idrogeno.

Nel seguente quadro sono riportate le componenti idonee alla realizzazione dell'impianto, produttori, i modelli ed i possibili fornitori afferenti alla piattaforma MEPA:

Articolo	Produttore - Modello	Fornitore
Gruppo Elettrogeno a Metano	Genmac - Daily-Gas RG4700RS NG https://www.genmac.it/produzione-gruppi-elettrogeni/#	http://www.elettricamorlacco.it/elettrica_morlacco/index.php a.salvatore@elettricamorlacco.it
Resistenze di carico	Qualsiasi	RS Components https://it.rs-online.com/web/p/products/7015787/?grossPrice=Y&cm_mmc=IT-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_IT_IT_Passivi-_-Resistori%7CResistori_Per_Montaggio_A_Pannello-_-PRODUCT_GROUP&matchtype=&pla-477790202075&gclid=EAlalQobChMlse_74JTg3glVw4ayCh14JgO6EAYYASABEgKM4vD_BwE&gclid=aw.ds
Trasduttore di pressione interno al cilindro, completo di amplificatore e e calibrazione nel campo 0-100 bar	Kistler - M8 Type 6045B	Kistler Italia - Rif. Ing. Francesco Caraglia 3492384860 - 0573590629
Sonda di temperatura allo scarico	Qualsiasi o RS Components	Termocoppia - T max 850 C°
Sonda di temperatura all'aspirazione	Qualsiasi / Bosch Codice 0 281 006 345	Autoricambi su MePA es. Piangiarelli e Quintabà http://www.piangiarelliquintaba.it/
Debimetro	Bosch - Codice 0281002613	Autoricambi su MePA es. Piangiarelli e Quintabà http://www.piangiarelliquintaba.it/



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

Encoder incremental e in quadratura 360 impulsi per giro	es. Kuebler	https://it.rs-online.com/web/p/encoder-rotativi/4360378/
Sonda di temperatura ambiente	Qualsiasi	RS Components
Sonda di umidità ambiente	Qualsiasi	RS Components
Sonda di temperatura olio	Qualsiasi / Bosch Codice 0 280 130 129	RS / Autoricambi su MePA es. Piangiarelli e Quintabà
Trasduttore valvola a farfalla	Qualsiasi / Bosch Codice 0 280 120 426	RS / Autoricambi su MePA es. Piangiarelli e Quintabà
Scheda/Dispositivo di acquisizione		

2. Risultati principali

È stato acquisito il gruppo elettrogeno alimentato a metano (primo articolo della precedente tabella). Il gruppo deve essere modificato in modo da poter essere alimentato con una miscela esterna di metano e H₂ (che può essere variata) e implementato con le altre componenti che servono al monitoraggio delle varie funzioni del motore per valutare variazioni legate alla composizione della miscela di gas. L'acquisto delle componenti è in programma dall'inizio del 2019, ma è subordinato alla possibilità di variare il piano finanziario della task.



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.ssa Francesca Antonucci, 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. Daniele Lolletti, Dott.ssa Francesca Antonucci, Dott. Corrado Lamoglie

Abstract

Nel corso del terzo anno di attività del progetto, la dotazione informatica utilizzabile da tutto il personale CREA, si è arricchita delle funzioni messe a disposizione dallo Strumento OFFICE 365 di Microsoft. Pertanto, si è pensato di strutturare una rete intranet specifica del progetto che utilizzasse questi nuovi strumenti, nello specifico il software SharePoint. Con l'ausilio del personale informatico della sede di Monterotondo (RM) del CREA-IT, sono stati implementati i primi ambienti web che potrebbero ospitare la comunità di Pratiche del progetto Agroener. La CdP Agroener, già ospitata nella piattaforma Moodle del CREA, è stata sospesa in attesa di verificare quale dei due strumenti fosse quello più appropriato.

Dal punto di vista della raccolta dei risultati del progetto, sono state raccolte diverse schede risultato, le quali sono state pubblicate in forma cartacea e distribuite all'evento dimostrativo dello stesso progetto, tenutosi nel mese di giugno 2019.

Dal punto di vista della realizzazione della specifica Banca Dati che raccolga i risultati Agroener, ed al suo popolamento, si è ancora in attesa di reperire il personale tecnico che sarà interessato alla sua progettazione e realizzazione. Al riguardo, si è dato inizio alla fase di assunzione di personale tramite il bando di due assegni di ricerca specifici.

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 1 di attività: Organizzazione e implementazione della banca dati in ragione dei requisiti dell'intero progetto.

Il trasferimento della sede operativa del Task leader 5.9 presso una Struttura di ricerca del CREA (CREA-OFA, sede di Roma) effettuato ad inizio anno 2019, ha di fatto comportato la necessità di svincolare le attività della linea di ricerca dal supporto informatico fornito dall'Ufficio Sistemi Informativi della Sede Centrale del CREA. Tra l'altro tale problematica era stata anticipata dalla riorganizzazione degli Uffici Centrali dell'Amministrazione dell'Ente, effettuata nell'anno 2018, che ha comportato l'abolizione del suddetto Ufficio Sistemi Informativi ed il passaggio delle attività specifiche sotto la Direzione Centrale del CREA.

Pertanto, sono state attivate le procedure di assunzione del personale tecnico-scientifico che potrà effettuare "in house" la progettazione e realizzazione della banca dati che accoglierà i risultati del progetto, secondo le modalità previste in fase di stesura del progetto AGROENER. Le procedure di assunzione sono tuttora in fase di perfezionamento.

Al fine di popolare la futura banca dati, è iniziata la raccolta delle schede risultato che sono state pensate come format da poter utilizzare anche per l'eventuale loro pubblicazione.

Nello specifico, il documento in formato *.pptx, contiene le principali informazioni circa il/i referente/i del risultato, una descrizione breve, una descrizione estesa ed altre informazioni accessorie circa la trasferibilità del risultato conseguito, i vantaggi offerti dall'applicazione del risultato rispetto lo stato dell'arte, le possibili applicazioni e potenziali utilizzatori.

Sono state acquisite ed elaborate più di 15 schede risultato, le quali sono state pubblicate in forma cartacea e distribuite all'evento dimostrativo dello stesso progetto, tenutosi il 26 del mese di giugno del 2019 alla sede di Monterotondo (RM) del CREA-IT a cui hanno partecipato più di 60 persone.

Linea 2 di attività: Definizione dei requisiti e gestione di una piattaforma e-learning e di interazione 2.0

A seguito delle attività di riorganizzazione dei sistemi Informativi della sede Centrale del CREA e dei servizi ad essi sostitutivi, il CREA ha ritenuto opportuno dotare tutto il personale scientifico dell'Ente di apparati informatici avanzati. Nello specifico, il suddetto personale ha oggi a disposizione lo Strumento OFFICE 365 di Microsoft, che comprende sistemi di condivisione delle informazioni e di contenuti, nonché strumenti che permettono il lavoro a distanza e la partecipazione condivisa alla stesura di testi e documenti.

Queste nuove possibilità offerte al personale CREA hanno spinto la struttura di Coordinamento del Progetto ad implementare un primo contenitore di scambio di informazioni e documenti basato sul programma SharePoint. Questa funzionalità permette la costituzione di repository documentali e



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

l'organizzazione di una rete intranet aziendale, che non era prima disponibile nel CREA. Con l'ausilio del personale informatico della sede di Monterotondo (RM) del CREA-IT, sono stati pertanto implementati i primi ambienti web che potrebbero ospitare la comunità di Pratiche del progetto Agroener.

Per quanto detto, la CdP AGROENER, che era stata già implementata nel precedente anno di attività del Progetto, è stata "sospesa" e si è iniziato a lavorare attraverso SharePoint, in attesa di verificare quale dei due strumenti informatici fosse quello più appropriato per le attività di progetto.

Linea 3 di attività: Approfondimenti in presenza (Focus Group).

Il giorno 26/06/2019 si è tenuto un evento dimostrativo del progetto dal titolo "Innovazioni per la filiera biomasse e l'efficientamento energetico in agricoltura". Tale evento, realizzato nell'abito delle attività dimostrative previste dal progetto, è stato interamente dedicato a dimostrazioni sperimentali in campo di macchinari ed esperienze conseguite dalle diverse Task di progetto (33 in totale). Tale evento, organizzato dal CREA-IT in collaborazione con la Dott.ssa Antonucci, personale scientifico afferente alla Task 5.9 del progetto AGROENER, fungerà da volano per l'organizzazione di futuri eventi di approfondimento in presenza, che verranno organizzati come Focus Group.

2. Risultati e deliverable

Come anticipato al punto 1, linea di attività 1, sono state raccolte più di 15 schede risultato che raccolgono alcuni risultati ottenuti da altrettante Task di attività di progetto. Tali schede, compilate dai ricercatori che partecipano alle attività scientifiche, sulla base di un format realizzato con un documento in formato *.pptx, sono state uniformate ed adattate alla stampa dal personale tecnico scientifico della Task 5.9: Francesca Antonucci e Daniele Lolletti. Si è scelto tale formato, perché si è ritenuto quello più adatto alla successiva elaborazione di stampati e pubblicazioni come special issue su una rivista di divulgazione a carattere nazionale. Ciò è stato confermato dalla buona riuscita della stampa delle suddette schede, che sono state presentate nell'evento dimostrativo di progetto, citato al precedente punto 1, linea di attività 3. Tale metodologia di raccolta dei risultati, diverrà lo standard nell'ambito del progetto AGROENER e potrebbe essere adattata anche ad altri contesti progettuali.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Rispetto alla modifica della realizzazione di una Comunità di Pratiche specifica del progetto AGROENER, come descritto al punto 1, linea di attività 2, risulta evidente che lo strumento



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

SharePoint si discosti in modo piuttosto deciso rispetto alla ipotizzata Comunità di Pratiche del CREA. Infatti, SharePoint si configura con una rete intranet dedicata al personale scientifico CREA, mentre la Comunità di Pratiche del CREA era invece pensato come strumento aperto anche ad altre Strutture, Ditte o Enti scientifici esterni all'Ente. Nel prossimo periodo sarà necessario verificare la presenza di app di sistema (Microsoft) che possa implementare tale funzione permettendo l'apertura della intranet a soggetti non appartenenti al CREA.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Non sono previste attività integrative o aggiuntive.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Tali attività, come previsto dal Progetto e come già anticipato al paragrafo 1, saranno ulteriormente 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., Civitaresè V., Assirelli A., 2017. "Mechanical thinnings of Apricots Fruitlets". *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 58, 259-264.ISSN:2283-9216



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

12. Faugno S., Quacquarelli I., Civitarese 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 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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 EmiliaRomagna, 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 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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., 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. 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 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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., Vasmarà 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 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

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 PELLETTA 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).

3°anno

Internazionali peer-reviewed

76. Assirelli A., Santangelo E., Brambilla M., Bisaglia C., Civitarese V., Caracciolo G., Spinelli R. "TECHNIQUES FOR THE TRANSPORTATION OF COMPLETE-TREES FROM THE TERMINATION OF PEACH ORCHARDS". Peer review su Biomass Bioenergy
77. Assirelli A., Cacchi M., Sirri S., Giovannini D., Baruzzi G., Caracciolo G. "Evaluation of a New Machine for Flower and Fruit Thinning in Stone Fruits". Sustainability, 2018, vol. 10(11), pages 1-12, November
78. Assirelli A., Cappelozza S., Sirri S., Stagno F., Giovannini D. "Innovative system for mulberry fruit harvesting". Peer review su Journal of Berry Research
79. Bondioli P., Folegatti L., Lazzeri L., Ugolini L., Malaguti L., Pochi D., Fanigliulo R. (2019). "Semi-refined Crambe Abissinica oil as a hydraulic fluid". Driving Science and Technology to new Horizons, 17° Eurofedlipid Congress, Siviglia, 20 – 23 Ottobre 2019.
80. Cianchetta S., Nota M., Polidori N., Galletti S. (2019). "Alkali pre-treatment and enzymatic hydrolysis of Arundo donax for single cell oil production". Environmental Engineering and Management Journal, v.18(8), in stampa.



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

81. Civitaresse V., Faugno S., Picchio R., Assirelli A., Sperandio G., Saulino L., Crimaldi M., Sannino M. 2018. "Production of selected short-rotation wood crop species and quality of obtained biomass". European Journal of Forest Research, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1122-3>.
82. Civitaresse V., Acampora A., Sperandio G., Assirelli A., Picchio R. "Production of Wood Pellets from Poplar Trees Managed as Coppices with Dierent Harvesting Cycles." 2019 Energies 2973 12(15) doi:10.3390/en12152973
83. Colantoni A., Villarini M., Marcantonio V., Gallucci F. and Cecchini M., "Performance Analysis of a Small-Scale ORC Trigenation System Powered by the Combustion of Olive Pomace". Energies 2019, 12; DOI 10.3390/en12122279
84. Cutini M., Costa C., Brambilla M., Bisaglia C., 2019b. "Prediction of the traction performance of agricultural tires from 3D footprint shape". Journal of Terramechanics, JTerra_2019_57. Under review
85. Del Giudice A., Acampora A., Santangelo E., Pari L., Bergonzoli S., Guerriero E., Petracchini F., Torre M., Paolini V. and Gallucci F., "Wood Chip Drying through the Using of a Mobile Rotary Dryer". Energies 2019, 12; DOI 10.3390/en12091590
86. Fantappiè, M., Costantini, E.A.C., L'Abate, G., 2019. "Elaborating and mapping Italian Derived Soil Profiles on a 500 m grid with digital soil mapping procedure". Geoderma. *Under submission*.
87. Fedrizzi M., Antonucci F., Sperandio G., Figorilli S., Pallottino F., Costa C. 2019. "An Artificial Neural Network model to predict the effective work time of different agricultural field shapes". Spanish Journal of Agricultural Research (SJAR), Vol. 17, Issue 1, e0201. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13366>.
88. Gallucci F., Carnevale M., Paris E., Plescia P., Ancona V., De Caprariis B., Borello D., "Fluidized bed gasification of biomass from plant-assisted bioremediation: characterization of products" (in fase di stesura)
89. Gallucci F., Colantoni A., Liberatore R., Sapegno L., Volponi E., Venturini P., Rispoli F., Paris E., Carnevale M., "Influence of oxidant agent on syngas composition: gasification of hazelnut shells through an updraft reactor". (in fase di stesura)



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

90. Liberati P., Assirelli A. 2019. "A new approach towards a smart mechanical intra-row weeding". International Journal of Agriculture and Environmental Research IJAER. Volume:05, Issue:01 pg 167-193
91. Pallottino F., Antonucci F., Costa C., Bisaglia C., Figorilli S., Menesatti P. 2018. "Optoelectronic proximal sensing vehicle-mounted technologies in precision agriculture": a review. Computers and Electronics in Agriculture 162, 859-873. ISSN 0168-1699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.034>. (I.F. 2017 = 2.427)
92. Paolini V., Petracchini F., Carnevale M., Gallucci F., Perilli M., Esposito G., Segreto M., Galanti Occulti L., Scaglione D., Ianniello A., Frattoni M., "Characterisation and cleaning of biogas from sewage sludge for biomethane production". Journal of Environmental Management 217 (2018) 288-296
93. Paolini V., Torre M., Giacomini W., Pastori M., Segreto M., Tomassetti L., Carnevale M., Gallucci F., Petracchini F., Guerriero E., "CO₂/CH₄ separation by hot potassium carbonate absorption for biogas upgrading". International Journal of Greenhouse Gas Control 83 (2019) 186–194
94. Parenti, A., Ginaldi, F., Cappelli, G., Bregaglio, S., Zegada-Lizarazu, W., Ciria, Carrasco, J., Alexopoulou, E., Monti, A., 2019. "A Crop Model-Based Evaluation of Sunn Hemp (*Crotalaria juncea* L.) Productivity Under Alternative Management Practices". European Journal of Agronomy. *Under submission*
95. Petracchini F., Liotta F., Paolini V., Perilli M., Cerioni D., Gallucci F., Carnevale M., Bencini A., "A novel pilot scale multistage semidry anaerobic digestion reactor to treat food waste and cow manure". Int. J. Environ. Sci. Technol. DOI 10.1007/s13762-017-1572-z
96. Pochi D., Fanigliulo R., Bisaglia C., Cutini M., Grilli R., Betto M., Fornaciari L. (2019). "Vegetable oil-based as UTTO fluid for agricultural tractors application". In corso di pubblicazione su Applied Engineering in Agriculture, manoscritto ASABE MS-13488-2019.
97. 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. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.033>
98. Sallustio, L., Salvati, R., Salvati, L., Fabbrini, F., Scarascia Mugnozza, G., Harfouche, A., Marchetti, M., Corona, P., 2019 (in preparazione). "Land Availability for Sustainable Lignocellulosic Biofuels in Italy".

Divulgative



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

99. Assirelli A., Brambilla M., Rocuzzo G., Cocchi A. 2019 “Valutazione di tecniche di espianto frutteti con finalità energetiche”. Scheda raccolta risultati progetto AGROENER divulgate durante giornata dimostrativa del 26/06/2019 a Monterotondo (Rm).
100. Assirelli A., Cocchi A. 2019. “Sviluppo di un separatore meccanico per il recupero di sottoprodotti di trebbiatura”. Scheda raccolta risultati progetto AGROENER divulgate durante giornata dimostrativa del 26/06/2019 a Monterotondo (Rm).
101. Assirelli A., Liberati P., Cocchi A. 2019. “Un nuovo approccio nell’ottica di un diserbo meccanico sottofila intelligente”. Scheda raccolta risultati progetto AGROENER divulgate durante giornata dimostrativa del 26/06/2019 a Monterotondo (Rm).
102. Civitarese V., Sperandio G., Acampora A., Gallucci F., Carnevale M. 2019. “Pellet da pioppo a ciclo breve. Qualità del prodotto ottenuto”. *Sherwood Foreste ed alberi oggi* 241: 17-19
103. Fabroni S., Amenta M., Ballistreri G., Romeo F.V., Timpanaro N., Rapisarda P. “Utilizzo degli scarti della trasformazione degli agrumi in campo alimentare, nutraceutico ed energetico”. *La rivista di scienza dell'alimentazione*. ISSN 1128-7969 Numero 3, Settembre - Dicembre 2018, Anno 47.
104. Pari L., Bergonzoli S., Suardi A., Scarfone A., Alfano V., Mattei P., Lazar S. (2019). “Impianto di eucalipto a media rotazione. Sistemi di stoccaggio a confronto. In: *Ricerca e Innovazione per l’Economia Circolare. Ripensare, riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate*”. *Sherwood* 241, Supplemento 2
105. Pari L., Suardi A., Bergonzoli S., Scarfone A., Alfano V., Toscano G. (2019). “Tutoli di mais e pula dei cereali per fini energetici. Considerazioni preliminari sull’impiego energetico di residui scarsamente utilizzati”. *Ricerca e Innovazione per l’Economia Circolare. Ripensare riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi*. n. 241; pp.: 41-44. ISSN: 1590-7805
106. Pari L., Bergonzoli S., Alfano V., Suardi A., Scarfone A., Lazar S. (2019). “La raccolta dei tutoli del mais con sistema Harcob”. *Ricerca e Innovazione per l’Economia Circolare. Ripensare riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi*. n. 241; pp.: 37-40. ISSN: 1590-7805
107. Pari L., Scarfone A., Suardi A., Alfano V., Bergonzoli S., Mattei P., Lazar S. (2019). “Raccolta combinata di pula e paglia per la produzione di bioetanolo. Prime esperienze in Svezia su grano tenero”. *Ricerca e Innovazione per l’Economia Circolare. Ripensare riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi*. n. 241; pp.: 32-36. ISSN: 1590-7805



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

108. Pari L., Alfano V., Bergonzoli S., Scarfone A., Suardi A., Lazar S. (2019). "Macchine per la raccolta della pula dei cereali. Stato dell'arte". Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare. Ripensare riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi. n. 241; pp.: 25-31. ISSN: 1590-7805
109. Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2019. "Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi". In corso di stampa sul numero speciale dell'Italia Forestale e Montana "Atti del IV Congresso Nazionale di Selvicoltura"
110. Sperandio G. 2018. "Caso studio: Modello di microfiliera energetica. Box 3 di approfondimento. In: Biomasse legnose. Microfilieri di autoconsumo da biomasse legnose". A cura di Raoul Romano e Manuela Plotino. CREA-MIPAAF, ROMA. Pp. 136-143 [ISBN 9788899595845].

Atti convegni e congressi

111. Alasia F., Facciotto G., Bergante S., Alasia O., Allasia E., Bertaina F., Pignatti G., Pontuale G., Tomaiuolo M., Verani S., Nervo G., 2018. "Performance di 22 genotipi di pioppo selezionati in Europa in quattro differenti ambienti italiani". IV Congresso Nazionale di Selvicoltura. Torino 5-9 Novembre 2018. Abstract book, p. 256 (ISBN 978-88-87553-24-6).
112. Assirelli A., Brambilla M., Santangelo E., Rocuzzo G., Bisaglia C. 2018. Sustainability Issues Related to Woody Biomass Supply From Fruit Tree Plantation Removal Proceeding at Ag Eng Conference Wagheninge
113. Aureli G., Iori A., Fabbri C., Gallucci F., Soldano M., 2019. "Tossine dell'*Alternaria* spp. nel frumento: effetti della digestione anaerobica e BMP". Poster al VI Congresso Nazionale Micotossine e Tossine Vegetali nella filiera agro-alimentare. ISS, Roma, 10-12 giugno 2019.
114. Biocca M., Gallo P., Sperandio G., "Technical and economic evaluation of urban trees pruning by climbing arborists" è stato accettato come presentazione orale alla conferenza AIIIA "Innovative biosystems engineering for sustainable agriculture, forestry and food production. International Mid-Term Conference" che si terrà a Matera a settembre 2019.
115. Borin D., Torre M., Segreto M., Tomassetti L., Paolini V., Petracchini F., Carnevale M., Gallucci F., Scaglione D., "Clarifying agents affect chlorine concentration in biomethane from sewage sludge" 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

116. Cappelli G.A., Ginaldi F., Ceotto E. (2019). "Can the High Correlation Between Yield, Stem Height and Stem Diameter in Giant Reed (*Arundo Donax* L.) Have a Practical Use?" In stampa sui proceedings della conferenza EUBCE2019.
117. Carnevale M., Beni C., Gallucci F., Paris E., Del Giudice A., Santangelo E. (2019). "Energy characterization of giant reed (*Arundo donax*, L.) grown on soil contaminated with copper. a preliminary study". 27th European Biomass Conference and Exhibition. 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.
118. Carnevale M., Petracchini F., Salerno M., Colantoni A., Tonolo A., Drigo C., Paris E., Guerriero E., Paolini V., Gallucci F., "Characterization of Agricultural Residues: Physical and Chemical Analysis for Energy Transformations". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
119. Chiariotti A., Crisà A., Pietrucci D., Desideri A. 2018. "Bacterial & archaeal metagenomic characterization during hydrogen production by dark fermentation of buffalo waste and rumen as inoculum". Lavoro presentato al BIOGAS SCIENCE International Conference on Anaerobic Digestion. 17-19 September, Torino
120. Cianchetta S., Polidori N., Ceotto E., Galletti S. (2019). "Is it possible to produce low-nitrogen hydrolysate of giant reed suitable for single cell oil production?" Atti EUBCE, in stampa.
121. Civitarese V., Assirelli A., Sperandio G., Caracciolo G., Faugno S., Sannino M., Crimaldi M. 2018. "Biomass quality of different species after storage". In: 26th European Biomass Conference and Exhibition, Copenhagen, 14-18 maggio. Pp. 342-345.
122. Civitarese V., Sperandio G., Acampora A., Tomasone R., Caracciolo G., Assirelli A., Gallucci F. 2019. "Poplar from SRF for pellet production. Characterization of the material of 3 and 6 years". 27th European Biomass Conference and Exhibition. 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.
123. Cutini M., Brambilla M., Bisaglia C., Pochi D., Fanigliulo R. 2019a. "Efficiency of tractor drawbar power taking into account soil-tire slippage. Biosystems Engineering for sustainable agriculture, forestry and food production", International Mid-Term Conference 2019 (AIIA). Matera, September 12-13, 2019. Under review
124. Dono G., Picarella M.E., Santangelo E., Pons C., Granell A., Mazzucato A. (2018). "Characterization of a collection of tomato lines introgressing fruit mutations in San Marzano". Poster presentato al 62nd SIGA Annual Congress "Plant development and crop productivity for



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

sustainable agriculture". 25-28 September 2018, Verona.

125. Fedrizzi M., Terrosi C., Cacini S., Burchi G., Cutini M., Brambilla M., Bisaglia C., Figorilli S., Costa C., "Massa D. Evaluation of coaxial pipes for basal heating as alternative heating system for leafy vegetables Biosystem Engineering for sustainable agriculture, forestry and food production". Conference Proceedings Book, International Mid-Term Conference 2019, Italian Association of Agricultural Engineering (AIIA) Potenza/Matera, University of Basilicata, September 12-13, 2019 (In corso di pubblicazione).
126. Fontana A., Soldano M., Bellassi P., Fabbri C., Gallucci F., Cappa F., 2019. "Identification of pathogenic and dairy-spoiling Clostridium consortia in lab-scale anaerobic digesters fed with agricultural biomass". Poster al 16th World Congress on Anaerobic Digestion. 23-27 June 2019, Delft, The Netherlands.
127. Galletti S., Cianchetta S., Roberti R. 2018 "Lignin-rich waste from alkali pretreated *Arundo donax* as a promising alternative to synthetic antifungal products in horticulture" XII Giornate scientifiche SOI, Bologna, 19-22 giugno 2018 (poster)
128. Gallo P., Sperandio G., Imperi G., Guglielmelli T., Biocca M., 2018. "Cost and productivity of urban trees maintaining by climbing arborists". 1° World Forum on Urban Forests (28 November - 01 December 2018, Mantova, Italy). Book of abstracts, 177.
129. Gallucci F., Liberatore R., Sapegno L., Volponi E., Venturini P., Paris E., Carnevale M., Rispoli F., "Biomass Gasification: The Effect of Equivalence Ratio on Syngas Quality in the Case of Externally Heated Reactor". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
130. Guerriero E., Khalid A., Mahmood T., Gallucci F., Carnevale M., Longo L., Cerasa M., Budonaro A., Perilli M., Rantica E., Frattoni M., Mosca S., Paretì S., Catrambone M., Paris E., Del Giudice A., Rotatori M. and Centritto M., "Characterization of emissions from a straw-fed thermal power plant of wheat and rice straw". – Conference Proceedings of the CNR-Institute of Atmospheric Pollution Research –2018, Edizioni Ambiente, 126-130, ISBN: 978-88-6627-254-0
131. Liberatore R., Crescenzi T., Sapegno L., Volponi E., Venturini P., Rispoli F., Paris E., Carnevale M., Gallucci F., "Analysis on the Coupling of Biomass Gasification Processes with a Parabolic trough Concentrating Solar Plant". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
132. Paris E., Salerno M., Tonolo A., Drigo C., Petracchini F., Khalid A., Paolini V., Carnevale M., Guerriero E., Gallucci F., "Characterization of Emissions from Combustion of Agricultural Waste: Wheat Straw and Rice Straw". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

133. Paris E., Gallucci F., Carnevale M., Khalid A., Paolini V., Guerriero E., "Evaluation of the VOCs emitted by the combustion of rice straw". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
134. Paris E., Assirelli A., Carnevale M., Gallucci F., Rocuzzo G., Pagano M., Santangelo E., "Residues from harvesting of tree nuts: an appraisal of energy value of walnut and almond husks". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
135. Pignatti G., Verani S., Sperandio G. 2018. "Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi". IV Congresso Nazionale di Selvicoltura. Torino 5-9 Novembre 2018. Abstract book, p. 276 (ISBN 978-88-87553-24-6).
136. Pochi D., Fanigliulo R., Grilli R., Fornaciari L., Bisaglia C., Cutini M., Brambilla M., Sagliano A., Capuzzi L., Palmieri F., Chiatti G. (2019). "Design and assessment of a test rig for hydrodynamic tests on hydraulic fluids". Biosystems Engineering for sustainable agriculture, forestry, and food production, AIIA Mid-Term Conference 2019. University of Basilicata. Matera, 12 -13 September 2019.
137. Proto A.R., Benalia S., Papandrea S., Bernardi B., Bonfiglio R., Leuzzi A., Zimbalatti G., Tonolo A., Pari L., Gallucci F., "Harvesting citrus and olive pruning residues for energy use in southern Italy". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
138. Santangelo E., Carnevale M., Migliori C.A., Mazzucato A., Picarella M.E., Dono G., Gallucci F. (2019). "Tomato genetic variants for peel color, a source of biocompounds and biomass for energy recovery". 27th European Biomass Conference and Exhibition. 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.
139. Soldano M., Piccinini S., Gallucci F., Fabbri C., 2019. "Studio del comportamento del mais contaminato da aflatossine in digestione anaerobica". Poster al VI Congresso Nazionale Micotossine e Tossine Vegetali nella filiera agro-alimentare. ISS, Roma, 10-12 giugno 2019.
140. Tomasone R., Menesatti P., Pagano M., Sperandio G., Cedrola C., Acampora A., Santelli P. (2019). "Drip line size selection in micro irrigation design for tree crops: economic and energetic sustainability". IX International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 17-20 June 2019 Matera, Italy. Book of Abstracts
141. Tomasone R., Menesatti P., Pagano M., Sperandio G., Cedrola C., Acampora A., Santelli P. (2019). "Drip line size selection in micro irrigation design for tree crops: economic and energetic sustainability". Full Paper in fase di preparazione per la stampa sugli atti del IX International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, in un volume dedicato di Acta Horticulturae dell'ISHS.
142. Tomassetti L., Torre M., Palma A., Segreto M., Tratzi P., Paolini V., Petracchini F., Carnevale



Relazione progettuale 3° anno – giugno 2018 – giugno 2019

- M., Gallucci F., "A survey of forestry biomass potential in Latium, central Italy". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
143. Torre M., Borin D., Segreto M., Tomassetti L., Paolini V., Petracchini F., Paris E., Gallucci F., Scaglione D., "Siloxanes Concentration and Removal in Biomethane from Sewage Sludge". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
144. Torre M., Tomassetti L., Segreto M., Borin D., Tratzi P., Paolini V., Petracchini F., Paris E., Gallucci F., "Development of a long energy action planning for wood biomass in latium, central Italy". 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
145. Vasmara C., Marchetti R., Galletti S., Cianchetta S., Ceotto E. (2019). "Single Autumnal Harvest Provides Higher Biomass and Methane Yield than Double Harvests of Giant Reed (*Arundo Donax* L.)". In stampa sui proceedings della conferenza EUBCE2019