



Indice

Sommario

Indice	2
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.....	17
Task 1.4 Sviluppo e testing sperimentale di algoritmi per la stima efficiente dei consumi delle lavorazioni agricole (ettaro-coltura)	26
Task 1.5 Agricoltura di precisione come tool di efficientamento energetico, ambientale ed economico .	32
Task 1.6 Risparmio energetico nell'irrigazione anche attraverso sistemi di precisione	36
Task 1.7 Sviluppo di un programma di supporto alle decisioni (SSD) per la diagnosi energetica di serre esistenti e la valutazione virtuale di opzioni migliorative	44
Task 1.8 Riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento delle serre	50
WP2: Sviluppo della filiera delle biomasse solide agroforestali.....	53
Task 2.1 Sistemi di compattamento per biomasse residuali.....	56
Task 2.2 Colture e tecniche innovative per la produzione di bioenergia	63
Task 2.3 Valorizzazione delle biomasse lignocellulosiche per la produzione di energia termica	70
Task 2.4 Valorizzazione delle biomasse forestali residuali.....	74
Task 2.5 Recupero di residui lignocellulosici da gestione del verde urbano.....	80
Task 2.6 Potenzialità produttiva e servizi ambientali di colture da energia su suoli marginali.....	91
WP 3: Produzione di biogas negli allevamenti	107
Task 3.1 Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica	109
Task 3.2 Produzione d'inoculi per digestori anaerobici	118
Task 3.3 Nuovo prototipo di digestore a due stadi	123
Task 3.4 Impatto dei biodigestati sulle comunità microbiche sui suoli agrari	127



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

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.....	145
WP4: Bioraffinerie integrate in cicli produttivi agroalimentari.....	147
Task 4.1 Idrolizzati enzimatici a basso tenore di azoto e di inibitori da biomassa lignocellulosica per la filiera del biodiesel di II generazione.....	148
Task 4.2 SCO (Single Cell Oils) da scarti agroalimentari per biodiesel e biolubrificanti	153
Task 4.3 Valutazione di colture oleaginose non alimentari per l'autoproduzione di biocarburanti e/o lubrificanti nei trattori ed in altri utilizzi agricoli	155
Task 4.4 Valutazione sperimentale dell'attitudine di oli "bio-based" all'utilizzo sulle macchine agricole per ridurre l'impatto dei lubrificanti sull'ambiente	162
WP 5: Realizzazione impianti sperimentali, dimostrazioni e divulgazione.	166
Task 5.1 Dimostrazione e divulgazione sull'uso della biomassa da piantagioni dedicate e da formazioni forestali di prossimità territoriale	168
Task 5.2 Produzione dimostrativa di pellet su piccola scala per la valorizzazione della biomassa di diversa origine.....	181
Task 5.3 Verifica della fattibilità del recupero di biomasse erbacee per impianti dimostrativi a biogas..	188
Task 5.4 Sistema innovativo per la valorizzazione agricola del digestato	199
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	244
Task 5.8 Centro dimostrativo per la produzione aziendale di biogas e biometano e l'utilizzo in motorizzazioni sperimentali (gruppi elettrogeni, trattrici)	249
Task 5.9 Organizzazione e archiviazione risultati trasferibili. Formazione, trasferimento partecipato delle conoscenze. Focus group.	251
Elenco completo delle pubblicazioni effettuate sul progetto	256



WP0: 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 quarto anno di attività nonostante l'emergenza pandemica 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 in modalità online interattivo con il team working 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 partecipazione a convegni online, webinar, ecc. 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 quarto 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 online, workshop e altro. Il Coordinatore è sempre a diretto contatto con i WP Leader e i task leader partecipanti al progetto, nonché con l'Ente finanziatore e altri referenti.

2. Risultati e deliverable

Il monitoraggio scientifico e amministrativo interno del progetto è stato ampiamente soddisfatto tramite report interni (mail, note, ecc.). Anche per il monitoraggio esterno da parte dell'ente finanziatore, del Crea ecc., sono stati prodotti rendiconti, relazioni ecc. Infine, l'attività di divulgazione e disseminazione dei risultati è stata realizzata con seminari online, convegni e soprattutto con pubblicazioni scientifiche e divulgative. Infine, 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 a parte l'emergenza sanitaria che ha impedito incontri in presenza con il team working. L'organizzazione dei vari WP e relative task hanno relazioni tali da evitare qualsiasi problema disorganizzativo anche in modalità online.

4. Proposte di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

28th European Biomass Conference and Exhibition - Virtual. 6-9 July 2020

“ENERGIE RINNOVABILI ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO IN AGRICOLTURA BUONE PRATICHE DAL LAZIO” - 10 buone pratiche: pratica n.5 “AGROENER” - local meeting - webinar 15 luglio 2020 – AgroRES - Interreg Europe - Arsiat – Regione Lazio - FIDAF

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 contesto in cui si è sviluppato il 4° anno di attività del WP1 ha compreso un periodo storico eccezionale a seguito dell'evento pandemico causato dal SARS-CoV-2, coronavirus zoonotico agente eziologico di una grave sindrome respiratoria acuta che colpisce gli esseri umani con elevata contagiosità. Tale evento si è innestato nel processo evolutivo verso un livello di sostenibilità maggiore delle attività umane accelerandolo e introducendo misure innovative per indirizzare le scelte politiche e tecniche in tempi stretti (basti citare, a tal proposito, il piano d'azione cosiddetto Green Deal europeo). Tra le conseguenze di tale evento, si ritiene importante sottolineare come le misure ambientali proposte, anche se non tutte con lo stesso grado di apprezzamento, non siano più soltanto indirizzi politici più o meno generici, ma siano ormai entrate nel mercato diventando elementi di competitività. Solo in tal modo è possibile spiegare le recenti azioni commerciali che premiano motorizzazioni efficienti e sostenibili come, ad esempio, l'elettrificazione nelle macchine agricole che prevede di modificare l'attuale proposta tecnica e normativa da oggi al 2030, la diffusione delle motorizzazioni a metano/biometano nelle flotte del settore agroalimentare (autocarri per il trasporto del latte, rete logistica delle catene di distribuzione) che ha addirittura spinto alcune società autostradali a proporre sconti fino al 30% alle motorizzazioni a gas naturale (compresso o liquefatto). In tal modo, quindi, le motivazioni del WP1 si confermano avere una valenza sempre più importante e stringente.

Nel contesto sopradescritto, il WP1 ha finalizzato alcune delle azioni proposte tra cui, nel task 1.1., si è confermata l'importanza della gestione del motore e dei settaggi in particolare per lavorazioni pesanti e trasporti. Il task 1.2 ha proseguito l'individuazione di ulteriori possibilità di alimentare a metano altre macchine agricole oltre al trattore. Il task 1.3 ha confermato l'importanza dell'automazione come elemento di efficientamento di alcune lavorazioni sia agricole sia zootecniche in quanto riduce l'errore umano e può contare su motorizzazioni o trasmissioni elettriche, più efficienti e programmabili rispetto a quelle convenzionali. Il task 1.4 ha introdotto l'importante azione della simulazione e della previsione dei consumi energetici come elemento progettuale teso a prevenire errori di dimensionamento dei cantieri e per ottimizzare i costi energetici. Il task 1.5 ha confermato l'inevitabilità della transizione verso l'agricoltura di precisione. Il task 1.6 ha posto l'accento su uno degli aspetti più delicati della sostenibilità delle produzioni agricole e, cioè, l'utilizzo dell'acqua irrigua in uno scenario di cambiamento climatico. Il task 1.7 ha proseguito l'attività di realizzazione e sperimentazione di sistemi di supporto alle decisioni sugli usi energetici per il controllo microclimatico in serra utilizzando anche tecnologie a basso costo. Il task 1.8, infine, ha introdotto la possibilità di integrare sistemi innovativi per il condizionamento termico invernale di substrati di coltivazione in serra.



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

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

Task leader: Maurizio Cutini (CREA-IT)

Abstract

Le attività condotte nel presente task si propongono di ottimizzare, da un punto di vista energetico, l'utilizzo dei trattori e delle relative operatrici di un'azienda cerealicolo-zootecnica. L'attività del quarto anno ha concluso il principale argomento della scheda, cioè la definizione di un algoritmo semplificato per la valutazione del rendimento energetico di un trattore agricolo.

In particolare, si è introdotto il contributo degli pneumatici nelle lavorazioni in campo e l'importanza della gestione del motore, sia da parte dell'operatore che di sistemi di gestione del carico sul motore e della trasmissione. Difatti, lo studio ha confermato che la gestione del motore risulta essere il parametro di maggiore influenza sull'efficienza energetica del trattore. Sebbene lo studio sia stato sviluppato sull'aratura in quanto ritenuta tra le lavorazioni più gravose in termini energetici, il risultato è immediatamente estendibile all'utilizzo di altre operatrici. L'attività di ricerca sugli pneumatici agricoli si è invece spostata dagli studi sulla trazione, al momento ritenuti sufficienti come indagine per gli scopi del progetto, all'analisi della resistenza al rotolamento, sia su terreno agrario che su trasferimento stradale.

1. Attività svolta

L'attività del quarto anno ha proseguito e completato l'elaborazione di algoritmi semplificati per la valutazione dell'efficienza delle operazioni con il trattore agricolo in campo, da intendersi come ottimizzazione del consumo del gasolio.

I parametri valutati sono stati, principalmente, i seguenti:

- la scelta del trattore, in quanto massa e potenza del motore;
- la modalità di utilizzo della potenza disponibile al motore;
- l'influenza dello slittamento degli pneumatici nelle operazioni di trazione su suolo agrario;
- l'influenza degli pneumatici sia nella resistenza al rotolamento che come capacità di trazione.
- la combinazione di trattore ed operatrice.

L'algoritmo su cui si è basato lo studio è stato presentato nella prima fase del progetto ed è stato ottenuto da una regressione effettuata sui dati di 100 trattori riportati sui rapporti dei codici OCSE 2 ($R^2=0.99$, Eq. 1):



$$P_{db}=0.918 \cdot P_{PTO}-0.026 \cdot W \cdot s-0.009 \cdot P_{PTO} \cdot \% P_{db}=0.918 \cdot P_{PTO}-0.026 \cdot W \cdot s-0.009 \cdot P_{PTO} \cdot \% \quad (1)$$

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.

Sulla base dell'equazione 1 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. L'equazione ottenuta ha, però, evidenziato che la migliore efficienza si ottiene con valori di slittamento dell'ordine del 10%, mentre i test di trazione degli pneumatici agricoli sono solitamente svolti a partire dal 15%. Questo risultato è, difatti, di notevole importanza, in quanto sottolinea che i test di trazione degli pneumatici agricoli devono essere effettuati anche, e soprattutto, a bassi valori di slittamento (7-10%). Di conseguenza in questo secondo approccio alla relazione tra la massa del trattore e lo slittamento, è stata utilizzata l'equazione dell'ASAE (2003) che, tuttavia, conferma che la relazione massa slittamento non è lineare.

Lo sviluppo dell'algoritmo è stato completato ipotizzando un lavoro in campo di trazione pesante, quale l'aratura. La forza di trazione richiesta dall'operatrice è stata calcolata secondo l'ASAE 2003. In dettaglio, è stato preso in considerazione un aratro a versoio, larghezza di lavoro 1,8 m, profondità di lavorazione 0,3 m, velocità di avanzamento, impostata senza considerare lo slittamento, 7 km/h.

La modalità di utilizzo della potenza del motore, cioè a quale regime di giri e quale impostazione di mandata del gasolio, è stata sintetizzata nel dato del consumo specifico. Per tale dato è stata utilizzata una curva di potenza di un trattore compatibile con la lavorazione simulata testato presso la sala prove motori del CREA di Treviglio.

Un altro dato che scientificamente non presenta una chiara interpretazione dell'influenza sull'efficienza delle operazioni in campo è la capacità di trazione degli pneumatici agricoli. A parte differenti marche o modelli, i parametri quali la pressione di gonfiaggio, la larghezza, l'adozione di tipologie a bassa pressione, possono influire significativamente sulla capacità di trazione in campo.

Nella pratica è fondamentale definire che la forza di trazione al gancio è definita dall'operatrice. Di conseguenza, uno pneumatico con una maggiore capacità di trazione non svilupperà più forza ma ridurrà lo slittamento o, similmente, potrebbe consentire l'adozione di un trattore più leggero.



A tal fine sono stati analizzati i dati di 18 differenti prove di trazione di pneumatici agricoli su suolo agrario condotte presso il CREA-IT di Treviglio e si è elaborato un dato di deviazione standard che potesse essere inserito nell'algoritmo.

A questo punto risultava possibile valutare l'influenza dello slittamento, delle modalità di utilizzo del motore e delle proprietà trattive degli pneumatici sull'efficienza dell'operazione quantificata come kg di gasolio per ettaro lavorato.

Un altro tema fondamentale per il progetto e su cui si è proseguita l'attività sono le prestazioni degli pneumatici agricoli. Se in parte abbiamo già accennato sopra ed utilizzato determinati risultati nell'algoritmo, il progetto ha evidenziato l'importanza dell'analisi del comportamento della resistenza al rotolamento su campo.

L'argomento è particolarmente innovativo ed interessante sia perché la letteratura è fortemente lacunosa e contraddittoria, sia per il risultato accennato della importanza di mantenere lo slittamento attorno al valore del 10%.

Vista la potenza richiesta in trazione e valutate le elevate perdite per gli alti valori di slittamento, la resistenza al rotolamento degli pneumatici sul campo è sempre stata ritenuta trascurabile oppure che non presentasse differenze significative tra le varie scelte sopra riportate, cioè bassa pressione e masse elevate per ridurre lo slittamento. Invece, il requisito di mantenere lo slittamento al 10% porta ad un livellamento delle scelte operabili sul trattore a beneficio della scelta della giusta massa. La questione è che la letteratura presenta delle contraddizioni frutto di una non chiara definizione di rotolamento dello pneumatico su campo.

Di conseguenza, attualmente, abbiamo utilizzato nell'algoritmo coefficienti da prove condotte presso il CREA di Treviglio o di letteratura, ma, a seguito dei risultati di quest'anno, non sembra più un'approssimazione accettabile.

2. Risultati e deliverable

Uno dei temi principali della task del progetto è la definizione dell'uso ottimale del trattore nelle operazioni tipiche di un'azienda cerealicola foraggera. Pertanto, ci si è focalizzati sullo sviluppo di un algoritmo che fosse facilmente applicabile a tutti i trattori ed alle relative operazioni, anche senza la necessità di disporre di dettagliati dati geometrici o prestazionali.

I primi risultati scaturiti dalle analisi e dalle simulazioni effettuate sono stati molto interessanti perché spesso in contrasto con quanto riportato in letteratura od addirittura con linee guida elaborate su come condurre determinate operazioni. Riteniamo, tuttavia, che le considerazioni dello stato dell'arte non riportassero errori ma fossero il frutto di sperimentazioni condotte con trattori che ancora non possedevano la possibilità di gestione della trasmissione e del motore degli attuali

trattori agricoli. Con un trattore con cambio manuale risulterebbe piuttosto complesso porre il motore nelle condizioni di lavoro raccomandate da questo studio. Anche un trattore con possibilità di cambiare sotto carico (power shift) avrebbe comunque limitate possibilità di scelta nell'utilizzo della curva del motore, sebbene potrebbe già consentire la possibilità di un efficiente utilizzo.

L'avvento delle trasmissioni a variazione continua, unite ad un sistema di gestione elettronica delle curve a carico parziale, consente un agevole gestione da parte dell'operatore, per altro spesso automatica, dell'utilizzo della curva di potenza del motore nei punti di maggiore efficienza.

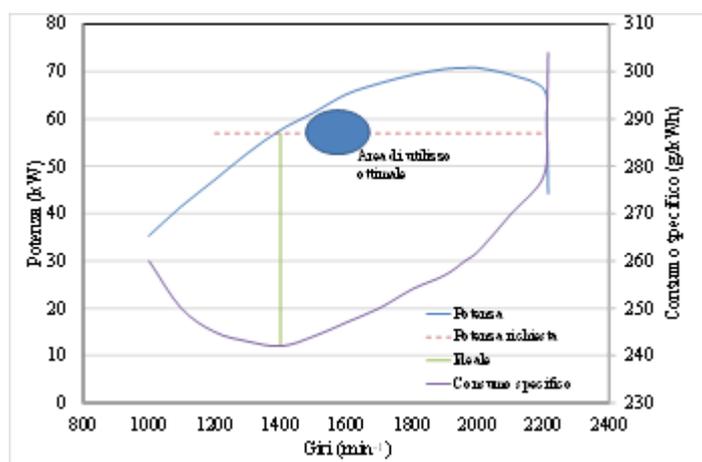


Fig. 1: Esempio di un ottimale area di utilizzo della curva di un motore di un trattore agricolo in funzione della potenza richiesta

Nell'ambito di questo progetto è stato evidenziato come il porre il motore nel corretto regime di giri e carico, sia la variabile con più peso nell'ambito dell'efficienza della lavorazione. Qualora, nel caso di operazioni con elevate richieste della forza di trazione, si prestasse attenzione anche al corretto valore dello slittamento, parametro ottenibile semplicemente con la corretta massa del trattore, l'operatore avrebbe già conseguito un eccellente valore di efficienza.

Questa evoluzione tecnologica, comunque ormai diffusa anche su trattori non a variazione continua, ha evidenziato come risulti meno importante, rispetto ad un tempo, la ricerca del maggior valore di forza di trazione possibile da un trattore e, anzi, come potrebbe addirittura risultare negativa.

Difatti, lo studio ha evidenziato come un trattore sottodimensionato non risulti solo leggero, con conseguente perdita di efficienza per lo slittamento, ma non consenta nemmeno di lavorare al corretto regime di giri essendo obbligatoriamente in prossimità della richiesta di potenza massima ed abbia, inoltre, pneumatici di ridotte dimensioni con conseguenti ridotte prestazioni di trazione.



Stesso discorso per un trattore eccessivamente sovradimensionato, ad indicare come la scelta della corretta combinazione del trattore e dell'operatrice coinvolga tutti i parametri, sebbene anche in modo non correlato, che partecipano all'efficienza dell'operazione.

La ricerca sulle prestazioni degli pneumatici agricoli ha evidenziato che le caratteristiche geometriche delle impronte su suolo deformabile determinano la capacità di trazione. Tramite la misura di semplici parametri quali lunghezza, larghezza e profondità è possibile determinare la forza di trazione al variare dello slittamento. I risultati sono in corso di pubblicazione.

Sulla base di tali risultati è stato anche elaborato un modello previsionale FEM delle impronte degli pneumatici agricoli a partire dalle caratteristiche elastiche verticali e dalla misura.

Tuttavia, i risultati ottenuti nel corso del progetto, come accennato, hanno posto in evidenza l'importanza della resistenza al rotolamento, fino ad oggi considerata come un termine costante e comunque trascurabile rispetto alla potenza impiegata nell'operazione desiderata. L'ottimizzazione dell'uso del trattore evidenziata dai risultati del presente progetto ha evidenziato come tale perdita di potenza non risulti trascurabile e richieda attenzione.

Come accennato in letteratura vi sono considerazioni contrastanti per cui si possono trovare discussioni per cui uno pneumatico a bassa pressione offra una resistenza al rotolamento migliore di un convenzionale. Poiché tale affermazione ci sembra in contrasto con i nostri rilievi, abbiamo deciso di approfondire la questione ed effettivamente è emerso che le condizioni del suolo ed il carico sullo pneumatico hanno un effetto significativo sulla scelta delle condizioni di lavoro.

Di conseguenza, riteniamo indispensabile investigare ulteriormente la resistenza al rotolamento degli pneumatici agricoli in quanto determinante per la scelta della massa del trattore.

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



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; <https://doi.org/10.18174/471679>

Cutini, M.; Brambilla, M., Bisaglia, C., Pochi D., Fanigliulo R. 2020. *Efficiency of tractor drawbar power taking into account soil-tire slippage*. Innovative Biosystems Engineering for sustainable agriculture, forestry and food production, International Mid-Term Conference 2019 (AIIA). Matera, September 12-13, 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 67, 409-417; <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39299-4>

Cutini M., Costa C., Brambilla M., Bisaglia C., 2021. *Prediction of the traction performance of agricultural tires from 3D footprint shape*. Journal of Terramechanics, JTerra_2019_57, **Under review**

Anifantis A.S., Cutini M., Bietresato M. 2020 [An Experimental–Numerical Approach for Modelling the Mechanical Behaviour of a Pneumatic Tyre for Agricultural Machines](#). Applied Sciences 10 (10), 3481. Doi: 10.3390/app10103481

Cutini, M.; Brambilla, M., Bisaglia, C., Pochi D., Fanigliulo R. 2021. *A Simplified Algorithm for the Optimal Setting of the Factors Affecting Agricultural Tractor Fuel Consumption During Heavy Drawbar Tasks*. Ageng 2021 Conference “New Challenges for Agricultural Engineering towards a new world, Evora, Portugal, July 4-8, 2021. **Submitted**



Task 1.2 Trattori ad alimentazione esclusiva o combinata a biometano

Task leader: Carlo Bisaglia

Abstract

Durante il presente periodo di attività è stato individuato un gruppo di macchine operatrici semoventi che possono affiancare il trattore il quale, inizialmente, era stato individuato come l'unico possibile destinatario di questa trasformazione. Oltre al carro miscelatore semovente a botte rotante, oggetto della precedente relazione, è stato individuato un secondo carro miscelatore ed un caricatore telescopico. Queste due attrezzature, però, non sono state trasformate dal costruttore stesso, ma sono state trasformate come esemplari unici da una ditta specializzata a dimostrazione del fatto che, purtroppo, attualmente non molti costruttori di macchine agricole, anche se importanti sul mercato nazionale e internazionale, scommettono sull'utilizzo del biometano nel settore agricolo, nonostante la recente diffusione di autocarri a metano/biometano anche nel settore agro-industriale (ad es.: per il trasporto di prodotti lattiero caseari, agroindustriali, logistica a medio e lungo raggio) facciano intravedere uno sviluppo importante di questa motorizzazione. L'attività dell'anno, pertanto (ridotta anche dalle restrizioni del periodo pandemico) è stata limitata alla ricerca delle poche soluzioni immesse nel mercato, alla redazione di articoli e alla pianificazione di attività sperimentali nel periodo successivo.

1. Attività svolta

Terminate le prove sperimentali su trattore e carro miscelatore (vedi relazioni anni precedenti) si è svolta un'ulteriore ricerca sia presso i costruttori sia presso i trasformatori non OEM di macchine agricole motrici e semoventi. Il costruttore più attivo a riguardo si è confermato CNH che nel periodo di riferimento ha sviluppato e iniziato i test su un trattore specializzato a cingoli per frutteto/vigneto (Fig. 1) caratterizzato da un motore da 2800 cm³ di cilindrata a 4 cilindri con 2 valvole per cilindro, potenza massima di 55 kW (75 CV) progettato senza i dispositivi anti-inquinamento oggi necessari sulle motorizzazioni a gasolio (EGR, SCR, DPF) e che nei trattori specializzati hanno rappresentato una forte criticità per gli ingombri che richiedono e che non sono facilmente collocabili nei trattori specializzati, stretti e bassi; il controllo delle emissioni è stato affidato ad convertitore catalitico a tre vie, senza manutenzione, di derivazione automobilistica.



Fig. 1 – Il prototipo di trattore specializzato in prova presso l'azienda vitivinicola Fontanafredda, Serralunga d'Alba (CN) (Foto: CNH Industrial)

Per quanto riguarda il settore non OEM, si sono rinnovati i contatti con Ecomotive Solutions Srl di Serralunga di Crea (AL) con il quale si sono individuate alcune soluzioni già attuabili e alcune di esse già disponibili presso aziende agricole commerciali (carri miscelatori e caricatori telescopici), su cui è in programma una serie di prove non appena la situazione imposta dalla pandemia lo permetterà (Fig. 2).



Fig. 2 – Caricatore telescopico trasformato a metano/biometano da una ditta specializzata. Si nota la posizione delle bombole sotto la cabina e sopra la ruota posteriore sinistra

2. Risultati e deliverable



E' stato realizzato un articolo divulgativo sulla trasformazione a metano di un carro miscelatore, ma uno anche sull'elettrificazione che, sebbene non oggetto del presente task in quanto all'epoca della presentazione del Progetto non sembravano esserci i presupposti concreti per tale comparto, dal 2020 e con previsioni nel decennio 2021-2030 si ipotizzano forti sviluppi del settore con produzioni sia di trattori sia di macchine operatrici elettriche, con redazione di norme specifiche e standard che riguarderanno l'intera filiera della meccanizzazione incluse le componenti (ad esempio la presa di potenza meccanica potrebbe essere affiancata/sostituita da quella elettrica), soprattutto nel comparto delle colture specializzate.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Il settore industriale della meccanizzazione agricola sembra non credere (e non investire, a parte poche aziende) allo sviluppo delle motorizzazioni a metano/biometano, mentre sembra molto più attratto dall'elettrificazione, per lo meno nel settore delle macchine specializzate (frutteto/vigneto, movimentazione) forse anche in vista di uno sviluppo dell'automazione sempre più probabile.

Il comportamento dell'industria agro-meccanica sembra in controtendenza con quello del settore dei trasporti (anche di prodotti agro-industriali) in cui si è registrato proprio in questo periodo di riferimento un forte impulso sia produttivo (li adottano, sia per il corto che per il lungo raggio, ditte del settore come, solo a titolo di esempio, Granarolo, 3A Latte Arborea, Igor Gorgonzola, Mukki, Consorzio Latterie Virgilio, Orogel, Lidl, Conad, Coop, Barilla, Caviro, Cereal Docks e molte altre) sia amministrativo (riduzione dei pedaggi del 30% sulle autostrade A35 e A58 per i veicoli alimentati a gas naturale o elettrici così come avviene anche in altri Paesi europei in un'ottica "Green deal").

Si evidenzia, pertanto, che l'ostacolo principale alla metanizzazione delle macchine agricole non sembra risiedere nel presente progetto, ma in una mancanza di prospettiva - forse anche di carattere normativo e di incentivi, anche economici – che il settore agricolo non sembra oggi offrire.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

La più importante attività integrativa riguarda l'inclusione nel presente task (come già richiesto in precedenza) delle macchine semoventi agricole oltre al trattore, ma anche di quelle per la logistica la cui trasformazione in veicoli a biometano sembra attualmente molto più veloce e promettente di quella del trattore stesso.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

La tematica è stata introdotta in un corso di meccanizzazione in agricoltura tenuto dal task leader e in una pubblicazione divulgativa

6. Elenco pubblicazioni



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Bisaglia C., Brambilla M., Cutini M. 2020. Rotomix 6000 Eco 5: una motorizzazione virtuosa. MAD-
Macchine Agricole Domani 17(5): 26-31. ISSN: 1724-8159.



Task 1.3 Meccanizzazione ad elevata automazione per l'efficiamento energetico

Task leader: Alberto Assirelli

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

Referente: Alberto Assirelli

Per quanto riguarda la linea 1 sono proseguite le attività inerenti ai settori colture arboree legate al contenimento dei costi di diradamento fiori e frutti con valutazione di nuova versione di macchina evoluta in termini di elementi di lavoro. Sono state eseguite prove su albicocco e analisi economiche dei risparmi conseguibili.

Si è continuato ad operare sulla raccolta dei frutti di gelso e anche sulla raccolta dei coni di luppolo cercando di valutare nei nostri areali soluzioni applicabili a costi contenuti e con basso input energetici.

Sono stati valutati i risultati di test sulla raccolta di fibra industriale di canapa sempre con l'approccio di riduzione dei costi e versatilità delle tecnologie disponibili prima di iniziare lo sviluppo di tecnologie mirate ma spesso caratterizzate da notevoli investimenti.

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

Referente: Alberto Assirelli

Nell'ambito della linea 2 si è seguito lo sviluppo di una nuova macchina per il diradamento dei fiori e frutti nella quale sono state modificati sia aspetti strutturali sia funzionali. La nuova versione sviluppata rimane caratterizzata sempre da ridotto assorbimento energetico ed in grado di abbattere significativamente il lavoro necessario per l'operazione in grado di influire direttamente sui costi di produzione.

È stata seguito e perfezionato il cantiere di agevolazione per la raccolta dei frutti di gelso che ha permesso un notevole contenimento dei costi con possibilità di avvio di una filiera dedicata.

È stata valutata negli areali italiani una macchina per la raccolta del luppolo generalmente limitata agli areali nord europei i cui primi rilievi hanno mostrato interessanti prospettive.

Sul settore zootecnico sono proseguiti i rilievi sull'automazione in stalla, robot di mungitura e sistemi di automazione in stalla al momento riferiti ad impianti bovini da latte, ma in buona parte estensibili anche al settore carne.



Linea 3 di attività: valutazione della sostenibilità economica ed energetica

Referente: Alberto Assirelli

Sono state effettuate analisi economiche partendo dalle performance rilevate sulla macchina diradatrice di fiori e frutti valutata su pesco ed albicocco.

Analoghe valutazioni sono state condotte sulla macchina agevolatrice provata lo scorso anno per la raccolta dei frutti di gelso.

La peculiarità di entrambe le soluzioni rispecchiano criteri di semplicità ed affidabilità tecnica e funzionale.

Sono analogamente state valutate sia la separatrice dei coni di luppolo sia il sistema di raccolta fibra di canapa industriale per la possibilità di contenimento costi nell'applicazione di tecnologie mature adeguatamente implementate in termini di versatilità.

Linea 4 di attività: Promozione attività dimostrative, divulgative e informative

Referente: Alberto Assirelli

I dati raccolti sulla diradatrice sono stati oggetto di diverse pubblicazioni nazionali su riviste specializzate ed internazionali su riviste con Impact factor, come anche per agevolatrice frutti gelso, separatrice coni luppolo e tecnologia disponibile per raccolta canapa industriale da fibra.

Abstract

Nel corso della quarta annualità sono proseguite attività su diversi settori individuati in base al criterio di riduzione lavoro manuale e introduzione di soluzioni poco impattanti e poco energivore prevalentemente nei settori frutticolo diradamento fiori e frutti oltre a raccolta frutti gelso per consumo fresco e disidratato, erbaceo brassicolo per valutazioni tecnologie economiche per separazione coni di luppolo e canapa per meccanizzare in approccio economico e sostenibile la raccolta della fibra ad uso industriale. Per quanto riguarda il settore zootecnico si è lavorato sull'introduzione di automazione estesa alle principali operazioni di conduzione delle principali operazioni di stalla, inizialmente nel settore latte ma in buona parte estensibili anche al settore carne e riproduzione.

Delle tecnologie esaminate più approfonditamente sono state svolte analisi tecnico economiche partendo dalle performance rilevate per singole attività tutte le realtà individuate agricole e zootecniche hanno comportato significativi abbattimenti dei costi, sempre oltre il 20% soprattutto nel settore frutticolo di diradamento e raccolta, mentre per quanto riguarda il settore zootecnico ci si è limitato all'introduzione di soluzioni sempre già ampiamente disponibili e generalmente



caratterizzate da azionamento elettrico nel pieno rispetto delle attuali tendenze di sviluppo energetico. Per tutte le attività si è già provveduto a divulgazione nazionale, internazionale presso riviste specializzate, indicizzate o conferenze internazionali.

1. Attività svolta

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

Per quanto riguarda la linea 1 sono proseguite le attività inerenti ai settori colture arboree legate al contenimento dei costi di diradamento fiori e frutti.

Si è approfondita l'esperienza sulle agevolatrici per la raccolta dei frutti di gelso e una altra esperienza positiva ha riguardato la coltura del luppolo da birra, attività ancora pressoché integralmente condotta manualmente valutando l'introduzione di tecnologie nord-europee che seppur piuttosto datate si sono rivelate molto interessanti ed applicabili a costi contenuti. In quest'ottica si è valutata l'introduzione della separazione meccanica dei coni di luppolo cercando di valutare nei nostri areali soluzioni applicabili a costi contenuti e con basso input energetici.

Sono stati valutati i risultati di test sulla raccolta di fibra industriale di canapa con tecnologie diffuse e disponibili a costi contenuti sempre con l'approccio di riduzione dei costi e versatilità delle tecnologie disponibili prima di iniziare lo sviluppo di tecnologie mirate ma spesso caratterizzate da notevoli investimenti.

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

Nell'ambito della linea 2 si è seguito lo sviluppo di una nuova macchina per il diradamento dei fiori e frutti nella quale sono state modificati sia aspetti strutturali sia funzionali. Dopo le prime esperienze eseguite con un primo modello risultato nel complesso meno efficiente sono state introdotte modifiche soprattutto agli elementi di lavoro rendendoli più rigidi e meno elastici con maggior capacità di penetrazione nella chioma e maggior resistenza a flessione soprattutto in presenza di ostacoli. La valutazione della nuova versione di macchina ha riguardato impianti di albicocchi allevati a spalliera presso un'azienda frutticola romagnola. Sono state rilevate le performance, i fabbisogni di lavoro ausiliario di diradamento manuale e rifinitura, le produzioni totali ottenute con riferimento anche alla qualità dei frutti raccolti in confronto con quanto ottenuto con le tradizionali operazioni eseguite manualmente. La nuova versione sviluppata rimane caratterizzata sempre da ridotto assorbimento energetico ed in grado di abbattere significativamente il lavoro necessario per l'operazione in grado di influire direttamente sui costi di produzione.



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

È stata seguito e perfezionato il cantiere di agevolazione per la raccolta dei frutti di gelso che ha permesso un notevole contenimento dei costi con possibilità di avvio di una filiera dedicata sia da consumo fresco sia disidratato.

È stata introdotta e valutata negli areali italiani una macchina per la separazione dei coni di luppolo fase molto importante della raccolta del luppolo. Tale tecnologia fino ad alcuni anni addietro generalmente limitata agli areali nord-europei i cui primi rilievi nazionali su due modelli importati hanno mostrato interessanti prospettive.

Sul settore zootecnico sono proseguiti i rilievi sull'automazione in stalla, robot di mungitura, sistemi di alimentazione e pulizia automatizzati. Tali soluzioni sono state valutate al momento in stalle da latte, ma in buona parte estensibili anche al settore carne.

Linea 3 di attività: valutazione della sostenibilità economica ed energetica

Sono state effettuate analisi economiche partendo dalle performance rilevate sulla macchina diradatrice di fiori e frutti valutata su pesco ed albicocco. Partendo dalle performance rilevate e dallo studio dei tempi di lavoro sono state effettuate valutazioni economiche sulle conseguenze che l'applicazione di tali tecnologie possono comportare sul piano economico delle aziende agricole interessate. Sul piano economico l'abbattimento dei costi di manodopera supera il 20% rispetto agli interventi completamente manuali; sul piano energetico la macchina completamente folle richiede solo il traino per cui risulta estremamente poco energivora potendo essere collegate a qualsiasi trattrice anche di modesta potenza motrice.

Analoghe valutazioni sono state condotte sulla macchina agevolatrice provata lo scorso anno per la raccolta dei frutti di gelso. In questo contesto la riduzione dei costi di raccolta risulta ancor più marcata ed il sistema non presenta alcun sistema di azionamento, estremamente semplice e funzionale rispettando i massimi criteri di sostenibilità. La peculiarità di entrambe le soluzioni rispecchiano criteri di semplicità ed affidabilità tecnica e funzionale.

Per quanto riguarda la separatrice dei coni di luppolo, il vantaggio in termini di performance è notevole rilevando che la resa della raccolta manuale difficilmente supera i 2 kg/h e tutto il funzionamento è realizzato con due modesti motori elettrici.

Il sistema di raccolta fibra di canapa industriale ha validato la possibilità di utilizzare falcia-trincia-caricatrici da foraggio, opportunamente modificate per la raccolta di canapa da fibra frazionata a pochi cm per uso industriale non tessile con contenimento dei costi di raccolta rispetto ai cantieri tradizionali e riduzione dei numeri di passaggi in campo ad uno. L'applicazione di tecnologie mature adeguatamente implementate rappresenta un buon successo anche in termini di versatilità.

Linea 4 di attività: Promozione attività dimostrative, divulgative e informative



I dati raccolti sulla diradatrice sia in prima versione sia con la seconda versione sono stati oggetto di diverse pubblicazioni nazionali su importanti riviste specializzate ed internazionali su riviste con Impact factor, e presentate a convegni nazionali ed internazionali.

Anche le esperienze condotte con l'agevolatrice frutti gelso è stata oggetto di pubblicazione internazionale su rivista indicizzata come anche la separatrice coni luppolo e raccolta canapa industriale da fibra, queste ultime due hanno guardato la rivista internazionale Sustainability in piena pertinenza con la linea 3 della presenta Task.

2. Risultati e deliverable

D1.3.1 - D1.3.2 – D1.3.3 – D1.3.4

Per quanto riguarda la nuova versione di diradatrice i risultati sono stati particolarmente interessanti in quanto si è visto come la macchina si comporti in modo diversificato a seconda della lunghezza del ramo, del suo orientamento e posizione. L'intervento meccanico ha portato all'abbattimento di oltre il 40% del carico totale frutti e lasciandone circa il 30% per operazioni di rifinitura manuale. Il carico stabilito per la varietà ed altre condizioni per l'annualità di prova ha comportato l'eliminazione di circa il 70 % del carico fruttifero lasciando sulla pianta circa il 30%. In termini di quantitativo di lavoro necessario l'area trattata solo manualmente con l'ausilio di carro raccolta ha portato ad un carico di lavoro di oltre 50 h/ha mentre successivamente all'intervento della macchina, l'operazione di rifinitura manuale ha comportato una richiesta di lavoro pari a 18 h/ha con una riduzione di quasi 3 volte del lavoro necessario.



Figura 1-Particolare delle prove con nuova versione di operatrice

Per quanto riguarda la lunghezza dei rami, si è notata una maggior efficienza di diradamento sui rami di lunghezza superiore ai 60 cm anche se con incidenza non molto marcata e ad eccezione dei rami sotto i 40 cm inseriti in modo radiale. Riguardo alla posizione dei rami sulla pianta, è stato rilevato una percentuale di frutti caduti maggiore dopo i due passaggi della macchina nei rami longitudinali, percentuale crescente in maniera proporzionale alla lunghezza del ramo. La presenza di frutti sollecitati ma che poi sono caduti solo dopo 3 gg ha riguardato prevalentemente i rami normali al filare e di lunghezza entro i 40 cm o superiore ai 60 cm.

Molto contenuti sono risultati sia il danneggiamento ai rami ed ai frutti. Considerando tre intervalli temporali, 1° passaggio, 2° passaggio e 3 gg dopo secondo passaggio si è potuto notare come il primo passaggio determina la caduta di circa il 10% dei frutti, il secondo di un ulteriore 15 con maggior efficienza di diradamento sui rami longitudinali sotto i 40 cm ed oltre i 60.

L'effetto di penetrazione nella chioma si è mostrato soddisfacente con bassa presenza di rami sfuggiti agli elementi di lavoro della macchina.

Per quanto riguarda invece la validazione di macchine per la separazione dei coni di luppolo si sono evidenziate alcune particolarità degne di nota, in particolare si sono provate macchine piuttosto

datate ma sconosciute nei nostri areali che si stanno affacciando alla coltivazione del luppolo. Tali macchine agiscono per pettinamento su contrasto di coppie di rulli effettuando il distacco e la pulizia dei coni tramite apposito sistema di pulizia. Sono generalmente ad alimentazione elettrica e con modeste richieste di potenza motrice suscitando interesse sotto diversi aspetti anche per aziende di modesta superficie.



Figura 2 – Particolari di coltivazione e separatrice dei coni utilizzata nei rilievi.

I risultati salienti sono prevalentemente rappresentati dall'aumento di circa 50 volte del rendimento del lavoro passando dai circa 2 kg/h della raccolta manuale rilevata su più varietà agli oltre 100 kg/h ottenuti addirittura con settaggio intermedio della raccogliatrice. I coni non raccolti o danneggiati sono sempre risultati al di sotto del 10% per cui modesti interventi di adeguamento ed un corretto settaggio della picking machine può rappresentare una valida opportunità per la filiera brassicola nazionale.

Per quanto riguarda l'esperienza su canapa sono stati elaborati dati e tecnologie relative a prove di raccolta con falciatrici-caricatrici modificate a livello di apparato trinciante per allungare le distanze di taglio e agevolare la separazione fibra canapulo. La coltura in prova era stata lasciata a macerare per alcuni mesi e la raccolta era stata effettuata nel mese di dicembre.



Figura 3 – Particolari della raccogliatrice e delle due frazioni ottenute parzialmente già separate dalla macchina.

Le performance della raccogliatrice sono rimaste interessanti di poco superiori ai 2 ha/h ed il prodotto ottenuto è stato suddiviso in 5 classi di lunghezza per il canapulo (<1;1-2;2-3;3-4;>4cm) e tre per la fibra (<5;5-10;>10cm), tutti intervalli ampiamente utilizzabili dall'industria per diverse tipologie di impieghi. Da sottolineare la buona separazione direttamente in campo fra fibra e canapulo prevalentemente imputabile al sistema pneumatico di trasporto della macchina.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Non sono state riscontrate particolari criticità

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nulla

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

28°European Biomass Conference and Exhibition

6. Elenco pubblicazioni

2020 Assirelli Alberto; Carbone Katia; Ciccoritti Roberto; "Mechanical hop-picking solutions in Italian cultivated areas" Sustainability 2020, 12(12), 5006, <https://doi.org/10.3390/su12125006>

2020 Assirelli, A., Re, L.D., Esposito, S., Cocchi, A., Santangelo, E. The mechanical harvesting of hemp using in-field stand-retting: A simpler approach converted to the production of fibers for industrial use. Sustainability, Volume 12, Issue 21, 1 November 2020, Article number 8795, Pages 1-12

2021 Assirelli, A., Caracciolo, G., Stagno, F., Rocuzzo, G. Diradamento meccanico frutti: buoni risultati su albicocco. L'informatore Agrario 11/2021, pg 48-50



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020



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 Fanigliulo, 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 stato pubblicato un articolo su una rivista internazionale con IF che copre alcuni interessanti aspetti sulle stime economiche dei cantieri forestali. Sul sito del progetto sono stati pubblicati i modelli di ettarocoltura per 6 differenti tipologie di lavorazione. La parte client dell'infrastruttura software è stata realizzata. È in corso la concezione e lo sviluppo di modelli innovativi basati su algoritmi di intelligenza artificiale con il CNR IVALSÀ per la realizzazione di modelli di ettarocoltura in campo forestale.

1. Attività svolta

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

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



Linea 2 di attività: Sviluppo dei modelli matematici multivariati

Su un set di dati è stata sviluppata una modellistica previsionale per la stima di costi e dei consumi su 6 operazioni colturali (226 osservazioni; Aratura, Concimazione, Diserbo, Erpicatura, Semina, Trinciatura residui) basata su modelli di regressione multivariata 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 stato pubblicato un articolo su rivista internazionale con IF 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 è stata implementata su internet e pubblicata. È stata 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.

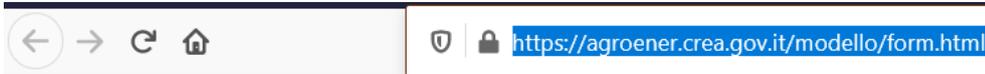
È stata effettuata una ricerca bibliografica al fine di conoscere a livello internazionale come vengono applicati modelli per la ettarocoltura nel settore forestale. Parte dei risultati di tale ricerca sono presenti nella pubblicazione allegata (Proto et al., 2020).

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 ed è disponibile sul sito: <https://agroener.crea.gov.it/modello/form.html>



Progetto AGROENER

Ettarocoltura calculator

Step 1: Dati Lavorazione

Tipologia

Fuori tempera

Ritorno a vuoto

Step 2: Dati Agronomici

Tempo per unità di superficie (h/ha)

Step 3: Dati Meccanici

Potenza del motore/potenza richiesta (kW)

Step 4: Dati Economici

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

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

CALCOLA

È stata sviluppata una webApp per l'esecuzione on-line dei modelli predittivi sull'ettaro-coltura.

Il Software sviluppato è costituito da un programma java che implementa l'algoritmo per l'esecuzione del modello, prende in input le variabili e restituisce in output il risultato. La scelta di java è fondamentale per poter render il programma multi-piattaforma, permettendo così l'impiego del modello su qualsiasi ambiente software.

L'interfaccia web del modello è stata sviluppata utilizzando la tecnologia html, per la maschera di inserimento delle variabili, la tecnologia php che prepara le variabili immesse dall'utente ed esegue il modello visualizzando l'output su pagina web.



Infine, attraverso un database Mysql si tiene traccia dell'impiego del modello, memorizzando i valori in input e il risultato. Il database è gestito tramite il php.

L'infrastruttura e i server impiegati sono dell'ente gestiti dal centro IT, presenti sul cloud Azure.

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; Proto et al., 2020) 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 sono già state realizzate tre pubblicazioni su riviste internazionali con Impact Factor.

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.



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

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.

Proto AR, Sperandio G, Costa C, Maesano M, Antonucci F, Macrì G, Scarascia Mugnozza G, Zimbalatti G, 2020. A three-step neural network artificial intelligence modelling approach for time, productivity and costs prediction: a case study in Italian forestry. CROATIAN JOURNAL OF FOREST ENGINEERING, 41: 35-47.



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

L'agricoltura di precisione è ormai diventata una prospettiva ineludibile del panorama agricolo. L'Italia è passata dall'1% di SAU gestita con tali tecniche nel 2015 al 4% della fine del periodo considerato nella presente relazione (Stime MiPAAF). Sono sorte realtà importanti (Bonifiche Ferraresi a solo titolo di esempio), ma anche aziende di dimensioni minori e imprese di contoterzisti che hanno iniziato a dotarsi di applicazioni per l'agricoltura di precisione con una forte diffusione soprattutto dei sistemi di guida automatica. Dalle indagini effettuate, infatti, la principale limitazione allo sviluppo dell'agricoltura di precisione risiede nel fatto che essa rappresenta un'innovazione di processo e non (solo) di prodotto e che la messa a punto di questo processo richiede competenze multidisciplinari di cui molte extra-agricole. Inoltre, molte applicazioni, tra cui in particolare quelle a dose variabile, richiedono la definizione di protocolli operativi la cui difficoltà ed applicabilità era stata inizialmente sottostimata.



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.

In questa attività si sono implementati i trattori delle aziende agricole sperimentali del CREA-IT in entrambe le sedi di sistemi di guida automatici sia nelle versioni a 4 ruote motrici che a 2 ruote motrici. Sono state utilizzate le due tecnologie che prevedono l'utilizzo di volanti elettrici/elettronici o idraulici.

E', inoltre, iniziata una sperimentazione di un importante costruttore di trattori italiano di un sistema di guida elettrico a joystick che sembra offrire i vantaggi della guida automatica con quelli di un aumento della visibilità dovuto all'assenza dell'ingombro di volante/cruscotto/piantone; alcune sperimentazioni si svolgeranno presso la sede di Treviglio dove si è ipotizzato di realizzare una serie di filari artificiali per questa ed altre sperimentazioni in atto.

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

Si sono valutati i cantieri che sembrano più promettenti nell'introdurre maggior efficienza. Tali cantieri sono quelli cosiddetti a rateo variabile o a dose variabile; in particolare si sono valutati i cantieri per la concimazione organica di fondo, i cantieri per la concimazione minerale di copertura, i cantieri per la distribuzione di erbicidi in pre- e post- emergenza e i cantieri per la semina a dose variabile.

Inoltre, si sono valutati alcuni cantieri per la raccolta di cereali da insilare (raccolti-trincia-caricatrici semoventi) per la loro possibilità di fornire mappe georeferenziate di produzione da utilizzare nel processo decisionale come, ad esempio, quello della concimazione.

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

Tale linea di attività ha posto in evidenza soprattutto il ruolo della guida automatica che consente di evitare fino al 10% di SAU percorsa più volte a causa dell'imprecisione introdotta dall'uomo; si è osservato che la riduzione dei passaggi riduce non solo il numero di passaggi stessi, ma soprattutto il numero di svolte in capezzagna che rappresentano un forte elemento di inefficienza; inoltre, la guida automatica consente di effettuare inversioni di direzione su tutta la lunghezza della capezzagna e non necessariamente inversioni strette e con molte manovre per allinearsi al passaggio appena effettuato. Tale imprecisione è dovuta sia a cause intrinseche (l'uomo pur mantenendo, come risultante, una traiettoria definita effettua un elevato numero di correzioni

manuali attorno alla linea ideale) sia a cause estrinseche (esperienza, affaticamento, visibilità, presenza/assenza di riferimenti). Inoltre, le svolte senza manovre consentono una riduzione dei tempi di lavoro e di affaticamento. I risparmi in termini energetici sono stati valutati intorno al 4-5%.

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

La valutazione economica su larga scala è stata effettuata sulla base della letteratura disponibile, ma sono emersi aspetti inattesi che consentono di guardare all'agricoltura di precisione come ad un'attività che comporta non solo vantaggi economici, ma anche agronomici, ambientali (Fig. 1) a cui aggiungere sicuramente anche vantaggi di carattere ergonomico.

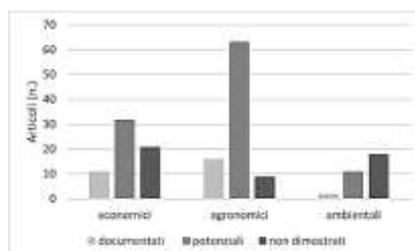


Fig. 1: Articoli sui vantaggi dell'agricoltura di precisione (2007-2016) (da Koutsos e Menexes, 2017)

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

Dato il periodo di forti limitazioni a causa delle norme anti-contagio sono stati effettuati alcuni webinar sulle varie tematiche del presente task.

2. Risultati e deliverable

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nel corso dei prossimi mesi verrà richiesta la presenza di nuovo personale scientifico (i.e., borsa di studio e assegno di ricerca) ai fini di portare a termini le attività progettuali. Tali attività riguarderanno l'utilizzo di strumentazione sensoristica e la validazione di sistemi di risparmio energetico tramite impiantistica digitalizzata dei vari comparti colturali (es. cerealicolo, brassicolo, frutticolo, orticolo e zootecnico) con l'applicazione delle tecnologie di agricoltura di precisione disponibili.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione



All'interno del corso di laurea triennale in Scienze e Tecnologie Agrarie dell'Università Cattolica del Sacro Cuore, sede di Piacenza è stato attivato un insegnamento in Meccanizzazione in agricoltura in cui sono state inserite alcuni risultati delle attività del presente progetto

Sono stati inoltre organizzati alcuni webinar sulla agricoltura di precisione

6. Elenco pubblicazioni

Brambilla M., Romano E., Toscano P., Cutini M., Biocca M., Ferré C., Comolli R., Bisaglia C. 2021. From conventional to precision fertilization: a case study on the transition for a small-medium farm. Submitted to AgriEngineering (MDPI)

Cutini M., Brambilla M., Romano E., Alberto A., Bisaglia C. 2021. Encouraging the Adoption of Precision Fertilization Technologies: steps from Theory to Practice. Submitted to: Ageng 2021 Conference "New Challenges for Agricultural Engineering towards a new world, Evora, Portugal, July 4-8, 2021.



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'efficientamento 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: 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 proseguita la collaborazione tecnico-scientifica con le società TORO-IRRITROL ed IDROBIT in riferimento alle innovazioni nei materiali e nei sistemi di controllo digitale degli impianti irrigui. L'attività sperimentale viene svolta presso il campo dimostrativo di Monterotondo per valutare l'efficientamento idrico ed il conseguente risparmio energetico.

Relativamente alla **Linea 2** si è provveduto ad inizio 2019 a sostituire il bambù con il pioppo. Nel corso del 2019, l'accrescimento delle piante di pioppo è stato soddisfacente e quindi è stato possibile attivare i programmi irrigui differenziati per tesi, come previsto dal disegno sperimentale. A fine anno sono stati effettuati i rilievi dendrometrici per valutare l'accrescimento dei pioppi in funzione del livello irriguo delle tesi, per stabilire il risparmio idrico ed energetico conseguibile.



Le attività della **Linea 3** hanno riguardato il rilievo degli effetti sulla permeabilità del suolo ottenuti con la “ripuntatura dinamica” effettuata nella precedente annata. Nel 2020 non è stato possibile ripetere le lavorazioni con il ‘ripuntatore a piede vibrante’, non potendo programmare l’intervento nei tempi previsti a causa del Covid. È stato quindi deciso di effettuare le lavorazioni con il ripuntatore nel prossimo periodo estivo/autunnale.

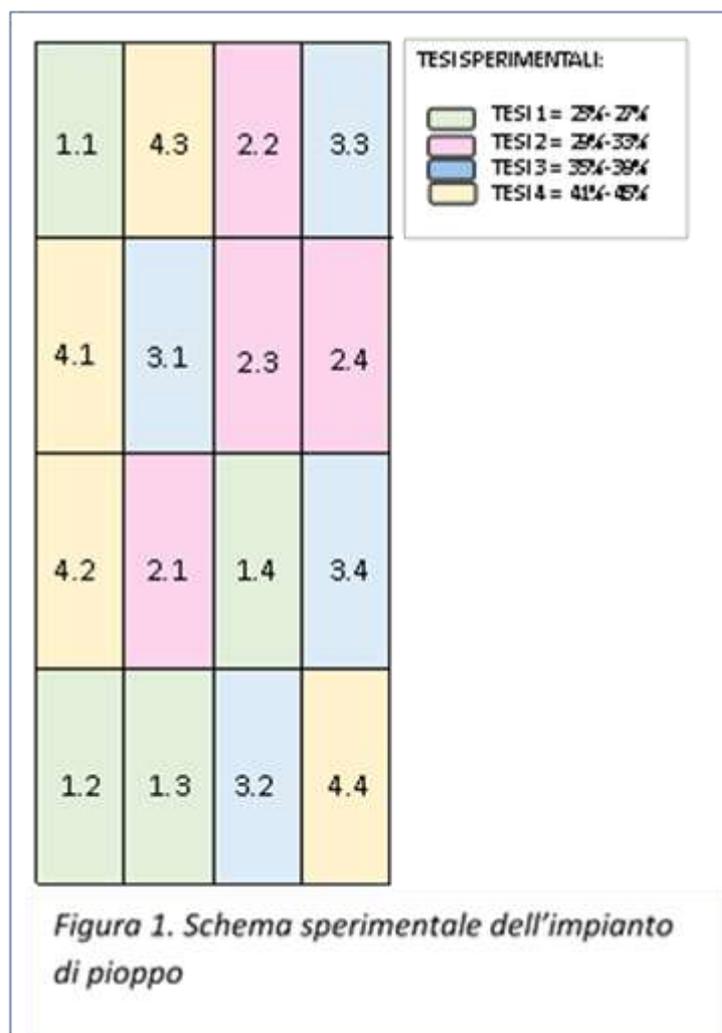
Relativamente alla **Linea 4**, le attività di trasferimento e divulgazione sono state limitate dalle restrizioni imposte dalla pandemia Covid-19.

Attività svolta

In riferimento alla **Linea 1** è stata avviata nel 2019 ed è proseguita nel 2020 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*”.

Anche nel corso del 2020 è proseguita la collaborazione con la ditta Idrobit srl sulle tematiche riguardanti l’introduzione di sistemi di irrigazione sensorizzata. La finalità della collaborazione è stata quella di studiare ed implementare un sistema di controllo intelligente dell’irrigazione e della fertirrigazione mediante l’impiego di un sistema multi-sensore, con la gestione in remoto dei dati di campo. L’utilizzo di tali sensori è finalizzato al miglioramento del controllo e della gestione dell’impianto irriguo attraverso il rilevamento dei dati di campo ed ambientali.

La programmazione dell’irrigazione in funzione dei dati acquisiti ha l’obiettivo di migliorare l’efficienza dell’irrigazione e della fertirrigazione, al fine di conseguire un risparmio idrico ed energetico.



Relativamente alla **Linea 2** di ricerca, abbiamo riscontrato che il bambù, impiantato nell'autunno del 2017 al CREA-IT di Monterotondo, non ha dato risultati soddisfacenti (sviluppo vegetativo stentato e numerose fallanze). Le condizioni pedologiche del campo non sono risultate idonee alla coltivazione del bambù, nonostante le azioni correttive attuate (apporto di ammendante, fertilizzazione specifica, sostituzione di fallanze). Pertanto, ad inizio 2019 è stata presa la decisione di sostituire il bambù con il pioppo (*Populus spp.*). Il materiale di propagazione (talee legnose) è stato prelevato dal clone "AF18" (selezionato per impiego in "short rotation forestry – SRF"), che è risultato idoneo alle condizioni pedologiche del sito. Le talee di pioppo, messe a dimora nel marzo 2019, hanno fatto rilevare un buon attecchimento (superiore al 95 %).



Il nuovo impianto rispetta un disegno sperimentale a randomizzazione completa (Figura 1), con quattro tesi sperimentali e quattro ripetizioni. Su ogni ripetizione sono stati inizialmente impiantate 12 talee di pioppo, a distanze di 1 m tra le talee e 3 m tra le file, per un totale di 48 talee per tesi ed un numero complessivo di 192 talee.

Il primo anno di vegetazione (2019) è stato riservato allo sviluppo vegetativo delle piante, impiegando lo stesso programma irriguo per tutte le tesi. A partire dal secondo anno di vegetazione (2020), grazie al buon sviluppo vegetativo delle piante, è stato possibile avviare le attività previste dalla sperimentazione mediante l'attivazione di programmi irrigui differenziati per le 4 tesi definite nel disegno sperimentale. Alla fine del 2020, secondo anno dalla messa a dimora, sono stati effettuati i rilievi dendrometrici per la stima dell'accrescimento delle piante (altezza, diametro dell'astone). L'analisi statistica dei dati di accrescimento del pioppo nelle diverse tesi irrigue ha permesso di evidenziare il regime irriguo più favorevole, conseguendo al contempo un risparmio idrico ed energetico.

Sempre nel 2020, ad inizio primavera, è stato effettuato un controllo generale del sistema di irrigazione installato, 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. È stata effettuata un'analisi dell'esigenza di eseguire interventi di manutenzione ed implementazione della centralina irrigua "IDROSAT" installata, al fine di migliorare il sistema installato in collaborazione con la ditta IDROBIT srl. È stata definito il quadro generale delle modifiche tecniche necessarie alla messa a punto del sistema studiato. È stato successivamente avviato l'iter amministrativo necessario all'affidamento del servizio esterno di manutenzione ed implementazione del sistema d'irrigazione installato.

In riferimento alla **Linea 3**, ad oggi, non è ancora stato possibile condurre ulteriori lavorazioni di ripuntatura impiegando il "**ripuntatore a piede vibrante**", (nella porzione di terreno interfilare del campo irriguo sperimentale) per migliorare la permeabilità del suolo e contrastare l'asfissia degli apparati radicali. Le attività nel 2020 hanno riguardato il monitoraggio delle condizioni del suolo ottenute a seguito delle lavorazioni del terreno effettuate impiegando il 'ripuntatore a piede



vibrante' nel precedente anno. Le lavorazioni effettuate con il ripuntatore hanno fatto osservare un discreto miglioramento della permeabilità del suolo nel campo sperimentale, caratterizzato da un elevato contenuto in argilla e predisposizione al compattamento del terreno.

Non è stato possibile ripetere le lavorazioni di ripuntatura nel corso del 2020, data le restrizioni scaturite dalle misure di contrasto alla pandemia, che non ha consentito di programmare l'esecuzione degli interventi nei periodi previsti e richiesti per la corretta esecuzione del trattamento. È stato tuttavia deciso di effettuare (ripetere) le lavorazioni con il ripuntatore nel prossimo periodo estivo/autunnale

1. Risultati e deliverable

D1.6.7. Organizzazione/partecipazione workshop tematico

In riferimento alla sopraindicata Deliverable, purtroppo non è stato possibile partecipare ad eventi di divulgazione a causa delle restrizioni stabilite per l'emergenza Covid-19.

D1.6.8. Acquisizione dati nell'ambito dello svolgimento attività IV 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 all'articolo pubblicato sull'Informatore Agrario nel 2020 (titolo: Ali gocciolanti: valutare il reale vantaggio economico).

Nell'ambito della **Linea 2**, sono stati rilevati i dati riferiti all'accrescimento vegetativo delle piante di pioppo (diametro ed altezza) per la valutazione dello sviluppo in funzione dei programmi irrigui delle diverse tesi. Le quattro tesi sono gestite in automatico dalla centralina IDROSAT. L'irrigazione è regolata da quattro sensori di umidità (uno per tesi) posti a livello dell'apparato radicale. Ciascun sensore avvia la somministrazione di acqua quando l'umidità del terreno scende

sotto la soglia di intervento prestabilita per ciascuna tesi. L'erogazione si interrompe quando tale umidità supera la soglia massima della specifica tesi sperimentale. Il range di intervento per ciascuna tesi è stato impostato come segue: Tesi 1: 23%-27%; Tesi 2: 29%-33%; Tesi 3: 35%-39%; Tesi 4: 41%-45%.

Gli effetti dei diversi livelli irrigui sono stati valutati in funzione dell'accrescimento delle piante (diametro e l'altezza). L'analisi statistica ha evidenziato distribuzioni non normali dei dati soprattutto per quanto riguarda l'altezza nelle quattro tesi (Test di normalità Shapiro-Wilk). In Figura 2 sono mostrati i boxplot di diametri e delle altezze distinti per singola tesi. (Figura 2).

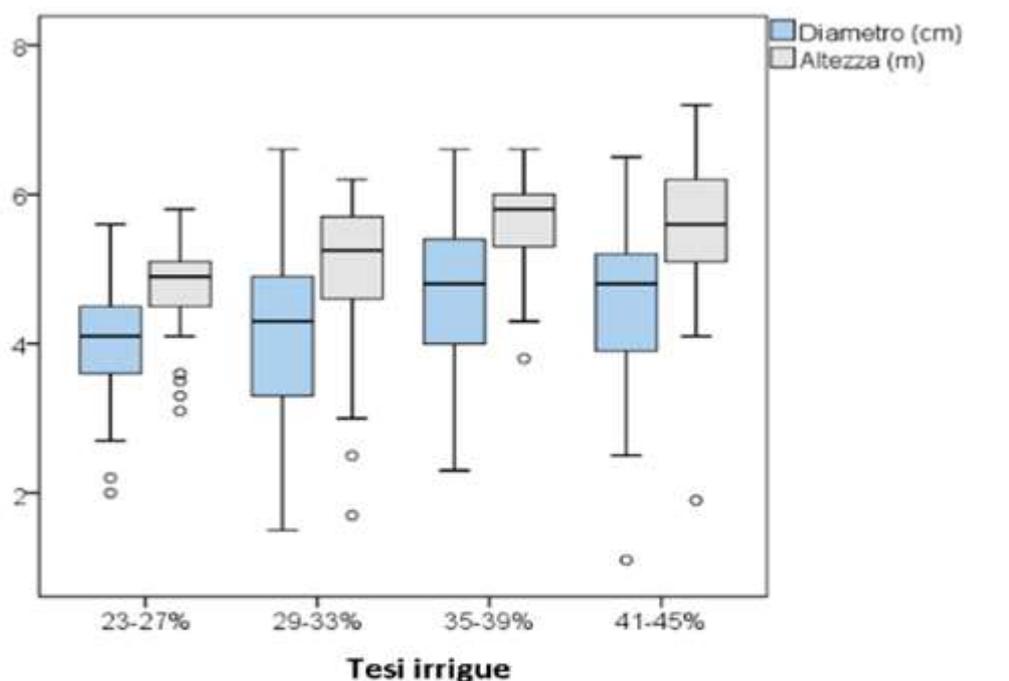


Figura 2. Boxplot delle distribuzioni dei diametri e delle altezze per le diverse tesi sperimentali

È stato effettuato il Test di Levene per valutare l'omogeneità della varianza, che è risultato non significativo per entrambi i parametri considerati ($p > 0.05$), per cui le varianze tra i gruppi sono risultate omogenee. L'analisi della varianza è stata eseguita con ANOVA non parametrica di Kruskal-Wallis. Nella Figura 3, sono riportati i valori medi dei parametri rilevati con la relativa variabilità



intorno alla media (deviazione standard) e le differenze statisticamente significative (livello 0,05) tra i gruppi

evidenziate con il test Kruskal-Wallis. In particolare, si evidenzia l'effetto positivo sull'accrescimento all'aumentare del livello di somministrazione di acqua irrigua. Questo risultato è particolarmente evidenti per il parametro altezza, con una chiara differenza tra la Tesi 1 e 2 e queste rispetto alla Tesi 3 e 4, le quali risultano statisticamente simili. Per quanto riguarda il diametro, le differenze sono meno evidenti, essendo individuati solo due gruppi omogenei: il primo costituito dalle Tesi 1 e 2, mentre il secondo dalle Tesi 3 e 4 insieme. In conclusione, da questa prima analisi emerge che gli accrescimenti delle piante di pioppo rispondono positivamente all'aumentare della somministrazione di acqua irrigua, ma una somministrazione elevata come quella prevista per la Tesi 4 (mantenimento del 41%-45% di umidità nel terreno) sortisce risultati simili ottenuti con un livello di erogazione di acqua inferiore come quello rappresentato dalla Tesi 3 (mantenimento del 35%-39% di umidità del terreno).

Nell'ambito della **Linea 3**, sono stati effettuati rilievi per valutare gli effetti delle lavorazioni effettuate con il ripuntatore a piede vibrante nel campo sperimentale nel precedente anno.

2. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

- Osservata la problematica riferita al mancato sviluppo/accrescimento della coltura è stato necessario sostituire il bambù con il pioppo, mettendo in atto il disegno sperimentale sul nuovo campo di pioppo con il rilievo dei dati sull'accrescimento delle piante di pioppo a partire dal 2020, con un anno di ritardo rispetto a quanto previsto;
- Per osservare (in termini sperimentali) l'effettivo e reale consumo energetico richiesto nella tecnica della microirrigazione di tipo localizzato, è attualmente in fase di valutazione la possibilità di allestire un nuovo impianto irriguo costituito da 4 pompe idrauliche ed un serbatoio di accumulo dell'acqua; il consumo di energia elettrica sarà rilevato da un sistema di acquisizione digitale collegato ad ogni singola pompa.
- La carenza / limitata disponibilità di personale interno, con particolare riferimento al personale Operatore Tecnico, rappresenta una reale negatività nei confronti delle ordinarie attività di



ricerca e sperimentazione previste dal progetto (conduzione delle operazioni colturali nel campo sperimentale, esecuzione delle prove meccaniche con il ripuntatore a piede vibrante).

3. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Si propone di organizzare ulteriori prove di lavorazione del terreno presso il CREA-OFA di ROMA con lo scopo di verificare l'efficacia della ripuntatura con impiego del ripuntatore a piede vibrante in suoli costipati ed asfittici ma con diversa struttura.

4. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

5. Elenco pubblicazioni

Articolo divulgativo:

G. Sperandio, R. Tomasone, M. Pagano, C. Cedrola, A. Acampora, A. Assirelli, P. Santelli (2020). *Ali gocciolanti: valutare il reale vantaggio economico*. L'Informatore Agrario 24/2020: 46-49



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 periodo di riferimento luglio 2019 – dicembre 2020 le 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*, come anche nel precedente periodo, si sono rivolte alle azioni di studio e ricerca nei confronti della terza, quarta e quinta linea di ricerca.

Lo ricerca e le attività sperimentali hanno infatti avuto come oggetto:



- il miglioramento del sistema di monitoraggio già preparato e provato nei precedenti stati di avanzamento, dotandolo della possibilità di trasmissione a distanza dei dati raccolti,
- la ricerca di piattaforme cloud su cui collocare i dati raccolti e da cui ottenere le informazioni riassuntive utili all'interpretazione dei fenomeni idrotermici e dispersivi della serra,
- il monitoraggio e la ricerca sul territorio di apprestamenti di protezione in cui trasferire la modalità di acquisizione dati,
- la ricerca di soluzioni di realtà aumentata per un'efficace trasmissione all'operatore delle informazioni raccolte ed elaborate in tempo reale.

I dati raccolti durante l'attività di ricerca di quest'ultimo anno di studio sono attualmente in elaborazione per la preparazione di articoli scientifici.

1. Attività svolta

Nel periodo oggetto della presente relazione, la Task 1.7 del Work Package 1, ha dedicato l'attenzione al miglioramento della rete di acquisizione già predisposta e testata nelle fasi di avanzamento precedente, in serra. Il sistema di monitoraggio era stato allestito grazie all'uso di schede di tipo Arduino, cui erano collegati sensori per il rilevamento di umidità e temperatura sia dell'aria che del terreno, posti in molteplici punti di un tunnel cui era posta una coltivazione di basilico. Le schede Arduino acquisivano dati con una frequenza di 15 minuti ed i valori venivano conservati su diverse schede di memoria di tipo SDcard, prelevate periodicamente per il recupero dei dati da elaborare.

Tale metodo di acquisizione, pur mostrando un'elevata affidabilità ed efficienza, tuttavia mostrava fastidiose fasi di recupero delle SDcard che comportavano il blocco del sistema di acquisizione, l'apertura delle scatole contenenti le microschede, il trasferimento dei dati ed il riavvio.

Inoltre, non era possibile avere un controllo in tempo reale dei valori raccolti, pertanto nel caso di interruzione di acquisizione o alterazione di uno o più sensori, si generava un vuoto di dati nell'intervallo tra i prelievi delle SDcard.

Pertanto, il task si è dedicato allo studio delle possibilità oggi disponibili per la trasmissione dei dati in real-time. Le opzioni che si presentavano erano, in ordine di raggio di azione, basate sulle tecnologie della trasmissione:

- bluetooth;
- WiFi;
- LoRa



La trasmissione bluetooth, molto stabile, ha raggio d'azione ridotto rispetto alle altre tecnologie, non supera normalmente più di 30 metri. Le tecnologie WiFi e LoRa permettono di trasmettere a maggiore distanza, in particolare una rete LoRa permette anche distanze superiori a 4 km, nei limiti delle condizioni di densità di costruzioni interposte.

I dispositivi basati invece sul Wi-Fi possono connettersi a Internet tramite una WLAN e un punto di accesso wireless (access point). Con la tecnologia disponibile dal 2017, un access point (o un hotspot) all'interno di un edificio può avere una portata di circa 20 metri, mentre all'esterno può coprire un raggio di circa 100 metri e, usando più punti di accesso sovrapposti, anche di diversi chilometri.

LoRa (Long Range) è una tecnica proprietaria di modulazione di rete wide-area a bassa potenza. Si basa su tecniche di modulazione dello spettro di diffusione derivate dalla tecnologia CSS (Chirp Spread Spectrum). LoRa utilizza bande di radiofrequenza sub-gigahertz senza licenza come 433 MHz, 868 MHz (Europa), 915 MHz (Australia e Nord America), da 865 MHz a 867 MHz (India) e 923 MHz (Asia). LoRa consente trasmissioni a lungo raggio a basso consumo energetico. Può raggiungere velocità di dati tra 0,3 kbit/s e 27 kbit/s. I dispositivi LoRa sono molto affidabili ed hanno funzionalità di geolocalizzazione se utilizzate per trilaterare le posizioni dei dispositivi tramite timestamp dai gateway.

Pertanto, volendo provvedere ad una rete di sensori di monitoraggio ambientale osservabile a distanza nel comprensorio circostante il centro di ricerca di Treviglio, ed avendo le schede tipo Arduino la possibilità di essere dotate di trasmettitore e ricevitore LoRa, sono state riprogrammate le schede in modo tale da poter implementare tale scelta e acquisire i valori letti dai sensori attraverso un canale remoto. Un altro prototipo è stato utilizzato attraverso la programmazione basata sulla trasmissione WiFi, ai fini del confronto in campo.

La conseguente fase è consistita quindi nella valutazione di piattaforme disponibili per la conservazione dei dati (cloud) e successiva visualizzazione e primo processamento.

Sono state individuate due possibili soluzioni: Thinger (<https://thinger.io>) e Grafana (<https://grafana.com>).

Dalle prove di trasmissione effettuate attraverso i prototipi realizzati, la task ha evidenziato una buona corrispondenza tra le trasmissioni in WiFi e la piattaforma Thinger (fig. 1), ed una maggiore comodità d'uso della piattaforma Grafana nel caso della trasmissione LoRa (fig. 2).

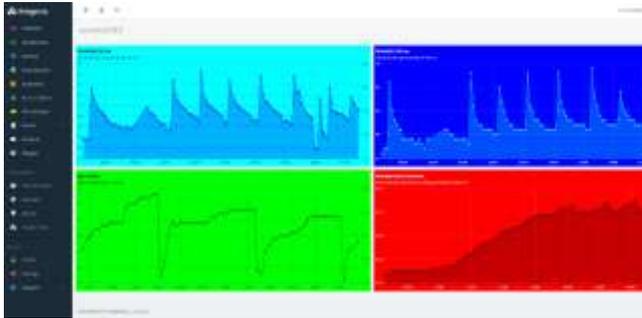


Figura 1 – Piattaforma Thingier

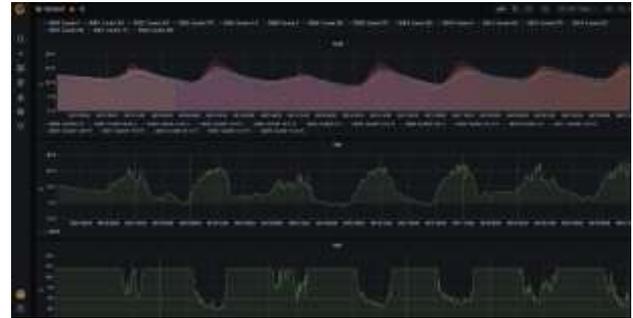


Figura 2 – Piattaforma Grafana

Entrambe le piattaforme offrono la possibilità di acquisire i dati in tempo reale e proiettare grafici per il monitoraggio, tuttavia il sito di Grafana mostrava delle maggiori comodità di esplorazione e di analisi più prossime alle attività di questa fase della ricerca.

Per la valutazione della funzionalità del sistema di monitoraggio ambientale e per poter osservare ed intervenire in maniera pronta ed immediata, la griglia di punti di acquisizione è stata posta nei campi sperimentali del centro di ricerca di Treviglio (fig. 3), in pieno campo per valutare un range di valori più ampi in termini di umidità e di temperatura sia del terreno che dell'aria (fig.4).



Figura 3 – Punto di acquisizione e trasmissione

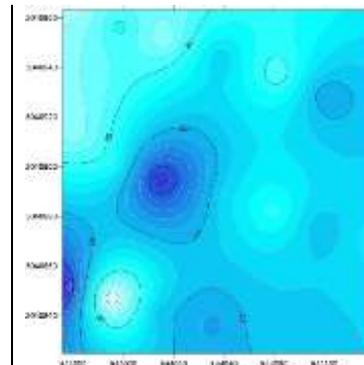


Figura 4 – Mappa di distribuzione dei valori

La griglia di nodi di acquisizione distribuita sul terreno con una disposizione regolare trasmette informazioni ambientali ogni 15 minuti, permettendo di osservare le variazioni attraverso la realizzazione di mappe di variabilità, con elevatissima affidabilità.

Dopo questa fase di verifica dell'efficacia di raccolta e trasmissione, si potrà nuovamente traslare il sistema implementato all'interno di serre in cui la task osserverà l'andamento del microclima.



In tal senso, attraverso mappe dei terreni e questionari condotti sul territorio, è in essere una fase di perlustrazione e monitoraggio della struttura di protezione per la coltivazione che possa essere più congeniale alla sperimentazione successiva. La scelta dovrà tener conto della disponibilità del titolare, della sicurezza, della distanza di trasmissione e della conduzione aziendale.

Il trait d'union tra il sistema di acquisizione ed il sistema virtuale delle opzioni migliorative in termini gestionali consiste nella possibilità di dotare l'operatore di dispositivi con realtà aumentata che possano restituire, durante la quotidiana attività di gestione della serra, le informazioni circa le variazioni del microclima e delle scelte più opportune per conservare l'input energetico.

In tal senso la task sta valutando diverse soluzioni, in particolare l'attività è concentrata sul confronto tra una soluzione che prevede il posizionamento di alert virtuali in punti noti e configurati dopo l'elaborazione delle mappe di variabilità e un altro sistema che prevede l'interazione tra le mappe ricavate dal sistema di acquisizione, un operatore in "sala regia" e l'operatore in serra. In questo secondo caso le informazioni pervengono all'operatore in serra attraverso la valutazione dell'operatore interposto che con maggior competenza e qualifica nell'interpretazione delle mappe informa in tempo reale sulle scelte gestionali da operare (apertura finestre, spostamento di bancali, copertura con teli termici).

2. Risultati e deliverable

In questa fase di ricerca e sperimentazione i risultati ed i deliverables ottenuti consistono nelle informazioni raccolte, propedeutiche per le scelte da operare per affrontare le ultime fasi di sviluppo.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Il sistema di monitoraggio per le serre è stato implementato e per questo motivo osservato per l'intero anno nelle due stagioni di coltivazione. La trasmissione dei dati è stata eccellente ed efficace. Tuttavia, la distanza tra i nodi trasmettitori ed il ricevitore era inferiore al chilometro. La sperimentazione nelle serre del comprensorio costringerà ad una maggiore distanza che potrà oltretutto essere gravata dalla presenza di edifici fraposti. Per questo motivo un ostacolo prevedibile potrebbe consistere in problemi di trasmissione incostante o frammentata dei dati. La possibilità di monitorare in tempo reale permetterà comunque di intervenire e trovare soluzioni in merito.

La trasposizione delle informazioni raccolte dal sistema di monitoraggio, elaborate dal software decisionale ed inviate all'operatore tramite dispositivo di realtà aumentata potrebbe risentire di ritardi nei tempi di trasmissione e ricezione. Le attività sperimentali terranno pertanto conto di



queste possibilità e le procedure di intervento terranno conto di questi possibili limiti che potrebbero essere dettati dall'attuale tecnologia.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Indicare proposte che non richiedano varianti tecnico-scientifiche (max 1/5 pagina) in caso contrario sarà necessaria una apposita richiesta ufficiale

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

6. Elenco pubblicazioni

- 1) Romano E., Brambilla M., Toscano P., Bisaglia C. 2020. A Method to Implement a Monitoring System Based on Low-Cost Sensors for Micro-environmental Conditions Monitoring in Greenhouses. In: *Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production*, Lecture Notes in Civil Engineering 67: 775-782. Springer Nature Switzerland AG. A. Coppola et al. (eds.), ISSN 2366-2557. ISSN 2366-2565 (electronic). ISBN 978-3-030-39298-7. ISBN 978-3-030-39299-4 (eBook). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39299-4_1.
- 2) Brambilla M., Romano E., Buccheri M., Cutini M., Toscano P., Cacini S., Massa D., Ferri S., Monarca D., Fedrizzi M, Burchi G., Bisaglia C. 2020. Application of a low-cost RGB sensor to detect basil (*Ocimum basilicum* L.) nutritional status at pilot scale level. *Precision Agriculture*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09752-0>. Print ISSN: 1385-2256. Online ISSN: 1573-1618 (I.F. 2019-2020 = 3.840).



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 periodo luglio 2019 – dicembre 2020 lo sviluppo della pandemia COVID19 ha condizionato negativamente lo svolgimento delle attività programmate. È stata condotta una prova sperimentale di confronto di sistemi innovativi di riscaldamento basale in condizioni di simulazione di coltura erogando tutti gli input tecnici teoricamente necessari allo sviluppo di una coltura ornamentale. Sono stati confrontati due impianti di riscaldamento basale dotati di pompe di calore con differente posizionamento dell'elemento evaporatore: in un caso quest'ultimo era posto in ambiente aperto e nell'altro era situato in una serra fredda adiacente. Lo scopo consisteva nel rilievo dei consumi energetici per verificare l'eventuale differenza di gestione energetica ed economica dei due impianti.

1. Attività svolta

Nell'inverno 2019-2020 è stata impostata una prova sperimentale finalizzata all'esecuzione della validazione tecnica, energetica ed economica di sistemi integrati innovativi di riscaldamento basale. A differenza di quanto era stato programmato, in questa prova non è stato possibile utilizzare alcuna specie vegetale a causa di difficoltà di approvvigionamento derivanti dall'emergenza COVID-19. Si è trattato pertanto di una prova di coltivazione condotta in condizioni di simulazione di coltivazione nel corso della quale sono stati somministrati gli input tecnici necessari a soddisfare i fabbisogni di irrigazione e calore per lo sviluppo di una coltura di tipo ornamentale analoghi a quelli erogati nel corso della prova condotta nel precedente anno. La prova è stata condotta utilizzando la stessa serra utilizzata nell'anno precedente presso la sede di CREA-OF di Pescia (PT) nella quale sono installati due sistemi di riscaldamento basale simili, già descritti nelle precedenti relazioni, che differiscono soltanto per la collocazione degli evaporatori delle pompe di calore ad essi collegate: in un impianto l'evaporatore era collocato all'esterno della serra ed esposto alle condizioni climatiche naturali mentre nell'altro impianto l'evaporatore era collocato all'interno di una serra non riscaldata



adiacente a quella in cui venivano condotte le prove. Questo particolare schema sperimentale è stato scelto per verificare se la collocazione dell'evaporatore in un ambiente protetto, ma privo di riscaldamento, potesse influenzare le prestazioni della pompa di calore modificandone i consumi energetici e i costi di gestione. Anche in questa prova la coltura (simulata) e gli ambienti interno ed esterno sono stati dotati della stessa strumentazione, utilizzata nelle prove precedenti, per il monitoraggio delle temperature e dei consumi di energia elettrica delle pompe di calore. Il substrato di crescita è stato preparato in data 24/01/2020 e disposto in vasi di 14 cm di diametro e 12 cm di altezza all'interno dei bancali. Sono stati utilizzati due tipi diversi di substrato: i.e., torba:perlite e midollino di cocco:perlite, entrambi 70:30 v v⁻¹. In totale sono stati utilizzati 240 vasi suddivisi in quattro repliche per trattamento e disposti, all'interno di 6 bancali, secondo un disegno sperimentale a blocchi randomizzati. Ogni bancale è stato suddiviso in 4 porzioni contenenti ciascuna 10 vasi (4 repliche per bancale). Tutti i vasi sono stati dotati di irrigatore a goccia dalla portata media di 78 ml/min e la gestione irrigua è stata effettuata tramite timer, erogando acqua una volta al giorno per un minuto. I termostati delle pompe di calore, inseriti all'interno di vasi, sono stati impostati alla temperatura limite di 16 °C.-. Il termostato dell'impianto di riscaldamento di emergenza è stato impostato alla temperatura di 5 °C. Dall'inizio della prova la posizione dei sensori all'interno dei vasi è stata modificata per 3 volte ogni 3 giorni, in modo da controllare la distribuzione della temperatura nei bancali.

A causa dell'improvvisa evoluzione dell'emergenza CoVid verificatasi in questo periodo e delle conseguenti misure di contenimento della pandemia decise dal governo, la prova ha avuto una durata di soli 20 giorni con rilievo finale in data 12/02/2020.

È stata programmata l'attività dell'inverno 2019-2020 seguendo lo schema sperimentale progettato per la prova dell'inverno precedente (prova non eseguita a causa delle restrizioni COVID) procedendo gli acquisti necessari e prevedendone l'avvio nel mese di gennaio 2021.

2. Risultati e deliverable

I risultati dell'elaborazione dei dati sperimentali, relativi alla validazione tecnica, energetica ed economica di sistemi integrati innovativi di riscaldamento basale, sono in fase di elaborazione.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

La pandemia COVID19 ha imposto la modifica di quanto programmato in origine in conseguenza dell'impossibilità di approvvigionamento del materiale vivaistico necessario per l'avvio delle prove.

Questa situazione tuttora perdurante, in sostituzione di quanto programmato, ha reso necessaria l'adozione di uno schema sperimentale alternativo e semplificato da condurre in assenza di coltura,



in condizioni di coltivazione simulata con la somministrazione di input tecnici con modalità identiche a quelle impiegate nelle prove precedenti.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Nel periodo in esame era stata prevista la partecipazione alle XIII GIORNATE SCIENTIFICHE SOI

“I traguardi di Agenda 2030 per l’ortoflorofrutticoltura italiana”, organizzate dal Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente Università degli Studi di Catania, inizialmente previste per il giugno 2020, successivamente rimandate al 22-23 giugno 2021 a causa delle limitazioni di legge per il contrasto alla pandemia COVID19.

Le attività della 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.

Fino al maggio 2020 il dott. Alessandro Orlandini, in qualità di vincitore del bando per l’assegnazione di un assegno di ricerca della durata di 16 mesi, ha partecipato alle attività di ricerca.

6. Elenco pubblicazioni

Terrosi, C.; Cacini, S.; Burchi, G.; Cutini, M.; Brambilla, M.; Bisaglia, C.; Massa, D.; Fedrizzi, M. Evaluation of Compressor Heat Pump for Root Zone Heating as an Alternative Heating Source for Leafy Vegetable Cultivation Energies. 2020; 13(3):745 (15 pag.). <https://doi.org/10.3390/en13030745>

M. Fedrizzi, C. Terrosi, S. Cacini, G. Burchi, M. Cutini, M. Brambilla, C. Bisaglia, M. Pagano, S. Figorilli, C. Costa, D. Massa, 2020. Evaluation of coaxial pipes for basal heating as alternative for energy saving in heating system for leafy vegetables. In: *Lecture Notes in Civil Engineering Vol.67 - Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production*, di Antonio Coppola, Giovanni Carlo Di Renzo, Giuseppe Altieri, Paola D’Antonio, Ed. Springer Nature Switzerland AG 2020, pag.603-610. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39299-4>



WP2: Sviluppo della filiera delle biomasse solide agroforestali

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

Abstract

Il WP2 comprende una serie di ricerche riguardanti la filiera delle biomasse solide agroforestali. Dette ricerche possono essere schematicamente raggruppate sulla base dei settori scientifico disciplinari di afferenza: i task 2.1, 2.3, 2.4 e 2.5 ricadono nel settore 07/C1 (Ingegneria agraria, forestale e dei biosistemi); i task 2.2 e 2.6 sono invece ascrivibili al settore 07/B1 (Agronomia e Sistemi colturali erbacei ed ortofloricoli).

Il Taks 2.1 (Sistemi di compattamento per biomasse residuali), nel quarto anno di attività ha condotto studi relativi al miglioramento della funzionalità di macchine per la raccolta di granella prodotta da colture erbacee. Nel settore delle biomasse legnose è proseguito lo studio su espianti di frutteti, legno di recupero da manutenzione verde a validazione nuovi cantieri di lavoro. Sono state inoltre approfonditi gli aspetti della logistica dei conferimenti dal campo di raccolta fino al piazzale di lavorazione e da quest'ultimo fino al centro di valorizzazione energetica. I risultati sono stati presentati alla Conferenza internazionale EUBCE, ed un articolo scientifico è stato sottoposto ed è in corso di revisione sulla rivista Biomass & Bioenergy.

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, i dati raccolti in un triennio di esperimento agronomico, seguito da prove di digestione agronomica hanno permesso di concludere che la raccolta singola dell'*Arundo*, effettuata alla fine della stagione vegetativa costituisce la strategia migliore in termini sia di biomassa sia di metano ottenibili per ettaro. Detta strategia consente peraltro di ridurre i costi di esercizio. Per contro, le doppie raccolte permettono di conseguire un piccolo vantaggio come rendimento in metano per unità di peso della biomassa. Per quanto riguarda la linea 2, un biennio di prova sperimentale ha indicato che la semina su sodo è una tecnica applicabile al cardo mariano. Risultati discordanti sono stati invece forniti dalla concimazione azotata nei due anni. I risultati ottenuti su *Arundo* sono stati presentati alla conferenza internazionale EUBCE, e pubblicati sulle seguenti riviste internazionali: *Global Change Biology Bioenergy* e *Energies*, i risultati ottenuti su cardo mariano sulla rivista internazionale *Acta Scientiarum Polonorum Cultus*.

Per il task 2.3 (Valorizzazione delle biomasse lignocellulosiche per la produzione di energia termica), nel quarto anno di attività ha elaborato e pubblicato risultati ottenuti dalle prove di stoccaggio della biomassa di eucalipto. È stato inoltre effettuato uno studio per determinare la disponibilità del consumatore italiano ad acquistare eucalipto come legna da ardere, caratterizzando il profilo del



probabile acquirente. I risultati sono stati pubblicati sulle seguenti riviste internazionali: *Energies* (2 articoli), *Sustainability*, e *Agriculture*.

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). È stata effettuata una analisi del cantiere di utilizzazione su una foresta di *Pinus radiata* di 45 anni di età, con produzione di diversi prodotti finali, legna da ardere, cippato e segati. Le analisi hanno riguardato l'utile economico conseguibile, valutazioni ecologiche inerenti alla presenza di parassiti, dai cambiamenti climatici e dal rischio di incendi. I risultati sono stati presentati alla conferenza internazionale "Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinarity", ed un articolo è stato pubblicato sulla rivista scientifica *Environmental Science: Processes & Impacts*.

Il Task 2.5 (Recupero di residui lignocellulosici da gestione del verde urbano) è articolato in due linee di attività: linea 1 (Studio di cantieri rappresentativi) e linea 2 (Caratterizzazione quali-quantitativa del materiale legnoso). Sono stati posti a confronto diversi cantieri di abbattimento e di potatura degli alberi nelle sedi del CREA di Roma e nella tenuta presidenziale di Castelporziano, che può essere considerata una foresta periurbana. Le due modalità di lavoro a confronto sono la piattaforma mobile ed il "tree climbing" da parte dell'operatore. I risultati sono stati oggetto di pubblicazioni sulle riviste internazionali *Environmental Sciences Proceedings* (2 lavori) e *Lecture Notes in Civil Engineering*.

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) e Linea 4 (Indicatori di servizi ambientali e di impatto). Per quanto concerne la linea 1, è stata estesa la base di dati relativa alla coltura del sorgo da biomassa, è stata curata la realizzazione di una base dati pedologica, ed è stata completata l'analisi di land suitability (affinità per l'area) di quattro colture lignocellulosiche da energia. Relativamente alla linea 2, le attività hanno riguardato il consolidamento e la documentazione della soluzione di modellazione SunnGro per la *Crotalaria*, e la migrazione della soluzione di modellazione per la simulazione della canna comune su altra piattaforma. Con riferimento alla linea 3, l'attività ha riguardato la calibrazione della soluzione di modellazione di Arungro con un set di dati sperimentali raccolti nel periodo 1997-2013 in 6 località italiane. Su questa base sono stati stimati la resa in biomassa, il consumo idrico e le quantità di energia, sotto forma di biometano, bioetanolo e combustibile solido, ricavabili dalla coltivazione di *Arundo* nelle aree marginali del territorio italiano, tramite l'applicazione spazialmente esplicita del modello precedentemente calibrato. È stata inoltre condotta una stima dei bilanci energetici in sistemi colturali di barbabietola da zucchero finalizzati alla produzione di bioetanolo attraverso un sistema esperto basato su logica *fuzzy*. Per quanto concerne, infine, la linea 4, l'attività svolta ha riguardato una valutazione preliminare delle



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

aree geografiche, delle caratteristiche gestionali, delle filiere produttive e dei relativi sottoprodotti di sistemi colturali da sottoporre ad analisi LCA (analisi del ciclo di vita) spazializzata sul territorio.

I risultati sono stati presentati alla conferenza internazionale EUBCE, e diversi articoli sono stati pubblicati sulle riviste internazionali: Italian Journal of Agrometeorology, Biomass and Bioenergy ed Energy. Ulteriori articoli sono in corso di valutazione sulle Riviste Land e Land Use.

Complessivamente la collocazione editoriale degli articoli prodotti dal WP2 si può ritenere di buon livello, e costituisce un ottimo supporto ad una filiera che riveste un ruolo di viva attualità.



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: Alberto Assirelli

Per quanto riguarda la linea 1 sono proseguite le attività inerenti ai settori colture erbacee da granella in particolare mirate alla versatilità del dispositivo realizzato valutandone l'applicabilità su altra raccogliitrice.

Sono stati valutati ottenuti dalla sperimentazione d'impiego su più colture.

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

Referente: Alberto Assirelli

Nell'ambito della linea 2 si è seguito il testing di soluzioni di compattamento per il prodotto raccolto con il separatore realizzato nell'ambito della linea 1 per quanto riguarda le colture erbacee.

Per quanto riguarda le colture arboree si è proseguita l'attività relativa agli espianti mettendo in relazione diverse essenze frutticole e età di rimozione localizzazione e superfici degli impianti.

Linea 3 di attività: Promozione di attività dimostrative, divulgative e informative.

Referente: Alberto Assirelli

Le attività realizzate nell'ambito della linea 1 e 2 hanno sempre coinvolto i diversi partner interessati in particolare costruttori di mietitrebbiatrici e ditte di lavorazione biomasse legnose per l'ottimizzazione delle proprie filiere di raccolta.

I risultati ottenuti sono stati oggetti di presentazioni ad incontri e conferenze internazionali.

Abstract

Nel corso della quarta annualità sono proseguite attività sul perfezionamento del dispositivo di separazione per mietitrebbiatrici realizzato in collaborazione con importante ditta costruttrice, progressivamente perfezionato. Sono stati svolti test in diversi areali e colture secondo diverse tecniche colturali volti anche a valutarne la versatilità. Nel settore delle biomasse legnose è proseguita l'attività su espianti di frutteti, legno di recupero da manutenzione verde a validazione nuovi cantieri di lavoro. Per quest'ultimo aspetto sono state effettuate valutazioni tecniche sulle



prestazioni ottenute soprattutto per la successiva valutazione economica e di inserimento nelle ordinarie linee di lavoro per il recupero della biomassa legnosa secondo diverse linee di valorizzazione dalla biomassa legnosa tal quale, al pezzato fino all'impiego di sistemi di compattamento anche se limitati alla sola pellettizzazione. Sono stati approfondite le attività sugli aspetti qualitativi e sulla logistica dei conferimenti dal campo di origine fino al piazzale di lavorazione e da quest'ultimo fino al centro di valorizzazione generalmente termica. Attività appena avviata riguarda la valutazione qualitativa secondo l'essenza di provenienza e l'ambiente pedoclimatico di coltivazione aspetto che permette di fornire utili indicazioni in sede di programmazione.

1. Attività svolta

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: Alberto Assirelli

Per quanto riguarda la linea 1 sono proseguite le attività inerenti ai settori colture erbacee da granella in particolare mirate alla versatilità del dispositivo realizzato valutandone l'applicabilità su altra raccogliatrice. Allo scopo successivamente alle esperienze condotte su una raccogliatrice assiale birotore, caratterizzata da due rotori di trebbiatura paralleli sono state condotte esperienze su altra raccogliatrice di altro costruttore caratterizzata da un rotore unico sempre assiale di maggiori dimensioni. Il separatore è stato utilizzato sempre su canapa su diverse varietà ed il prodotto raccolto sottoposto ad analisi qualitative. Sono state monitorate le performance della macchina sia allestita con il separatore sia in versione originale cioè rilasciando i sottoprodotti di trebbiatura a terra con o senza possibilità di spandimento sull'intera larghezza di taglio della testata di raccolta. Per lo scopo la macchina è stata equipaggiata di sistema di raccolta a bordo tramite contenitore ausiliari, regolarmente rilasciato in testata ogni qualvolta raggiungeva un livello di riempimento tale da non consentire un ulteriore giro di raccolta. Il sistema di contenimento completamente sperimentale necessita di apposito studio di valutazione qualora l'applicazione dov'esse diventare ordinaria per le condizioni di lavoro della mietitrebbiatrice.

Sono stati valutati ottenuti dalla sperimentazione d'impiego su più varietà ed in particolare essendo soprattutto di diverso sviluppo vegetativo tale aspetto si è rilevato in grado di influire notevolmente sulle condizioni di lavoro della macchina ed in particolare sull'altezza delle piante, sulla loro densità e soprattutto in condizioni di altezze di taglio simili, sul volume di biomassa che entrando nella raccogliatrice influiva direttamente sul processo di trebbiatura e sui volumi e caratteristiche dei prodotti trattati ed ottenuti. In particolare, nelle condizioni di maggior sviluppo della coltura il volume di biomassa in ingresso determinava variazioni funzionali dei diversi organi fino alla funzionalità stessa del separatore. Il sistema di captazione dal gruppo di pulizia è stato adeguato



evitando possibili vie di fuga che con colture a minor contenuto di umidità non aveva presentato vie di fuga e quindi possibili perdite di biomassa.

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

Referente: Alberto Assirelli

Nell'ambito della linea 2 si è seguito il testing di soluzioni di compattamento per il prodotto raccolto con il separatore realizzato nell'ambito della linea 1 per quanto riguarda le colture erbacee. Sono stati individuati dei campioni di pula di frumento ed inviati ad una bricchettatrice professionale industriale concepita appositamente per il compattamento di prodotti residuali.

Il prodotto è stato caratterizzato inizialmente sul piano fisico per individuare prioritariamente la componente principale rappresentata da glume, glumette e rachide da eventuale paglia residuale che dovesse essere rimasta frammista dal sistema di separazione della mietitrebbiatrice.

Una volta caratterizzata è stata trattata con la macchina e sono stati valutati i bricchetti ottenuti in termini di volume, densità, friabilità e mantenimento nel tempo della forma.

Sono successivamente state effettuate valutazioni sull'incremento di densità ottenibile partendo dal prodotto tal quale dopo il processo di densificazione descritto.

Per quanto riguarda le colture arboree si è proseguita l'attività relativa agli espanti mettendo in relazione diverse essenze frutticole e età di rimozione localizzazione e superfici degli impianti.

Sono state valutate le diverse componenti di biomassa ottenibili dagli espanti di frutteti e soprattutto la composizione media e percentuale di parti pulite od inquinate da terreno e quindi meno apprezzate dalle linee di valorizzazione disponibili, prevalentemente termovalorizzazione.

Linea 3 di attività: Promozione di attività dimostrative, divulgative e informative.

Referente: Alberto Assirelli

Le attività realizzate nell'ambito della linea 1 e 2 hanno sempre coinvolto i diversi partner e quindi aziende attive nel settore agro-energetico in particolar modo biogas, aziende agro-meccaniche prevalentemente operanti nel settore del contoterzismo agricolo, aziende che solo per le sole operazioni di raccolta dei prodotti agricoli raggiungono percentuali molto significative e quindi in grado di pesare significativamente sul comparto. L'attività è stata seguita da ditte costruttrici e aziende agricole direttamente interessate alla sperimentazione.



Soprattutto nella linea 2 invece le attività di valutazione qualitativa ed introduzione di nuove linee di raccolta di biomasse legnose rivestono un ruolo importante nella programmazione anticipata dei cantieri di raccolta e nella logistica dei conferimenti con la realizzazione di modelli mirati con anche con soluzioni intermedie di processing. Sta crescendo l'interesse per le produzioni e confezioni singolarmente gestibili direttamente dagli utenti domestici sia per quanto riguarda la pellettizzazione sia per i miniciocchi in confezioni pressochè miniuso di pochi kg.

I risultati ottenuti sono stati oggetti di presentazioni ad incontri e conferenze internazionali.

I risultati ottenuti dall'esperienza dei bricchetti di sottoprodotti di trebbiatura sono stati inoltre divulgati in ambito internazionale alla conferenza europea delle biomasse.

2. Risultati e deliverable

D.2.1.1 Output dell'attività sulla linea 1:

Il primo risultato dell'attività svolta secondo la linea 1 ha riguardato la verifica della versatilità del separatore realizzato inteso come capacità di potersi adeguare alle diverse tipologie costruttive di mietitrebbiatrici. In questa esperienza si è passati da una mietitrebbia a due rotori assiali ad un singolo rotore anche se di maggiori dimensioni e di altro costruttore. Non si sono rilevate problematiche particolari e gli accorgimenti previsti di adeguamento supporti e convogliatori non sono riusciti ad effettuare il loro compito senza necessità di interventi ausiliari.

Le prove sono state realizzate presso aziende emiliane su coltivazioni di canapa per le quali erano in corso prove di valutazione varietale e di tecnica colturale relativa anche alla produzione di seme e di sottoprodotti inviati all'estrazione di componenti per successiva valorizzazione.



Figura 1 – Particolari del separatore installato e della macchina in lavoro con la parte di prodotto reciso ed in ingresso al gruppo di trebbiatura.

Il prodotto raccolto presentava caratteristiche tali da richiedere immediata stabilizzazione soprattutto relativamente al contenuto di umidità; anche il livello di impurità contenute nel seme si presentava piuttosto contenuto.

L'analisi dei sottoprodotti di trebbiatura raccolti non ha evidenziato presenze di componenti esterne significative ed in particolare modo rappresentate da sementi di infestanti soprattutto sviluppatasi nelle aree perimetrali.

D.2.1.2 Output dell'attività sulla linea 2:

Per quanto riguarda la valutazione di sistemi di compattamento di biomasse residuali da colture erbacee ed arboree hanno seguito percorsi differenziati ed indirizzati a tipologie di utenti diverse.

La valutazione della bricchettatrice professionale quale forma di compattamento utilizzabile per i sottoprodotti di trebbiatura ha presentato risultati molto interessanti soprattutto sul piano dell'aumento di densità raggiungibile che partendo da meno di 40 kg m^{-3} ha permesso di superare i 600 kg m^{-3} con notevole riduzione degli spazi e quindi notevoli vantaggi su tutta la successiva logistica dei trasporti. Unico limite evidenziato ha riguardato la ridotta capacità operativa rispetto ai volumi gestiti dalle moderne mietitrebbiatrici che è al momento in valutazione per successive attività.



Figura 2 – Particolari del sottoprodotto ottenuto sfuso e del relativo bricchetto

Sul piano della tenuta e durabilità i risultati iniziali sono incoraggianti ed i dati in corso di valutazione.

Per quanto riguarda l'attività su espanti i dati raccolti relativi a diverse tipologie di essenze da frutto in relazione a superfici, età e ubicazione sono ancora in fase di elaborazione per la successiva divulgazione.

D.2.1.3 Output dell'attività sulla linea 3:



Relativamente alla divulgazione dei risultati fino alla conclusione delle prove sono stati limitati ai partner di attività coinvolti mentre successivamente sono stati inizialmente presentati ad una conferenza internazionale e sono in attesa dei relativi proceedings, mentre l'attività su residui di espanti sarà rivolta prevalentemente ad imprese del settore impegnate nella logistica dell'alimentazione di impianti a biomassa per termovalorizzazione limitrofi agli areali di produzione.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Non sono state riscontrate particolari criticità

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nulla

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

28° European Biomass Conference and Exhibition

6. Elenco pubblicazioni

2020 Alberto Assirelli, Massimo Brambilla, Elaine Cristina Leonello, Natascia Magagnotti, Raffaele Spinelli. Productivity, cost and product quality of complete-tree processing in orchard termination operations. Under review in Biomass & Bioenergy Journal

2021 Alberto Assirelli, Giancarlo Rocuzzo, Massimo Brambilla, Fiorella Stagno, Vincenzo Civitarese, Andrea Paoletti, Carlo Bisaglia. Potential use of briquetting techniques for cereal chaff. Under review 29th European Biomass Conference and Exhibition Proceedings e-EUBCE Virtual edition



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:

La raccolta singola dell'Arundo, effettuata alla fine della stagione vegetativa costituisce la strategia migliore in termini sia di biomassa che di metano ottenibili per ettaro. Detta strategia consente peraltro di ridurre i costi di esercizio. Per contro, le doppie raccolte permettono di conseguire un piccolo vantaggio come rendimento in metano per unità di peso della biomassa. Tuttavia, detto rendimento è accompagnato da rese di biomassa che sono nettamente più basse. Nel triennio di studio 2016-2018 è stata osservata una elevata variabilità tra i diversi anni, non soltanto sotto il profilo delle produzioni, ma anche nella composizione della biomassa raccolta, e conseguentemente sul rendimento in metano per unità di peso. Per questo motivo, un valore stabile di rendimento in metano della biomassa di Arundo può difficilmente essere indicato in modo univoco. Il nostro studio dimostra che condizioni favorevoli di piovosità incrementano notevolmente la quantità di metano per ettaro ottenibile dall'Arundo.

Linea 2:

Relativamente alle attività su *S. marianum* la produttività della specie è stata valutata utilizzando la tecnica di semina su sodo per due annate consecutive. I risultati mostrano una buona adattabilità della specie a questa metodologia conservativa di semina.

1. Attività svolta

Linea 1

I campioni di biomassa raccolti nell'esperimento agronomico condotto nel triennio 2016-2018 sono stati analizzati per determinarne la composizione qualitativa, ed è stato effettuato un esperimento di digestione anaerobica per determinare la resa in metano dei diversi trattamenti di taglio. È stato inoltre valutato l'effetto dei pretrattamenti termo-alcinali sulla produzione di metano e sulla produzione di lipidi. Dette attività hanno portato a collaborazioni e sinergie sia con la Task 4.1



(Idrolizzati enzimatici a basso tenore di azoto e di inibitori da biomassa lignocellulosica per la filiera del biodiesel di II generazione, Dr.ssa Stefania Galletti), sia con la Task 3.2 (Produzione d'inoculi per digestori anaerobici, Dr.ssa Rosa Marchetti).

È stata altresì condotta una proficua collaborazione con la Task 3.4 Impatto dei biodigestati sulle comunità microbiche dei suoli agrari, Dr.ssa Luisa Maria Manici) per valutazioni sull'effetto dell'effetto dei digestati sui suoli.

È stata intrapresa una collaborazione con ENAMA per la redazione di un capitolo di libro divulgativo sulle colture utilizzabili per alimentare impianti a biometano, nell'ambito di un volume dedicato ai nuovi incentivi sul biometano.

In collaborazione con il Task 2.6 (Potenzialità produttiva e servizi ambientali di colture da bioenergia su suoli marginali, Dr. Marcello Donatelli) è stata messa a punto la calibrazione delle colture di Arundo e Miscanto per la simulazione della produttività delle aree marginali

Linea 2:

Per due annate consecutive un genotipo di cardo mariano, precedentemente selezionato per caratteristiche di buona produttività, è stato seminato in località Anzola (BO) utilizzando la tecnica di semina su sodo per mezzo di una adeguata seminatrice commerciale da girasole. Lo schema sperimentale prevedeva tre blocchi randomizzati con due diversi livelli di concimazione azotata (0 e 100U). La semina è stata eseguita nel mese di ottobre e come precessioni colturali sono state utilizzate: girasole (primo anno) e frumento tenero (secondo anno). Prima della semina è stato eseguito un diserbo chimico totale con glifosate. La raccolta è stata eseguita manualmente nel mese di giugno, prima dell'inizio del prosecco di naturale dispersione dei frutti, e sono stati registrati i parametri morfologici principali (altezza della pianta, numero di ramificazioni laterali, numero di capolini), la densità di piante per metro quadrato e la produttività totale in granella e biomassa erbacea totale (steli, foglie e capolini privati della granella).

2. Risultati e deliverable

Linea 1: I risultati ottenuti vengono di seguito riassunti sotto forma di graphical abstract.

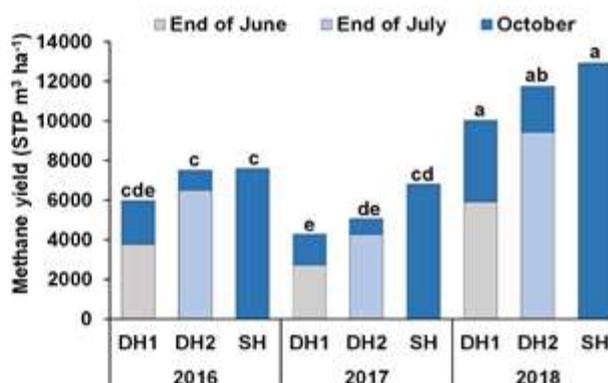
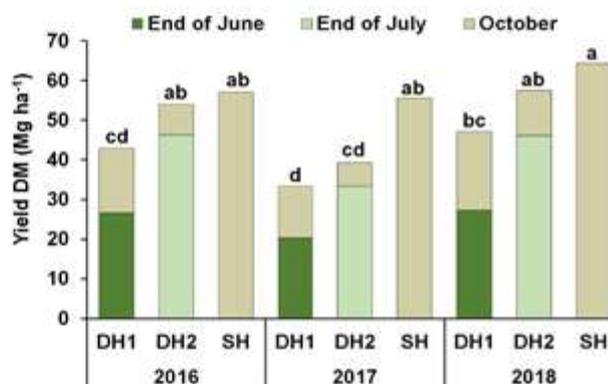


Treatments:

DH1 = double harvest (June and October);

DH2 = double harvest (July and October);

SH = single harvest (October).



L'articolo è accessibile in modalità open access al seguente link:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12790>

Linea 2:

Durante la prima annata di semina è stata impostata una densità di 9 piante per metro quadrato. Questa densità leggermente superiore rispetto alla norma è stata scelta al fine di compensare eventuali fallanze dovute all'utilizzo della semina su sodo. Alla fine del ciclo colturale la densità di piante è stata di 8,89 piante per metro quadrato ($\pm 0,38$ ds) ad indicare che la semina su sodo non ha mostrato problemi di emergenza per la coltura. Dati i risultati incoraggianti della prima annata, durante il secondo anno è stata applicata una densità di semina "normale" di 7 piante e sono state ottenute a fine ciclo colturale 6,74 piante per metro quadrato ($\pm 0,51$ ds) a conferma dell'ottima capacità di emergenza della coltura a seguito di semina su sodo.

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Tabella 1 Dati morfologici della coltura durante le due annate di prova.

	h max pianta (cm)		Diametro stelo (mm)		n° ramificazioni	
	NO	N100	NO	N100	NO	N100
Annata 2018-19	246.67	271.17	27.23	31.65	4.58	4.92
ds	13.82	26.35	1.68	0.99	0.38	0.14
Annata 2019-20	130.83	163.83	15.58	22.33	3.50	3.83
ds	18.35	6.98	2.79	0.76	0.50	0.29

ds, deviazione standard; n=3

Durante il primo anno di prova la coltura ha visto uno sviluppo fin troppo lussureggiante che ha portato al suo allettamento in ampie parti della prova sperimentale. Le piante hanno raggiunto l'altezza di 2,5 metri (tabella 1) e questo ha comportato un significativo allettamento in fase di fioritura anche a seguito di eventi meteorici relativamente blandi. La produttività in granello è stata molto elevata rispetto alle medie normalmente ottenute in precedenza con questo genotipo (Figura 1) ad indicare che la semina su sodo si dimostra una tecnica colturale adatta al cardo mariano. Durante questa prima annata non si sono registrate differenze di produttività tra i due livelli di concimazione applicati (figura 1). Questo si è verificato probabilmente a causa dell'elevata fertilità residua presente in campo dopo la coltivazione precedente (girasole). Durante la seconda annata (precessione colturale frumento) si sono invece osservate differenze tra i due livelli di concimazione azotata. La coltura in questo caso ha avuto uno sviluppo molto più contenuto (altezza massima ca 1,5m; Tabella 1) e non si sono osservati problemi di allettamento. Per quello che riguarda il trattamento concimato la produttività è stata di 1370 ± 245 Kg/ha e di 5295 ± 1004 Kg/ha rispettivamente per granello e biomassa (Figura 1).

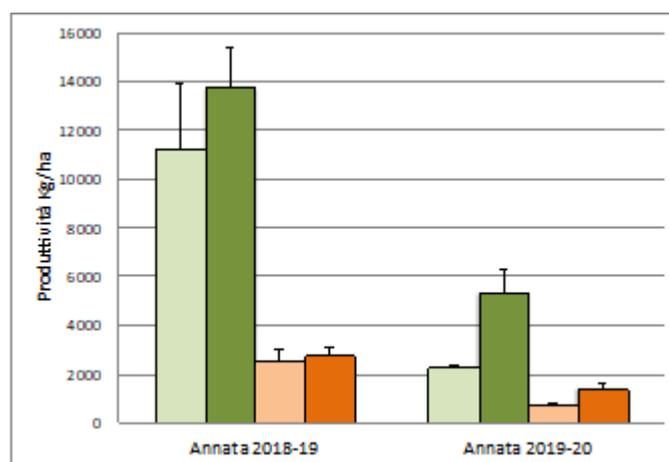


Figura 1 Produttività di *S. marianum* a seguito di semina su sodo e dopo l'applicazione di due diversi livelli di concimazione azotata (0 e 100U) durante le due annate di prova. Vede chiaro, produttività biomassa erbacea totale 0U N; Verde scuro, produttività biomassa erbacea totale 100U N; Arancione chiaro, produttività granello 0U N, Arancione scuro, produttività granello 100U N. Le barre di errore indicano la deviazione standard (n = 3).



3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Linea 1: Nessun ostacolo di rilievo è stato incontrato.

Linea 2: Durante la prima annata di semina su sodo, al fine di evitare eventuali fallanze dovute a una ridotta emergenza della coltura dovuta a questa tecnica di minima lavorazione, si è applicata una densità di semina di 9 piante per metro quadrato invece che di 7 come da protocollo normalmente utilizzato.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nessuna.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Il responsabile di questo task ha partecipato in qualità di relatore al convegno “*La valorizzazione del biometano in ambito agricolo: Sviluppi e prospettive*” organizzato da ENAMA presso la Fiera AIMA di Bologna. Il filmato dell'intero convegno è accessibile sul canale youtube al seguente link: [La valorizzazione del biometano in ambito agricolo: Sviluppi e prospettive - YouTube](#)

Il responsabile di questo task ha inoltre partecipato come relatore e come chairman di sessioni orali a due edizioni successive del convegno internazionale sulle biomasse da energia EUBCE:

Il 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2019, tenutosi a Lisbona (Portogallo);

Il 28th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2020, tenutosi in modalità online a causa della pandemia Covid19.

Il responsabile del task ha altresì partecipato in qualità di relatore al XLVIII convegno annuale della Società Italiana di Agronomia, tenutosi presso l'Università di Perugia, dal 18 al 20 settembre 2019.

6. Elenco pubblicazioni

I. Articoli su riviste internazionali con impact factor:

1. Ceotto E., Vasmara C, Marchetti, R, Cianchetta S, Galletti S. (2021). Biomass and methane yield of giant reed (*Arundo donax* L.) as affected by single and double annual harvest. *GCB Bioenergy*, 13, 3, 393–407. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12790>. Publicato online il 9 dicembre 2020, articolo in modalità open access, che garantisce la più ampia diffusione.
2. Vasmara, C.; Cianchetta, S.; Marchetti, R.; Ceotto, E.; Galletti, S. Potassium Hydroxyde Pre-Treatment Enhances Methane Yield from Giant Reed (*Arundo donax* L.). *Energies* 2021, 14, 630. <https://doi.org/10.3390/en14030630>. Publicato in modalità open access, allo scopo di favorirne la più ampia diffusione.



3. Manici L.M., Caputo F., Cappelli G.A., Ceotto E. (2020). Can repeated soil amendment with biogas digestates increase soil suppressiveness toward non-specific soilborne pathogens in agricultural lands? *Renewable Agriculture and Food Systems* 1–12. <https://doi.org/10.1017/S1742170520000393>.
4. Martinelli T. (2020) PLANT MORPHOLOGY, VEGETATIVE BIOMASS COMPOSITION AND ENERGY CONTENT OF THREE DIFFERENT *Silybum marianum* ACCESSIONS. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 19(6), 71-78.

II) Contributi a convegni scientifici internazionali dotati di comitato scientifico ed indicizzati su Scopus:

1. Cappelli, G.A., Ginaldi, F., Corinzia, S.A., Cosentino, S.L., Fanchini, D., Ceotto, E. (2020). Assessment of Giant Reed Biomass Potential (*Arundo Donax* L.) in Marginal Areas of Italy via the Application of Arungro Simulation Model. *Proceedings of the 28th European Biomass Conference and Exhibition*. Pages 15 – 21, ISBN 978-88-89407-20-2, DOI: 10.5071/28thEUBCE2020-1AO.7.4.
2. Vasmara C., Marchetti R., Cianchetta S., Galletti S., Ceotto E. (2020). Enhancing Methane Yield from Giant Reed (*Arundo donax* L.) through Thermo-Alkaline Pre-Treatment and Co-Digestion with Pig Slurry. *Proceedings of the 28th European Biomass Conference and Exhibition*. Pages 481 – 483, ISBN 978-88-89407-20-2, DOI: 10.5071/28thEUBCE2020-2CV.5.1.
3. 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? *Proceedings of the 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2019*. Pages 166-170, ISBN 978-88-89407-19-6. DOI: 10.5071/27thEUBCE2019-1BV.8.1.
4. 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.) *Proceedings of the 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2019*. Pages 987-991, ISBN 978-88-89407-19-6. DOI: 10.5071/27thEUBCE2019-2CV.8.32.
5. 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? *Proceedings of the 27th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2019*. Pages 1421-1423, ISBN 978-88-89407-19-6. DOI: 10.5071/27thEUBCE2019-3DV.4.7.

III) Contributo a convegno scientifico nazionale dotato di comitato scientifico

1. Vasmara C., Marchetti R., Cianchetta S., Galletti S., Ceotto E. (2019). Double or Single Harvest To Maximize Biomass And Methane Yields Of Giant Reed (*Arundo donax* L.)? *Proceedings of*



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

XLVIII Conference of Italian Society for Agronomy (Seddaiu G., Benincasa P. Eds.), Perugia, Italy, 18th-20th September 2019, pag. 115-116. ISBN 978-88-99407-01-8.

IV) Capitolo di libro divulgativo a cura di Enama

1. Ceotto, E. (2019). Colture utilizzabili per alimentare impianti a biometano. Aspetti ambientali. Capitolo 3. In: I nuovi incentivi per la produzione di biometano. Le novità del nuovo Decreto per la promozione del biometano nel settore agricolo. Quaderni delle Agroenergie.03. ENAMA, Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola. Pagine 31-39. ISBN 978-88-908902-2-2.



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

Task leader: CREA-IT Luigi Pari

Abstract

Le attività di ricerca svolte nella Task 2.3 hanno riguardato l'elaborazione dei risultati ottenuti dalle prove di stoccaggio della biomassa di eucalipto descritte nella precedente relazione e la pubblicazione di questi su riviste scientifiche internazionali. Inoltre, è stata anche sviluppata un'attività di analisi econometrica per determinare la disponibilità a pagare del consumatore medio italiano per quanto riguarda la legna da ardere di eucalipto e per determinare il profilo del possibile cliente target per questa particolare biomassa. Per quanto concerne gli studi sullo stoccaggio della biomassa una prima attività ha riguardato lo stoccaggio in cumulo di "cippatino" di eucalipto, confrontando l'effetto sullo stoccaggio di un telo per la copertura del materiale. Il telo ha limitato le perdite in termini di sostanza secca rispetto alla tesi non coperta (2.7 % vs 8.5 %) e ha anche prevenuto eccessive perdite in termini di bilancio energetico finale ($\Delta En = -0.2\%$ con telo; $\Delta En = -6.17\%$ senza telo). Un'altra attività ha invece riguardato lo stoccaggio del materiale sotto 4 diverse forme (pianta intera sramata, pianta intera, legna da ardere in sacchetti sotto tettoia, legna da ardere in sacchetti all'aria aperta). Tutti e 4 i sistemi hanno raggiunto risultati simili in termini di umidità finale del prodotto e perdite di sostanza secca. La tesi "pianta intera non sramata" ha mostrato il valore più elevato per questo parametro (18%). Gli studi econometrici hanno invece mostrato come la disponibilità a pagare per la legna da ardere di eucalipto si attesti fra i 6 e gli 11 € al quintale. I parametri ritenuti più importanti e positivamente correlati con la disponibilità a pagare sono stati in particolare le caratteristiche energetiche dell'eucalipto, l'attenzione del consumatore alle tematiche ambientali e l'età di quest'ultimo.

1. Attività svolta

Le attività svolte nell'ambito della Task 2.3 hanno riguardato due differenti aspetti della filiera della biomassa di eucalipto a scopi energetici. La prima si è incentrata su studi di stoccaggio della biomassa sotto diverse forme, valutando nel tempo i cambiamenti del materiale in termini di umidità, sostanza secca e caratteristiche energetiche. Per quanto concerne questa specifica attività, nel periodo di riferimento della presente relazione, sono stati elaborati i dati di attività di campo svolte precedentemente, e si è proceduto alla pubblicazione dei dati su riviste scientifiche internazionali. Nello studio inerente lo stoccaggio della biomassa di eucalipto cippata (in particolare cippatino classe P16) sono state confrontate due diverse tesi per lo stoccaggio in cumulo del materiale, vale a dire cumulo coperto con telo e cumulo scoperto. Il secondo studio è invece stato effettuato valutando lo stoccaggio di 4 diverse tesi: pianta intera sramata, pianta intera non

sramata, legna da arder in sacchetti da 15 kg stoccati sotto tettoia e legna da ardere in sacchetti da 15 kg stoccati all'aria aperta.

La seconda attività ha invece riguardato studi di carattere economico finalizzati a comprendere l'esistenza di una nicchia di mercato per tale legna. In particolare, sono stati somministrati dei questionari online volti ad individuare sia la disponibilità a pagare di consumatori italiani per la legna da ardere di eucalipto, sia di definire l'identikit di un consumatore medio interessato all'acquisto di questo particolare tipo di biomassa a fini energetici. Come detto sopra, questa attività è stata effettuata mediante la somministrazione di un questionario a dei consumatori abituali di legna da ardere. In dettaglio 231 rispondenti sono stati individuati mediante un web-based survey.

2. Risultati e deliverable

Lo stoccaggio in cumulo del cippatino di eucalipto (Figura 1) ha mostrato un effetto positivo della copertura del telo in termini di limitazione di perdita della sostanza secca e di bilancio energetico finale. In dettaglio la perdita di sostanza secca riportata nella tesi coperta con il telo è risultata essere del 2.7 % mentre nel cumulo scoperto il valore è risultato pari a 8.5 %. Analogamente la variazione energetica legata allo stoccaggio è risultata pari a -0.2 % nel cumulo coperto mentre è invece cresciuta fino al 6.17 % in quello scoperto. Al contrario non si sono avute variazioni statisticamente significative per quanto concerne contenuto in ceneri, analisi ultima e potere calorifico.



Figura 1. Visione dei due cumuli di cippatino di eucalipto.

Lo stoccaggio sotto forma di pianta intera o legna da ardere (Figura 2) ha invece mostrato un andamento simile fra le varie tesi per quanto riguarda la perdita di umidità, che al termine del periodo di stoccaggio (8 mesi) ha raggiunto un valore intorno al 15 %. Per quanto concerne invece le perdite di sostanza secca il valore più alto, e statisticamente differente dalle altre tre tesi, è stato ottenuto per la pianta intera non sramata (18 %), mentre le altre forme di stoccaggio hanno mostrato perdite di sostanza secca intorno al 5-10 %.



Figura 2. 4 tesi di stoccaggio per la biomassa di eucalipto, a) pianta intera sramata, b) pianta intera non sramata, c) legna da ardere sotto tettoia, d) legna da ardere all'aria aperta.

Gli studi economici finalizzati ad individuare la presenza di una nicchia di mercato, hanno invece mostrato come la disponibilità a pagare per la legna da ardere di eucalipto si attesti fra i 6 e gli 11 € al quintale. I parametri ritenuti più importanti per il consumatore e positivamente correlati con tale disponibilità sono stati in particolare le caratteristiche energetiche dell'eucalipto, l'attenzione del consumatore alle tematiche ambientali e l'età di quest'ultimo. I risultati ottenuti hanno anche mostrato come il cliente target per i rivenditori di biomassa di eucalipto a scopo energetico sia una persona giovane ed attenta ai dettagli, importante è anche, per il consumatore, conoscere chiaramente la provenienza del materiale legnoso e descriverne le caratteristiche tecniche.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Le attività risultano in piena linea con quanto riportato nella proposta progettuale.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Sono previste attività simili per quanto riguarda la filiera del pioppo da Medium Rotation Forestry a scopo energetico. In particolare, i test delle performance di cantieri di small-scale forestry e dello stoccaggio in cumulo del materiale legnoso.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione



Non sono state effettuate attività di divulgazione e formazione nell'ambito della task in oggetto nel periodo di riferimento.

6. Elenco pubblicazioni

Pari L., Bergonzoli S., Cetera P., Mattei P., Alfano V., Rezaie N., Suardi A., Toscano G. Scarfone A. Storage of Fine Woodchips from a Medium Rotation Coppice Eucalyptus Plantation in Central Italy. *Energies* 2020, 13, 2355; doi:10.3390/en13092355

Pari L., Rezaie N., Suardi A., Cetera P., Scarfone A., Bergonzoli S. Medium Rotation Eucalyptus Plant: A Comparison of Storage Systems. *Energies* 2020, 13, 2915; doi:10.3390/en13112915

Palmieri N., Suardi A., Pari L. Italian Consumers' Willingness to Pay for Eucalyptus Firewood. *Sustainability* 2020, 12, 2629; doi:10.3390/su12072629

Palmieri N., Suardi A., Latterini F., Pari L. The Eucalyptus Firewood: Understanding Consumers' Behaviour and Motivations. *Agriculture* 2020, 10, 512; doi:10.3390/agriculture10110512



Task 2.4 Valorizzazione delle biomasse forestali residuali

Task leader: Dr. Giuseppe Pignatti

Linee di attività:

- 1. Coltivazioni**
- 2. Utilizzazione forestale**
- 3. Analisi della sostenibilità economica**
- 4. Analisi dell'impatto ecologico**
- 5. Modellizzazione del cantiere**

Referente: Dr. Giuseppe Pignatti

Abstract

Durante il periodo di attività di riferimento le attività sono state svolte nelle linee di ricerca: 1) Coltivazioni (rilievo in aree di saggio dei principali parametri dendrometrici dei popolamenti esaminati), 2) Utilizzazione forestale (monitoraggio di un cantiere forestale in popolamenti di conifere), 3) Analisi della sostenibilità economica (analisi economica dei costi delle attività in bosco in relazione agli assortimenti ottenuti), 4) Analisi dell'impatto ecologico (rilievo dell'impatto al terzo anno dal taglio sulla composizione specifica del sottobosco). L'analisi del cantiere di utilizzazione forestale è stata effettuata su una pineta di *Pinus radiata* di circa 45 anni d'età, per una produzione di tre assortimenti (legna da ardere, cippato e segati), con diverse forme di intervento selvicolturale e sistema di lavoro del legno lungo. L'utile economico è maggiore nell'intervento che è finalizzato ad avviare il processo di rinnovazione del pino, assicurando al contempo la copertura continua del suolo e la sostituzione dei popolamenti coetanei favorendo la biodiversità sia in termini di struttura che di specie. Disturbi derivanti dal cambiamento climatico, dalla presenza di parassiti e di incendi sono tra i principali pericoli per piantagioni di conifere in area mediterranea, soprattutto in popolamenti forestali monospecifici, omogenei e coetanei. In questo contesto, la trasformazione in popolamenti più resilienti e la riduzione del rischio di incendio (ad es., con il recupero dei residui dell'utilizzazione) contribuisce a valorizzare le piantagioni esistenti sotto il profilo economico e ambientale. Sono infine proseguite le attività sul pioppeto in collaborazione con la Task 5.1.

1. Attività svolta

Linea 1 - Caratterizzazione dendrometrica e stima del potenziale di biomassa ritraibile di una piantagione forestale di conifere di pino insigne (in Sardegna, complesso di Monte Idolo, comune di Arzana). Sono stati posti a confronto un diradamento sistematico (30% di prelievo in volume), un diradamento selettivo (analogo prelievo), un taglio di rinnovazione (40% di prelievo in volume, con particolare attenzione alla rinnovazione e alla protezione del suolo). Sono stati effettuati i rilievi

dendrometrici sul pino in aree di saggio di circa 2000 m² analizzando diametri a 1.30 m, altezza, posizione sociale e forma della pianta. Di ogni pianta è stato rilevato anche il volume ripartito per assortimenti ottenuti e il volume totale.

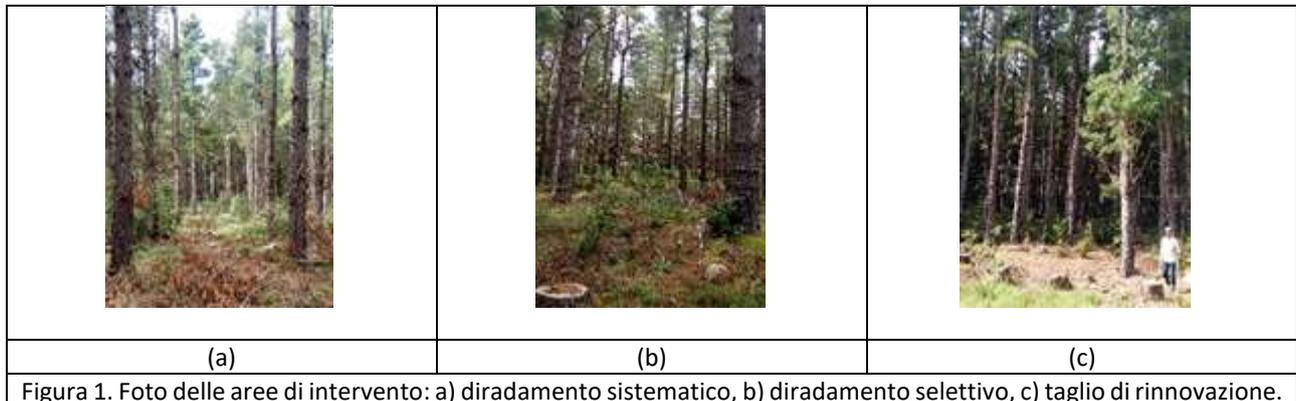


Figura 1. Foto delle aree di intervento: a) diradamento sistematico, b) diradamento selettivo, c) taglio di rinnovazione.

Linea 2 - Analisi dei cantieri forestali con studio dei tempi di lavoro e delle produttività in relazione al sistema di lavoro adottato. L'analisi delle operazioni di utilizzazione è stata realizzata rilevando i tempi di lavoro delle varie fasi di abbattimento, allestimento ed esbosco per tutte le piante abbattute presenti nelle aree di saggio. L'abbattimento è stato effettuato con una squadra di 4 operai forestali specializzati utilizzando motoseghe Stihl 260, l'esbosco degli alberi interi era fatto con un trattore dotato di verricello forestale (Same 70 CV, verricello DH70) e l'allestimento all'imposto con processor Kamo Euromach 125R di 125 kW con testa Konrad Woody.

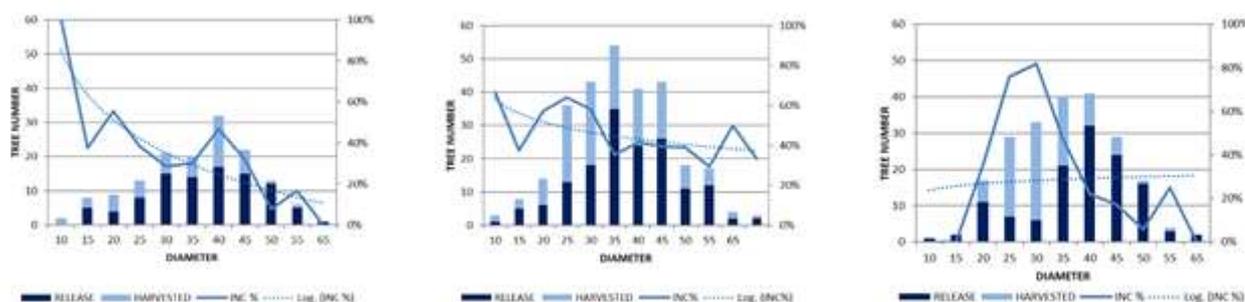
Linea 3 - Valutazione della convenienza economica dell'utilizzo dei residui dell'utilizzazione nei diradamenti (in collegamento con la Task 5.1). I dati sui tempi di abbattimento, allestimento ed esbosco sono stati analizzati utilizzando l'analisi della covarianza (ANCOVA) e regressione semplice, multipla e lineare (con variabili qualitative), utilizzando il software di analisi statistica R.

Linea 4 - Valutazione dell'impatto ecologico del prelievo dei residui. L'analisi sulla rinnovazione e sulla vegetazione del sottobosco è stata effettuata utilizzando il metodo PCQ (point-centered quarter) prima dell'abbattimento nelle aree di saggio oggetto delle operazioni in quattro transect, ognuno costituito da cinque plot di rilievo. Il metodo PCQ è utilizzato spesso per lo studio della struttura forestale e della densità di specie nel popolamento forestale. L'analisi degli effetti delle operazioni dopo il taglio è stata effettuata mediante sopralluogo visivo circa 12 mesi dopo la fine delle operazioni.

In collaborazione con il task 5.1 sono infine proseguite le attività su piantagioni di pioppo realizzate presso l'azienda Oville del CREA, utilizzando 2 cloni sperimentali (pioppelle), 3 cloni sperimentali (talee) e 2 cloni tradizionali (Villafranca, Jean Pourtet, astoni). Sono state effettuate le cure colturali sugli impianti ed i rilievi del primo triennio (pioppeto tradizionale) e biennio (SRF) di crescita, che sono oggetto di report dettagliato della scheda relativa.

2. Risultati e deliverable

Linea 1 (Deliverable D241) – Nella figura sono riportati i grafici dei popolamenti in cui si è effettuato l'intervento selvicolturale. La situazione di partenza era alquanto omogenea, con una ripartizione dei diametri coerente con popolamenti coetanei. L'intervento (confronto tra poligoni di frequenza chiari e scuri) evidenzia la scarsa trasformazione strutturale negli interventi di diradamento, in confronto a quanto ottenuto con il taglio di rinnovazione (buon rilascio di piante nelle classi 40-45 cm, anche con funzione di disseminazione, maggiore impatto su classi diametriche inferiori).



(a)

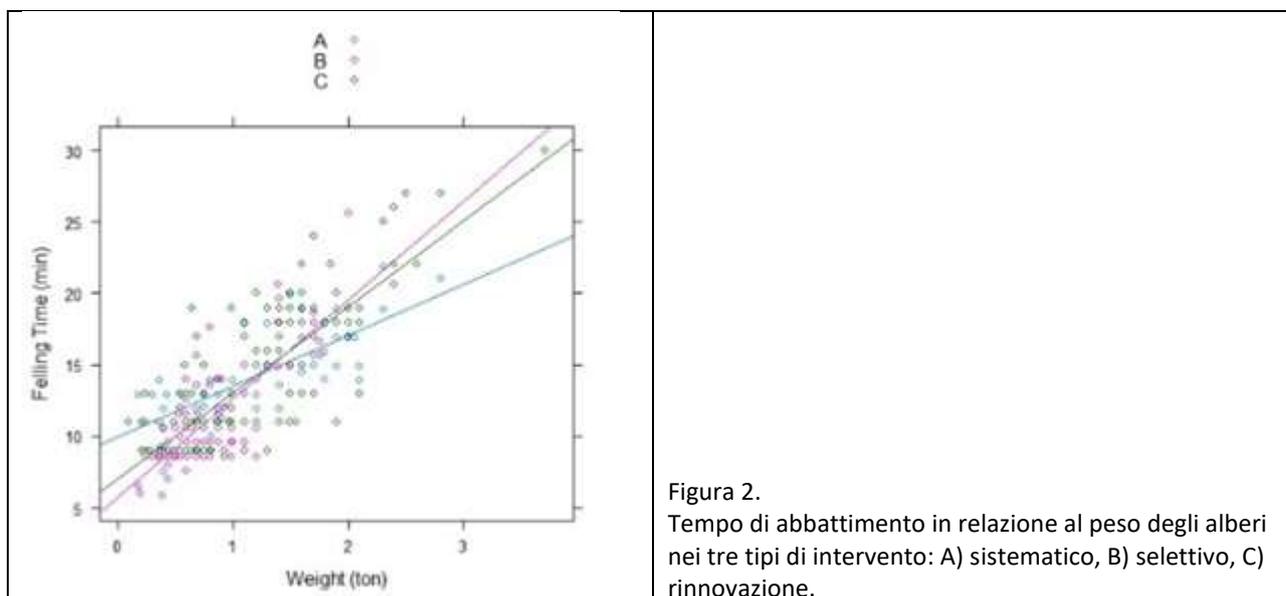
(b)

(c)

Figura 1. Impatto delle operazioni di utilizzazione come numero di piante e incidenza % e logaritmo [INC %, log (INC %)] nei tre tipi di intervento: a) sistematico, b) selettivo, c) rinnovazione.

Linea 2 (Deliverable D242) - Analisi dei cantieri forestali con studio dei tempi di lavoro e delle produttività in relazione al sistema di lavoro adottato. L'analisi delle operazioni di utilizzazione ha evidenziato che il tempo di abbattimento era significativamente dipendente dal peso dell'albero (ANCOVA $F(1, 257) = 450.32, p < 0.000$) e l'interazione tra peso e tipo di intervento era significativo ($F(2, 257) = 8.76, p < 0.000$). La più alta produttività si è riscontrata per il diradamento sistematico, seguito dal taglio di rinnovazione, tuttavia la differenza è evidente solo per piante di dimensioni superiori a 1.2 t.

Il tempo di allestimento dipende dal peso della pianta ($F(1, 261) = 386, p < 0.000$, con R^2 di 0.595), mentre il tempo di esbosco dalla distanza ($F(4, 161) = 103.4, p < 0.000, R^2$ di 0.714), e il tempo di carico non ha condizionato il processo.



Linea 3 (Deliverable D243) - Valutazione della convenienza economica dell'utilizzo dei residui dell'utilizzazione nei diradamenti (in collegamento con la Task 5.1). A parte i prodotti di minore valore (cippato ottenuto dai residui e legna da ardere), l'assortimento di maggior valore è rappresentato dai segati richiesti dall'industria di imballaggio (pallets). Una regressione lineare multipla è stata utilizzata per stimare il volume di segati a partire dal diametro dell'albero, forma del tronco, classe di albero (posizione sociale) e tipo di intervento. L'equazione risultante è significativa ($F(8, 261) = 1179, p < 0.000$, con R^2 di 0.972). Il volume stimato di segato aumenta con il diametro (0.156 m^3 per ogni incremento di cm) e classe arborea (0.157 m^3 per posizione dominante), ma decresce con l'altezza dell'albero (-0.267 m^3 per ogni m), mentre il tipo di intervento e la presenza di biforcazioni non hanno una influenza significativa. Nel complesso, il maggiore utile economico si ottiene dal taglio di rinnovazione (11.000 €/ha), mentre i ricavi si riducono del 36% e del 61%, rispettivamente con il diradamento sistematico e selettivo.

Linea 4 (Deliverable D244) - Valutazione dell'impatto ecologico del prelievo dei residui. Il sottobosco delle pinete in cui si è intervenuto ha evidenziato una densità maggiore di leccio (3351 piante/ha) seguito da pino (1139 piante/ha) e ciliegio selvatico (536 piante/ha). La presenza del sottobosco arbustivo è più limitata. La distribuzione del leccio è omogenea e quindi si realizzano buone condizioni per la copertura successiva del suolo in relazione al suo sviluppo (tabella 1). L'asportazione dei residui dopo l'intervento può quindi favorire il progressivo insediamento della rinnovazione del soprassuolo, riducendo il rischio di incendio e contribuendo all'aumento della diversità di specie nel popolamento. È tuttavia ancora presto per poter dire se il leccio sarà in grado di sostituire subito il pino: è più verosimile che vi sarà un periodo di mescolanza tra le due specie che si rifletterà in un ecosistema, nel complesso, più stabile.

Tabella 1. Specie più importanti di alberi (T) e arbusti (S) nello strato di rinnovazione.

Specie	Densità relativa	Copertura relativa	Densità assoluta
Quercus ilex (T)	62.50	50.00	3351.94
Pinus radiata (T)	21.25	25.00	1139.66
Prunus avium (T)	10.0	15.00	536.31
Prunus spinosa (S)	45.0	32.61	203.44

Nell'ambito del task 5.1 le elaborazioni relative ai primi quattro anni di crescita del pioppeto tradizionale hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra i due cloni esaminati rispetto alla variabile del peso (Fig. 3a). Si evidenziano anche differenze significative nelle condizioni topografiche della piantagione (porzione alta, mediana e bassa), tuttavia l'interazione con il fattore genetico (clone) non è significativa (Fig. 3b).

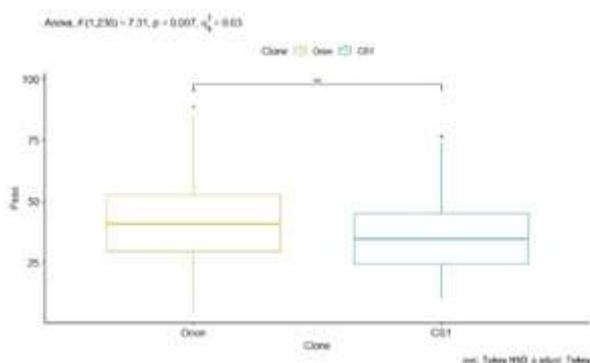


Fig. 3a

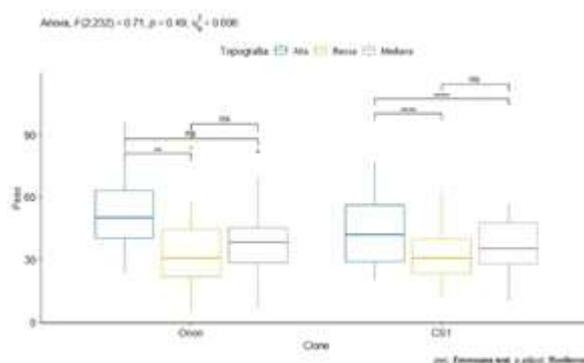


Fig. 3b

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Come previsto nel piano di attività della Task al punto 2.4.7, il protrarsi dell'iter autorizzativo riguardante il taglio della pineta di *Pinus radiata* dell'azienda del CREA, ha reso opportuno l'inclusione nello studio di un cantiere di utilizzazione riguardante un nuovo caso di studio, seguendo i medesimi presupposti tecnico-scientifici sui quali era stata formulato il piano di attività della Task, al fine di consentire di completare l'attività progettuale prevista. In particolare, a seguito di una valutazione tecnica, ambientale e di fattibilità, sono stati individuati soprassuoli confrontabili in alcune pinete di pino insigne in Sardegna e in pinete di pino domestico nell'area di Castelporziano (Roma). Il caso del pino insigne della Sardegna è stato analizzato in questo segmento di attività e descritto in questa relazione, mentre lo studio riguardante il pino domestico a Castelporziano,



oggetto di rilievi nel corso dell'anno corrente (2021) è incentrato soprattutto sugli aspetti riguardanti i danni al suolo.

I cantieri analizzati nei diversi anni del progetto (ceduo di eucalipto, ceduo di querce, fustaia di pino insigne, fustaia di pino domestico) consentono di ottenere i dati necessari per la modellizzazione del cantiere, prevista nella fase conclusiva dell'attività del progetto (Linea 5, Modellizzazione del cantiere), che si andranno ad aggiungere a quelli che deriveranno dall'utilizzazione presso l'azienda del CREA, qualora effettuata in tempo utile (grazie alla proroga progettuale concessa).

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

In aggiunta ai cantieri studiati, si sta valutando l'opportunità di includere analisi relative ad altri cantieri (es. pioppeto per biomassa, piantagioni di conifere), al fine di ottenere un numero maggiore di casi di studio da includere nel modello finale. Ciò non comporterà varianti tecnico-scientifiche al progetto, ma una casistica maggiore da prendere in considerazione per aumentare la robustezza del modello prodotto.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

I risultati del periodo riguardanti progetto sono stati presentati alla conferenza internazionale International Electronic Conference on Forests — Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinarity, 15/11/2020 - 30/11/2020.

6. Elenco pubblicazioni

Pignatti, G.; Facciotto, G.; Incollu, G.; Maltoni, S.; Marongiu, M.; Sperandio, G.; Verani, S.; Puxeddu, M. Sustainable Forest Management in Radiata pine Plantations: A Case Study in Sardinia (Italy). Environ. Sci. Proc. 2021, 3, 51. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-07958>.

Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Pignatti G. GreenBook for the Innovation in Fast Growing Trees. Prerequisites and new developments for Southern European short-rotation forestry. International Poplar Commission 2021 (in stampa).



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

La relazione riguarda l'attività da luglio 2019 a dicembre 2020. Si riporta la sintesi delle analisi dei tempi di lavoro di diversi cantieri di abbattimento e potatura in ambito urbano. L'organizzazione dei rilievi ha seguito due tipologie principali di modalità di lavoro: quella “tree climbing” e quella con piattaforma mobile (PLE).

Le numerose osservazioni di cui si è arricchita la banca dati (4 ditte coinvolte, 11 cantieri, 16 alberi, circa 63 ore di rilievi) su entrambi i sistemi di lavoro, hanno permesso lo sviluppo di una bozza modellistica caratterizzante le diverse produttività in base ai molti e molto, variabili parametri peculiari della “gestione del verde” in ambito urbano.

Presso tutti i cantieri seguiti sono stati rilevati i tempi di lavoro e valutate le prestazioni operative delle macchine e del personale impegnato, è stata, inoltre, quantificata la biomassa prodotta ed il costo del cantiere riferito alle risorse impiegate per produrla.

La linea di attività numero 2 si è svolta prelevando campioni di legno da alcuni dei cantieri seguiti, e, a cadenza stagionale, negli istituti del CREA ricadenti all'interno o nei pressi del grande raccordo anulare o di grandi arterie di comunicazione di Roma. A questi prelievi si sono aggiunti quelli realizzati nella tenuta presidenziale di Castelporziano, così da avere un confronto tra i prodotti della combustione provenienti da un ambito prettamente urbano e quelli provenienti da una realtà di verde di foresta periurbana.

1. Attività svolta (Linea 1)

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

Sono stati seguiti ed analizzati 11 cantieri (Figura 1). In 3 di questi (6 alberi) si eseguivano solo lavori di potatura, in 8 (10 alberi) di abbattimento.

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

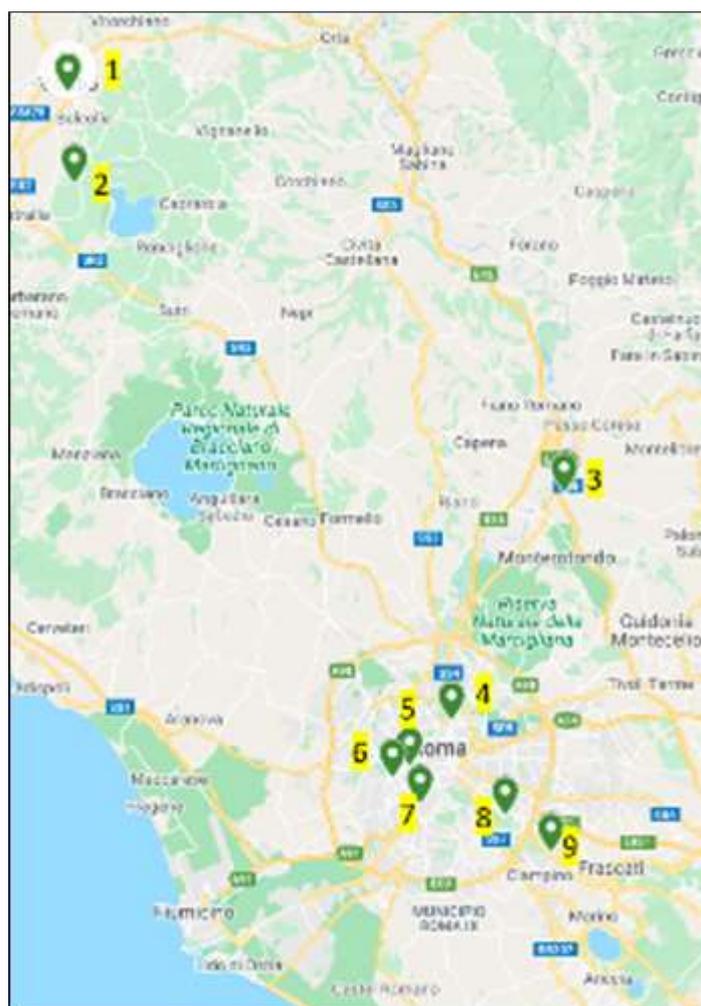


Figura 1. Localizzazione dei cantieri seguiti.

Tabella 1. Dati delle specie lavorate nei singoli cantieri.

Sito	Tipo di intervento	Metodo di lavoro	Specie	Piante osservate	Altezza (m)	Diametro (cm) (medio)
------	--------------------	------------------	--------	------------------	-------------	-----------------------



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

					(media se più piante)	se più piante)
1- Viterbo, Via Ottusa	potatura	Tree climbing	<i>Magnolia grandiflora</i>	1	15	50
2- Viterbo, San Martino al C.	abbattimento	Tree climbing	<i>Cupressus semprevire ns</i>	1	12	37
3A- Monterotondo (CREA-IT)	abbattimento	Piattaform a elevabile	<i>Pinus pinea</i>	3	18.8	71
3B- Monterotondo (CREA-IT)	potatura	Piattaform a elevabile	<i>Pinus pinea</i>	4	19	62.5
3C- Monterotondo (CREA-IT)	potatura	Piattaform a elevabile	<i>Pinus pinea</i>	1	19.8	79
4- Roma, Via Volsinio	abbattimento	Piattaform a elevabile	<i>Pinus pinea</i>	1	23	70
5- Roma, Via G. Medici	abbattimento	Piattaform a elevabile	<i>Pinus pinea</i>	1	25	99
6- Roma, Via A.Busi	abbattimento	Piattaform a elevabile	<i>Pinus pinea</i>	1	22	67
7- Roma, Basilica di San Paolo	abbattimento	Tree climbing	<i>Pinus pinea</i>	1	16.5	56
8- Roma, Via Lemonia	abbattimento	Tree climbing	<i>Pinus pinea</i>	1	11	49
9- Roma, Via Morano C.	abbattimento	Tree climbing	<i>Pinus pinea</i>	1	16	80



Le attività di rilievo nei cantieri hanno riguardato (Tabella 1).:

- Abbattimento e rimozione di 9 esemplari di *Pinus pinea* (3 con tecnica tree climbing e 6 con piattaforma).
- Potatura e rimozione della ramaglia di 5 esemplari di *Pinus pinea* (tutti con piattaforma).
- Potatura e rimozione della ramaglia di un esemplare *Magnolia grandiflora* in un contesto di non facile intervento (tree climbing).
- Abbattimento e rimozione di 1 esemplare di *Cupressus sempervirens* (tree climbing)

I rilievi sono consistiti nell'acquisizione, tramite tabella cronometrica e riprese video, dei tempi di lavoro. La metodologia adottata per questa attività si rifà in larga massima alla metodologia internazionale CIOSTA. Nello stesso tempo, sono state acquisite le necessarie informazioni riguardanti le attrezzature impiegate, la composizione delle squadre di lavoro e i dati dendrometrici basilari delle alberature oggetto degli interventi di gestione. Si è provveduto infine a stimare o a misurare la biomassa prodotta. Da ogni cantiere, quando possibile, sono stati prelevati dei campioni, per le determinazioni analitiche.

1b. Attività svolta (Linea 2)

In alcuni dei cantieri seguiti si è provveduto a prelevare campioni di legno da rami da 3 a 5 anni per studiare la presenza di metalli.

In alcune delle sedi CREA di Roma (IT, AA, DC, AN, QCE) e nella tenuta Presidenziale di Castelporziano (5 punti di rilievo su un transetto orientato N-S) (Figura 2), si è provveduto ad un prelievo stagionale (uno per stagione dell'anno / tabella 2) di campioni di rametti dai 3 ai 5 anni con foglie e foglie di un anno per studiare la presenza di metalli pesanti rispetto ad una variabilità di origine stagionale o legata ad impatti differenti o riconducibili all'attività antropica (traffico, condizioni meteorologiche, aerosol marino ecc.).

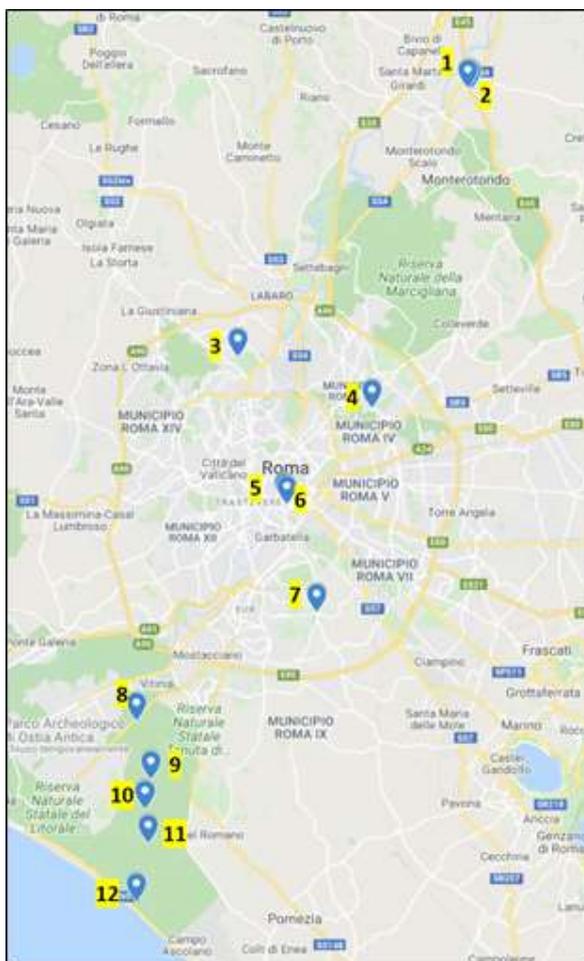


Figura 2. I siti di prelievo dei campioni di Leccio.

Tabella 2. Numero dei prelievi e campionamento totale dal luglio 2019 a dicembre 2020

Sito	Prelievi dal 7/2019 al 12/2020	Campioni totali
1-2 _CREA IT	10	20
3 _CREA QCE	5	10
4 _CREA DC	5	10
5-6 CREA AA	10	20
7 _CREA AN	5	10



8-12 TENUTA DI C. PORZIANO	25	50
Totali	60	120

2. Risultati e deliverable

– Linea 1

I deliverable sono relativi all'attività della linea 1 previsti a metà del 14 quadrimestre.

Si è continuato a seguire cantieri di lavori inerenti la gestione del verde pubblici e privato per arricchire la rispondenza dei dati già acquisiti ed avere così una base statistica il più possibile rappresentativa della quantità di variabili che caratterizzano il lavoro di potatura ed abbattimento in zone di verde urbano. I contatti con le ditte si sono arricchiti di altri nominativi e conseguenti diversi modi di lavoro e di approccio alla cantieristica del verde. Inoltre, si sono consolidati quelli con le ditte seguite negli anni scorsi con un confronto più valido sulla tematica di studio, che ha avuto come conseguenza la possibilità di seguire diversi lavori, per poter così tentare una parametrizzazione del tempo di lavoro, della produttività e del costo, in dipendenza delle caratteristiche del cantiere (specie, lavoro, tecnica, attrezzature, ostacoli, facilità di sgombero) mantenendo alcune variabili relative all'esecuzione materiale del lavoro e ai suoi costi quali variabili indipendenti.

Di ogni cantiere sono stati misurati i tempi delle singole fasi di lavoro per tutta la durata della giornata lavorativa o fino alla fine del lavoro, alla misura dei tempi con tabella cronometrica, quando possibile si è affiancata una ripresa video di tutto il periodo di lavoro. Si è provveduto a misurare direttamente o a stimare il peso della biomassa prodotta (alcune ditte ricevevano la misura del peso al conferimento del materiale). Dei cantieri è stata realizzata l'analisi economica e valutata la congruità delle attrezzature alla luce dell'analisi dei costi e della produttività.

Tabella 3. Biomassa prodotta e tempo di lavoro nei cantieri

Sito	Biomassa (ton)	Tempo di lavoro totale (H)
1 Viterbo, Via Ottusa	0,9	8,19
2 Viterbo, San Martino al C.	1,29	2,97
3 Monterotondo (CREA-IT) (potatura di	15,48	13,93



5 esemplari, abbattimento di 3)		
4 Roma, Via Volsinio	5,07	7,59
5 Roma, Via G. Medici	14	5,88
6 Roma, Via A. Busi	5,4	8,25
7 Roma, Basilica di San Paolo	4	7,65
8 Roma, Via Lemonia	1,6	3,13
9 Roma, Via Morano C.	4,2	5,5
TOTALI	51,94	63,09

Sia per quanto riguarda la potatura sia per l'abbattimento, i tempi rilevati si riferiscono:

- alla **preparazione** del lavoro, che include il tempo intercorso dall'arrivo sul posto fino all'avvicinamento alla pianta e lo "smontaggio" del cantiere a fine lavoro.
- Il tempo di **taglio** (potatura o taglio vero e proprio degli assortimenti, quando è previsto l'abbattimento della pianta)
- Quello di **spostamento**, riguarda i movimenti in chioma dell'operatore (in tree climbing o con la piattaforma).
- Infine, i tempi morti, divisi in **evitabili** o **inevitabili**. Improduttivi in entrambi i casi ma, per esempio, riducibili o azzerabili, i primi, con una migliore organizzazione del lavoro. I secondi necessari allo svolgimento del lavoro stesso.

Nella valutazione dei cantieri si è anche tenuto conto della difficoltà di accesso al sito e della spesso conseguente gestione del materiale prodotto, dal momento del taglio allo sgombero della zona sotto pianta.

Nei Grafici 1 e 2 si riportano, come esempio, i confronti tra i tempi medi e quelli percentuali per le singole fasi di lavoro nei cantieri di abbattimento e potatura con i due metodi di lavoro (TC e PLE).

I dati riguardano solo lavori su pino domestico, su cui sono richiesti la maggior parte di interventi, risultando di conseguenza il caso più frequente di intervento.

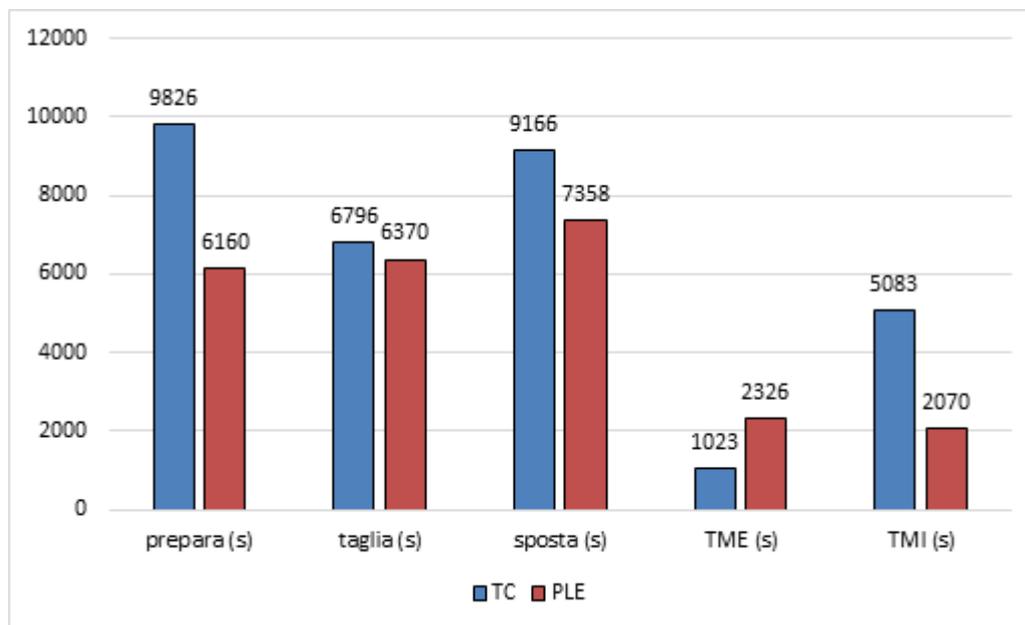


Grafico 1. Durata media delle singole fasi in cantieri di abbattimento di pino domestico con tecniche di tree climbing e piattaforma in secondi centesimali.

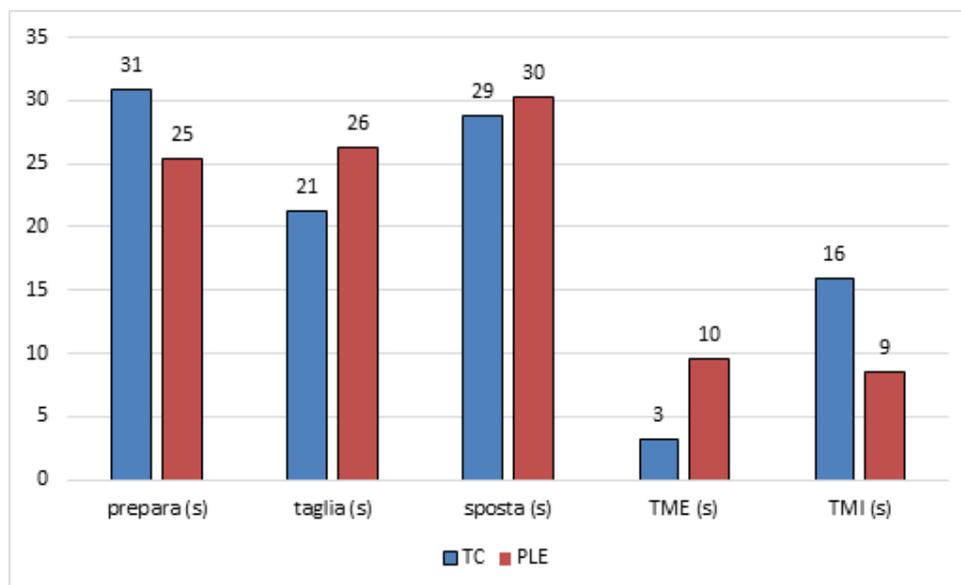


Grafico 2. Ripartizione percentuale dei tempi medi per ogni fase di lavoro su cantieri di abbattimento di pino domestico con tecniche di tree climbing e piattaforma

Le variabili che caratterizzano e, di conseguenza, diversificano il lavoro nella gestione del verde arboreo in ambiente urbano sono risultate molteplici. Alcune prevedibili, altre inaspettate.

L'osservazione del lavoro e la valutazione dei cantieri, conseguenti alla realizzazione del lavoro stesso, dipendono da parametri la cui modellizzazione richiede, come ovvio, molteplici osservazioni. Il posizionamento della pianta, la facilità di accesso degli operatori e dei veicoli, la vicinanza a manufatti, alla viabilità pedonale e di mezzi, sono solo pochi degli aspetti da considerare.

– Linea 2

In alcuni dei cantieri seguiti per la linea 1 di attività, sono stati raccolti dei campioni di legno per la successiva caratterizzazione di base (peso, volume, umidità) e per l'analisi dei metalli pesanti in essi contenuti. La necessità della ripetibilità del campionamento nello stesso luogo ha spinto la ricerca verso siti in cui si potesse, con cadenza stagionale, ripetere i prelievi di materiale sul quale eseguire analisi. Da qui la scelta di eseguire detti prelievi negli istituti del CREA nel centro di Roma o nei pressi del raccordo anulare o di arterie di grande comunicazione e di 5 punti nella tenuta presidenziale di Castelporziano.

Per la sua ubiquità, tipicità ed habitus vegetativo, la specie prescelta è stato il leccio (*Quercus ilex* L.). i prelievi del primo anno realizzati nella tenuta presidenziale sono stati sottoposti ad analisi, effettuate mediante spettrometria di emissione ottica al plasma (ICP OES), che hanno determinato le concentrazioni di metalli pesanti quali Cadmio, Nichel e Piombo (Grafico 3) e di altri elementi.

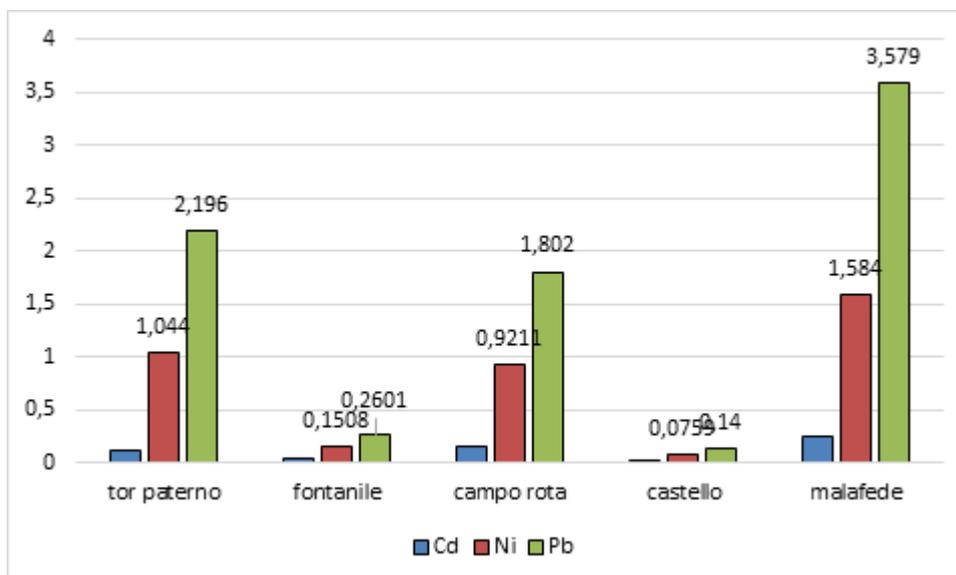


Grafico 3. Concentrazione di Cd, Ni e Pb in legno e foglie. Prelievo giugno 2020 (ppm).

Sono in corso altre analisi per determinare altri metalli pesanti e micro e macro- elementi. Gli eventuali fenomeni di inquinamento possono essere dovuti alla deposizione di elementi di varia natura, causati dall' impatto antropico o da altri fattori. Considerando il potenziale di utilizzo delle



biomasse provenienti dalla gestione del verde urbano e periurbano quale fonte di materia prima per la produzione di energia, deve obbligatoriamente avvalersi della conoscenza di quanto accumulato nei tessuti.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

I rapporti con le ditte che lavorano nel contesto della gestione del verde urbano si sono rafforzati e sono, di conseguenza, diminuite le difficoltà di comunicazione e di ricerca di lavori da poter seguire. Questo ostacolo, seppur in maniera minore, comunque resta presente.

Un'altra difficoltà a volte riscontrata è stata quella di poter avere la misura certa di quanto prodotto in termini di biomassa in peso. Le ditte che realizzano i lavori a volte si servono di ditte esterne per il carico e lo smaltimento della biomassa. Non sempre queste ditte comunicano il peso smaltito, se non su specifica richiesta. In questi casi si è ricorso ad una stima indiretta del peso prodotto a partire dal volume misurato della biomassa a terra o nei cassoni dei mezzi di trasporto.

Altro ostacolo prevedibile, difficilmente superabile ha riguardato tutte le complicazioni che si possono creare durante il lavoro su strade e in ambienti di fruizione pubblica. Tra queste, solo a titolo di esempio, si possono citare le lunghe attese dovute ai veicoli in sosta, non rimossi, anche dopo l'apposizione del divieto per lo svolgimento del lavoro fino alla difficoltà di operare tagli in quota per evitare problemi creati a strutture delicate nelle vicinanze delle piante da tagliare (ospedali per es.).

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nella tenuta di Castelporziano si sono potuti seguire i lavori di taglio ed esbosco con utilizzo di meccanizzazione avanzata (feller buncher e forwarder) di alcune Pinete di pino domestico e rilevarne i tempi di esecuzione e l'impatto delle lavorazioni sul suolo. Presto si rileveranno anche i tempi di realizzazione della cippatura. Questa attività potrà fornire ancora dati interessanti riguardanti i tempi di lavoro e la produttività di lavori realizzati con una meccanizzazione spinta, ma in un contesto di verde periurbano. Si prevede di continuare questa proficua collaborazione con la tenuta presidenziale.

5. Elenco pubblicazioni

Civitarese V., Acampora A., Sperandio G., Gallo P., Biocca M. *I prodotti della gestione del verde urbano. Cantieristica e potenziali impieghi delle biomasse*. Sottoposto a Sherwood.

Aromolo R., Biocca M., Gallo P., Imperi G. (2021) *Valutazione di parametri qualitativi nella biomassa legnosa di Quercus ilex a Castelporziano: primi risultati*. In corso di pubblicazione in: "IV° serie di



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

raccolte dell'Accademia Nazionale delle Scienze - Il Sistema ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano – Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo”.

Bianchini L., Cecchini M., Gallo P., Biocca M. (2021) *A Survey on Rope-Based Ascending Techniques and Materials of Professional Arborists in Italy*. Environ. Sci. Proc. 2021, 3, 23. doi: 10.3390/IECF2020-07881.

Biocca, M., Gallo, P., Sperandio G. (2021) *Technical and Economic Aspects of Stone Pine (Pinus pinea L.) Maintenance in Urban Environments*. Environ. Sci. Proc. 2021, 3, 16. doi: 10.3390/IECF2020-07910.

Biocca M., Gallo P., Sperandio G. (2020) *Technical and Economic Evaluation of Urban Trees Pruning by Climbing Arborists*. In: Coppola A., Di Renzo G., Altieri G., D'Antonio P. (eds) *Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production*. MID-TERM AIIA 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 67, 653-660, Springer, Cham



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 alle colture da energia da simulare introducendo nuove misure acquisite nelle stagioni 2018 e 2019 su sorgo da biomassa seminato tardivamente (fine luglio e inizio agosto) e soggetto a diversi trattamenti irrigui. È stata curata la realizzazione di una banca dati pedologica ed i relativi legami tra strati informativi geografici, tipologie e siti (SuoliCella500). Trattasi di banca dati spaziale basata su geometrie puntuali distribuite su una griglia di 500m che copre l'intero territorio italiano. È stata curata l'esposizione su *cloud* intranet in modo da consentire un accesso alla banca dati da parte di personale autorizzato ed interrogazioni tramite *API* (*Application Program Interface*). Un ulteriore sviluppo ha consentito di sviluppare *pipelines SQL*, in accordo con l'ontologia OBOE. È stata completata l'analisi di *land suitability* delle colture lignocellulosiche bioenergetiche considerate in ambiente GIS attraverso la relazione multivariata tra alcune variabili ambientali e le esigenze ecologiche delle specie esaminate. Le colture considerate sono state: pioppo (*P x canadensis*), salice (*S. alba*), robinia (*R. pseudocacacia*), canna domestica (*Arundo donax*) e vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).

Linea 2 - In questo ambito le attività hanno riguardato il consolidamento e la documentazione della soluzione di modellazione (SM) SunnGro, che consente di simulare le produzioni di crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) in risposta a diverse strategie di gestione colturale. È stata inoltre effettuata la migrazione della SM Arungro per la simulazione della canna comune (*Arundo Donax* L.) nella piattaforma *cloud Microsoft Azure*, utilizzando la *suite DevOps*, che consiste di *repository GIT*, con *build pipelines* automatiche che ad ogni commit di una nuova versione del codice avviano una *suite*



di test. La SM è stata pubblicata come *API RESTful*, facendo ricorso alla tecnologia *Azure Functions*, al fine di consentire un utilizzo del modello in ottica *Software as a Service*. I dati spazializzati e georiferiti a scala nazionale necessari ad alimentare i modelli di simulazione (i.e. clima attuale e futuro, caratteristiche chimico-fisiche dei suoli, marginalità dei terreni, *suitability*) sono stati trasferiti su base dati *Azure SQL* spazializzata, ed associati ad *API Web* che permettono di estrarre i dati senza necessità di conoscere la struttura logica sottostante. La stessa logica è stata seguita per gli output delle simulazioni territoriali che, una volta persistiti, possono essere pubblicati tramite *API RESTful*, con vari livelli di visibilità configurabili. Sfruttando le caratteristiche *built-in* del *cloud Azure* è stato implementato un meccanismo di accodamento di porzioni delle simulazioni in *service queues*, da utilizzare per l'effettuazione delle simulazioni territoriali.

Linea 3 - L'attività svolta ha riguardato la calibrazione estensiva della soluzione di modellazione basata su Arungro utilizzando set di dati sperimentali raccolti nel periodo 1997-2013 in 6 località italiane, considerando livelli produttivi potenziale e limitato da stress idrico. Successivamente è stata effettuata una stima della resa (e della relativa variabilità), del consumo idrico e di quanta energia, sotto forma di biometano, bioetanolo e combustibile solido, può essere ottenuta dalla coltivazione di arundo nelle aree marginali (AM) del territorio italiano, tramite l'applicazione spazialmente esplicita del modello precedentemente calibrato (risoluzione spaziale a 500 m). È stata inoltre condotta una stima dei bilanci energetici in sistemi colturali di barbabietola da zucchero finalizzati alla produzione di bioetanolo attraverso un sistema esperto basato su logica *fuzzy*. È stato realizzato un *framework* empirico per la stima di valori giornalieri di biomassa aerea (AGB) e dell'indice di area fogliare verde (GAI) di sorgo da biomassa coltivato in condizioni di rifornimento idrico ottimale in ambiente mediterraneo. Tale *framework* consente anche la stima dell'efficienza d'uso della traspirazione (TUE, funzione di GAI e della traspirazione giornaliera, calcolata sulla base di canopy cover, ETO e kc) dell'efficienza d'uso della radiazione (RUE, funzione di AGB e della frazione di PAR giornalmente intercettata dalla *canopy*).

Linea 4 - L'attività svolta ha riguardato una valutazione preliminare delle aree geografiche, delle caratteristiche gestionali, delle filiere produttive e dei relativi sottoprodotti di sistemi colturali da sottoporre ad analisi LCA-Life Cycle Assessment (analisi del ciclo di vita) spazializzata.

1. Attività svolta

Linea 1

Dati colturali

È stata effettuata una campagna di rilievi in campo per sorgo da biomassa con semina tardiva, presso l'azienda sperimentale Venezian Scarascia del CREA-AA di Rutigliano. Per questa attività è stato considerato l'ibrido "KWS Bulldozer", caratterizzato da un ciclo vegetativo medio-tardivo e alto



rendimento in biomassa secca. Sono state effettuate due semine, rispettivamente il 2 agosto 2018 e il 25 luglio 2019 con una densità di 18 piante m⁻². Il sorgo è stato coltivato seguendo tecniche agrarie volte a ridurre l'apporto energetico: controllo delle infestanti nella fase iniziale del raccolto e fertilizzazione azotata pari a 100 kg N ha⁻¹ dopo 30 giorni dalla semina. Non è stato necessario applicare alcun trattamento fitosanitario. Sono stati adottati i seguenti trattamenti di irrigazione:

- *Full irrigation* (FI): restituzione totale dell'acqua persa per evapotraspirazione, calcolata secondo la metodologia FAO-56 (Allen et al., 1998).
- *Deficit irrigation* (DI): restituzione del 50% dell'acqua persa per evapotraspirazione;
- *Regulated Deficit irrigation* (RDI): restituzione totale dell'acqua persa per evapotraspirazione fino all'inizio di settembre e successivamente sospensione dell'irrigazione.

I trattamenti irrigui sono stati organizzati in un disegno sperimentale completamente randomizzato, in cui i blocchi di 400 m² sono stati replicati 3 volte. Il contenuto di acqua nel suolo nell'intero profilo del suolo (60 cm) è stato monitorato da sonde capacitive (10HS, *Decagon Devices Inc.*, USA).

I volumi irrigui somministrati sono riportati nella tabella 1.

Tabella 1 – volumi irrigui stagionali (mm) somministrati nei tre trattamenti: *Full irrigation* (FI), *Deficit irrigation* (DI), *Regulated Deficit irrigation* (RDI)

Anno	FI	DI	RDI
2018	192	119	117
2019	274	144	169

Periodicamente sono stati misurati l'indice di area fogliare (LAI) e la biomassa secca (AGB). Il ciclo colturale è durato circa 85 giorni.

Proprietà dei suoli

È stata curata la realizzazione di una banca dati pedologica ed i relativi legami tra strati informativi geografici, tipologie e siti. In seguito a questa fase, ed in sinergia con il progetto Agri-Info, è stata condotta l'attività di pubblicazione (su *cloud Azure*) e accesso alla base di dati profili di suolo derivati (*SuoliCella500*). Trattasi di banca dati spaziale basata su geometrie puntuali distribuite su una griglia di 500m che copre l'intero territorio italiano. Al momento può essere considerata la base dati geografica pedologica di maggior dettaglio a scala nazionale. Accoglie dati aggregati (Media e Deviazione standard) dal Database nazionale dei suoli italiani relativamente a 4472 profili modali. Sono attualmente accessibili i seguenti Parametri: Argilla; pH; Limo; Sabbia; Scheletro; Carbonio Organico; Tessitura (Classe USDA); Classe granulometrica (USDA), *Soil Region*; *WRB* (2006) *Reference Soil Group* (RSG); *WRB* (2006) *Qualifier*.



Land suitability

Nel corso del quarto anno si è proceduto ad effettuare ulteriori verifiche GIS su quanto elaborato nell'annualità precedente, al fine di completare le analisi di *land suitability* rispetto alle cinque colture lignocellulosiche bionergetiche considerate: pioppo (*P x canadensis*), salice (*S. alba*), robinia (*R. pseudocacacia*), canna domestica (*Arundo donax*) e vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). Queste colture possono produrre grandi quantitativi di biomassa, crescere in condizioni di marginalità in un'ampia varietà di condizioni climatiche, senza per questo competere con terre agricole dedicate alla produzione alimentare. Alcune di queste colture, ad es., la canna domestica, richiedono poche integrazioni di nutrienti, fertilizzanti ed acqua una volta costituito l'apparato radicale e quindi sono caratterizzate da una bassa domanda in termini di gestione agroecologica. L'analisi di *land suitability* è stata derivata in ambiente GIS attraverso la relazione multivariata tra alcune variabili ambientali selezionate e le esigenze ecologiche delle cinque colture esaminate.

Linea 2

Soluzioni di modellazione

In questo ambito le attività hanno riguardato il perfezionamento e il consolidamento della soluzione di modellazione (SM) SunnGro, che consente di simulare le produzioni di crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) in risposta a diverse strategie di gestione colturale (date e densità di semina, epoche di raccolta). In particolare, sono stati prodotti un *help file* con la documentazione degli algoritmi implementati, un'applicazione di esempio che illustra come utilizzare la SM ed una guida utente che spiega la procedura per avviare il *software*, eseguire il modello e creare/modificare i file di input e parametri per costruire esperimenti di simulazione personalizzati.

È stata effettuata la migrazione della SM Arungro per la simulazione della canna comune (*Arundo Donax* L.) nella piattaforma *cloud* Microsoft Azure, utilizzando la suite *DevOps*, che consiste di *repository* GIT, con *build pipelines* automatiche che ad ogni *commit* di una nuova versione del codice avviano una suite di test. La SM è stata pubblicata come API (*Application Program Interface*) RESTful, facendo ricorso alla tecnologia *Azure Functions*, al fine di consentire un utilizzo del modello in ottica "Software as a Service" (SaaS).

Infrastruttura cloud

È stata consolidata l'infrastruttura *cloud*, sviluppata all'interno della piattaforma *Azure*. In tale ambito, i dati spazializzati e georiferiti a scala nazionale necessari ad alimentare i modelli di simulazione (i.e. clima attuale e futuro, caratteristiche chimico-fisiche dei suoli, marginalità dei terreni e *suitability*) sono stati trasferiti su base dati *Azure SQL* spazializzata, ed associati ad *API Web* che permettono di estrarre i dati senza necessità di conoscere la struttura logica sottostante. La

stessa logica è stata seguita per gli output delle simulazioni territoriali che, una volta persistiti, possono essere pubblicati tramite *API RESTful*, con vari livelli di visibilità configurabili (tutti, i soli ricercatori CREA, terze parti per progetti in partnership). Sfruttando le caratteristiche *built-in* del *cloud Azure* è stato implementato un meccanismo di accodamento di porzioni delle simulazioni in *service queues*, da utilizzare per l'effettuazione delle simulazioni spazialmente distribuite. Tale operazione garantisce infatti livelli di parallelismo e velocità di esecuzione delle procedure decisamente maggiori rispetto all'esecuzione sulle *workstation* del personale, specialmente in caso di elaborazioni massive di dati. Sono state codificate procedure automatiche di analisi dati in input per il completamento, ad esempio, dei record mancanti relativamente alle caratteristiche chimico-fisiche del suolo.

Linea 3

Arundo

Calibrazione - L'attività svolta ha riguardato la calibrazione estensiva della soluzione di modellazione basata su Arungro utilizzando set di dati sperimentali raccolti nel periodo 1997-2013 in 6 località italiane (Figura 1), considerando livelli produttivi potenziale e limitato da stress idrico. 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 verde (GLAI, $m^2 m^{-2}$). La calibrazione è stata effettuata automaticamente utilizzando il metodo *multi-start downhill simplex*, utilizzando *root mean square error* (RMSE) come funzione obiettivo. L'accuratezza delle simulazioni è stata quantificata utilizzando indici statistici quali: *modelling efficiency* (EF), *coefficient of residual mass* (CRM) e *relative root mean square error* (RRMSE).

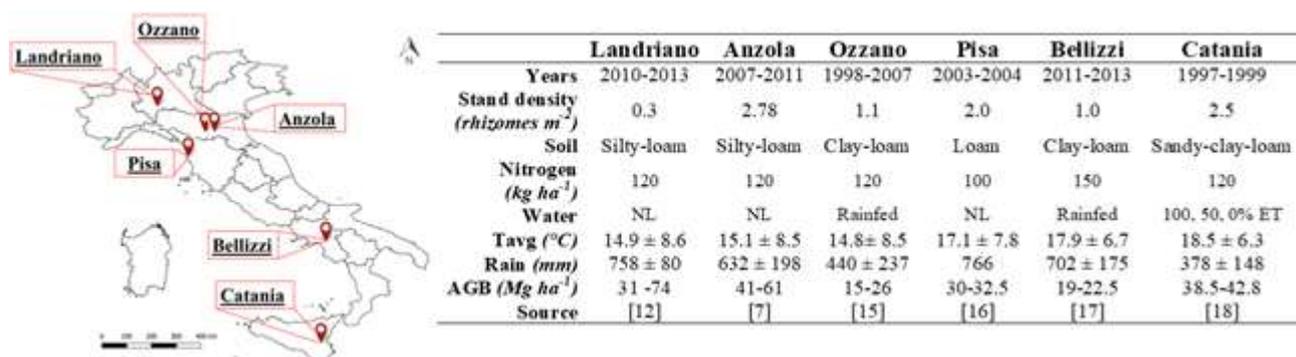


Figura 1 - Distribuzione geografica e caratterizzazione dei dataset sperimentali utilizzati nella calibrazione

Simulazioni territoriali - Successivamente è stata effettuata una stima della resa (e della relativa variabilità), del consumo idrico e di quanta energia, sotto forma di biometano, bioetanolo e combustibile solido, può essere ottenuta dalla coltivazione di arundo nelle aree marginali (AM) del territorio italiano, tramite l'applicazione spazialmente esplicita del modello colturale Arungro



precedentemente calibrato. Il modello è stato collegato alla base di dati georeferenziati sviluppata dalla linea 1, con dati su i) clima attuale/futuro, ii) gestione colturale, iii) fisica/idrologia del suolo, iv) aree marginali e v) crop suitability in un'ottica di *Software as a Service*. Le simulazioni sono state eseguite a una risoluzione spaziale di 500 × 500 m in condizioni non limitate da disponibilità di nutrienti. Per determinare le aree da simulare è stata effettuata dapprima l'attribuzione delle celle meteo (risoluzione spaziale a 25 km) a ciascuna cella suolo (risoluzione spaziale a 500 m), utilizzando il metodo *nearest neighbor distance* tra centroidi. Successivamente è stato effettuato un incrocio tra la cella suolo e gli strati informativi relativi a marginalità e *suitability* (entrambi a risoluzione spaziale a 250m), selezionando per la simulazione esclusivamente le celle ad elevata/media marginalità ed elevata *suitability* per la canna comune, corrispondenti ad un totale di 81,078 celle.

Barbabietola

Sono state valutate le performance produttive ed energetiche di sistemi colturali basati su barbabietola per la produzione di bioetanolo, utilizzando un sistema esperto incentrato su logica fuzzy. Il primo passo ha richiesto un'analisi di inventario dei flussi di materia ed energia applicati a diversi management di gestione del suolo e della coltura. Nello specifico, i dati sperimentali sono stati derivati da una prova triennale (2009-2012), nella quale la coltura è stata sottoposta a tre regimi nutritivi, con la somministrazione di 0, 75 e 150 kg ha⁻¹ di azoto, suddiviso in presemina e copertura a metà maggio. Tali regimi nutritivi sono stati combinati con due lavorazioni diversificate del suolo, ovvero lavorazione convenzionale e semina diretta. Inoltre, l'irrigazione è stata gestita al fine di garantire un rifornimento idrico ideale, con volumi diversificati nelle tre annate agrarie. Successivamente, sono stati determinati 4 parametri energetici ed in particolare: i) *Energy Yield (EY)*, differenza tra l'energia potenziale dell'etanolo prodotto dalla conversione dello zucchero contenuto nelle radici e l'energia spesa per la trasformazione dello zucchero in bioetanolo; ii) *Net Energy Gain*, differenza tra EY e la somma dell'energia spesa per la produzione delle materie prime, dei trattori (compreso la loro manutenzione), consumo di carburante per le operazioni in campo, elettricità per irrigazione e trasporto di materie prime dal luogo di produzione al campo (EFI); iii) *Energy Use Efficiency (EUE)*, rapporto tra l'energia potenziale da bioetanolo ed EFI più l'energia per il trasporto della biomassa al centro di trasformazione, ed infine; iv) *Energy Return On Energy Invested*, rapporto tra NEG ed EFI.

Sorgo da biomassa

Sono stati utilizzati dati di biomassa e di area fogliare (raccolti con cadenza bisettimanale) di sorgo da biomassa coltivato in condizioni di rifornimento idrico ottimale nella stagione 2014 per calibrare un *framework* empirico, basato su un modello sigmoidale per la stima giornaliera della biomassa aerea ed una funzione di tipo beta per la stima dell'area fogliare. I risultati ottenuti sono stati successivamente utilizzati per la stima dell'efficienza d'uso della traspirazione (TUE, funzione della

traspirazione giornaliera, calcolata sulla base di *canopy cover*, ETO e *kc*) ed efficienza d'uso della radiazione (RUE, funzione della frazione di PAR giornalmente intercettata dalla *canopy*) del sorgo da biomassa in ambiente mediterraneo.

Linea 4

È stata effettuata una valutazione preliminare volta ad individuare le aree geografiche, le caratteristiche gestionali, le filiere produttive ed i relativi sottoprodotti dei sistemi colturali da sottoporre ad analisi *LCA-Life Cycle Assessment* (analisi del ciclo di vita) spazializzata.

2. Risultati e deliverable

Linea 1

Dati colturali

Scopo della prova è stato quello di esplorare la possibilità di utilizzare il sorgo da biomassa come coltura intercalare (ciclo vegetativo agosto-ottobre) in modo da sfruttare maggiormente le precipitazioni di fine estate e le temperature ancora idonee per lo svolgimento del ciclo colturale. Questi dati saranno utilizzati al fine di eseguire un aggiornamento delle soluzioni di modellazione sul sorgo avviate negli anni precedenti considerando il sorgo come coltura intercalare in ambienti semi-aridi. In entrambi gli anni (2018 e 2019), la programmazione irrigua nel trattamento FI ha impedito che i valori del contenuto idrico del suolo (SWC) scendessero oltre la soglia di acqua prontamente disponibile (RAW), mentre per il trattamento DI, la riduzione del SWC al di sotto della RAW si è verificata maggiormente durante l'annata 2019 per una maggiore carenza di precipitazioni. Infatti, le precipitazioni registrate durante il ciclo colturale nel 2018 e 2019 sono state rispettivamente di 67 e 12 mm. L'interruzione dell'irrigazione nel trattamento RDI, ha ridotto il SWC oltre la soglia RAW (Figura 2).

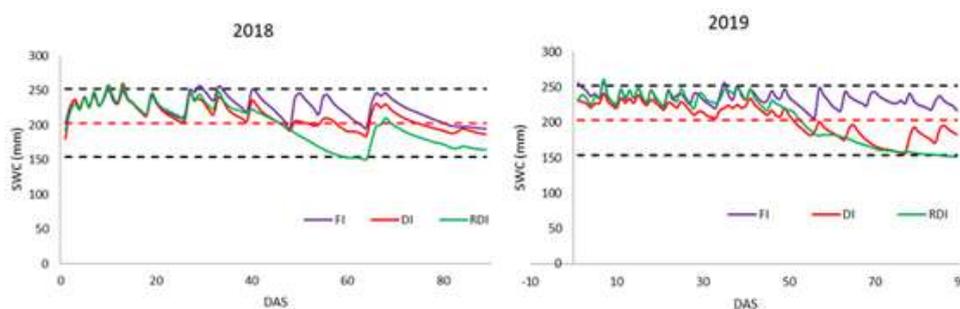


Figura 2 – Contenuto idrico del suolo (SWC) nei tre trattamenti: Full irrigation (FI), Deficit irrigation (DI), Regulated Deficit irrigation (RDI). La linea rossa tratteggiata rappresenta la soglia del contenuto idrico facilmente disponibile (RAW).



I trattamenti irrigui hanno determinato variazioni dello sviluppo della coltura in termini di LAI e biomassa secca (AGB). L'accrescimento del sorgo è stato più elevato con il trattamento FI determinando una produzione in biomassa secca di 16.8 e 18.2 t ha⁻¹ rispettivamente per il 2018 e 2019. Con il trattamento irriguo DI le produzioni si sono ridotte del 6 e 10% rispettivamente per il 2018 e 2019 e per il trattamento RDI del 22 e 15% rispettivamente per il 2018 e 2019. Gli andamenti del LAI rispecchiano quelli del AGB. Per quanto la produzione risulti inferiore a quella potenzialmente raggiungibile in condizioni di semina standard, la prova ha dimostrato che è possibile seminare tardivamente il sorgo riducendo i consumi idrici.

Proprietà dei suoli

La banca dati realizzata è interrogabile sul *cloud Azure*, anche nell'ambito di altri progetti CREA, alcuni dei quali hanno collaborato ad ulteriori sviluppi (AgriINFO, AgriModelli, ENVRI-FAIR, SUVISA, Prosit). Si compone di 8 tabelle:

- `soils_coordinate`: tabella di metadati che descrive il tipo di coordinate geografiche adottate (ED50 UTM32);
- `FAOHorizonNotation (soils_ORIZ_FUNZ_DECO)`: descrive le notazioni utilizzate per designare gli orizzonti che caratterizzano i profili modali;
- `DerivedProfilePresenceInSoilBody (soils_POINTS_GRID)`: griglia di punti a maglia di 500 m contenente i legami ai profili modali;
- `DerivedSoilProfile.SoilHorizon (soils_POINTS_GRID_DATI_ORIZZONTI)`: griglia di punti a maglia di 500 m contenente i legami ai profili modali dei quali si descrivono i caratteri degli orizzonti. Ovvero: Argilla; pH; Limo; Sabbia; Scheletro; Carbonio Organico; Tessitura (Classe USDA);
- `DerivedSoilProfile.SoilSite (soils_POINTS_GRID_DATI_STAZIONE)`: griglia di punti a maglia di 500 m contenente i legami ai profili modali dei quali si descrivono i caratteri della tipologia. Ovvero: Classe granulometrica (USDA), Soil Region; WRB (2006) Reference Soil Group (RSG); WRB (2006) Qualifier;
- `DerivedSoilProfile.SoilHorizon (soils_STS_STATISTICHE_ORIZZONTI)`: profili modali dei quali si descrivono i caratteri degli orizzonti. Ovvero: Argilla; pH; Limo; Sabbia; Scheletro; Carbonio Organico; Tessitura (Classe USDA);
- `DerivedSoilProfile.SoilSite (soils_STS_STATISTICHE_STAZIONE)`: caratteri della tipologia. Ovvero: Classe granulometrica (USDA), Soil Region; WRB (2006) Reference Soil Group (RSG); WRB (2006) Qualifier;
- `observedProperty (soils_varInfo)`: tabella di metadati che descrive le variabili osservate, unità di misura ed i metodi analitici.



Di queste tabelle, sono state rese accessibili tramite *API Restfull* solo quelle relative alla griglia geografica (la tabella dei Metadati e quella contenente i dati degli orizzonti (soils_POINTS_GRID_DATI_ORIZZONTI)). Le *API* implementate sono: Punti dato contenuti in un rettangolo latitudine/longitudine; Dati selezionando colonne; Dati forzando il formato *JSON*; GetDataForGeom; GetNearestData; GetStazStats; GetOrizzStats. In collaborazione con il progetto ENVRI-FAIR ne è stato testato un ulteriore sviluppo tramite pipelines, in accordo con l'ontologia OBOE. L'utilizzo di *pipeline SQL* migliora notevolmente le prestazioni evitando scritture e letture non necessarie di set di dati intermedi.

Land suitability

Sono state perfezionate le mappe di *land suitability* per le colture esaminate, della distribuzione spaziale delle terre marginali disponibili e dei suoli disponibili potenzialmente per ogni specie, calcolando l'area potenziale (ettari) disponibile. I risultati suggeriscono che tali piantagioni di biomassa possono produrre 3,1-27,4 miliardi di litri di etanolo da fonti di cellulosa all'anno da 462.265-2.811.064 ettari di terre marginali disponibili, corrispondenti al 7,8-69,1% del consumo di carburante liquido per il trasporto in Italia.

Linea 2

Soluzioni di modellazione e Infrastruttura cloud

A titolo esemplificativo delle attività svolte e tese a rendere fruibili le risorse dati e delle procedure, viene di seguito mostrata la documentazione del codice della chiamata all'*API RESTful* del modello Arungro. Per accedere al servizio di simulazione online, l'utente sviluppatore deve prima effettuare una sottoscrizione al prodotto denominato "*Models for bioenergy*" sul portale API CREA (<https://developer.progettoagridigit.it/>). La registrazione consente agli utenti di impostare il proprio profilo, di ottenere le corrispondenti credenziali di accesso e chiavi personali da inserire nell'inoltro delle richieste al servizio. Una volta ottenute le credenziali, il servizio può essere invocato tramite una richiesta POST all'URL: <https://apim-https://developer.progettoagridigit.it/model/v1/ModelExecution>, che può essere effettuata mediante strumenti *software* dedicati (ad es. applicazione Postman, scaricabile gratuitamente su <https://www.postman.com/downloads/>). Una tipica richiesta al modello Arungro fatta tramite Postman è mostrata in Figura 3.

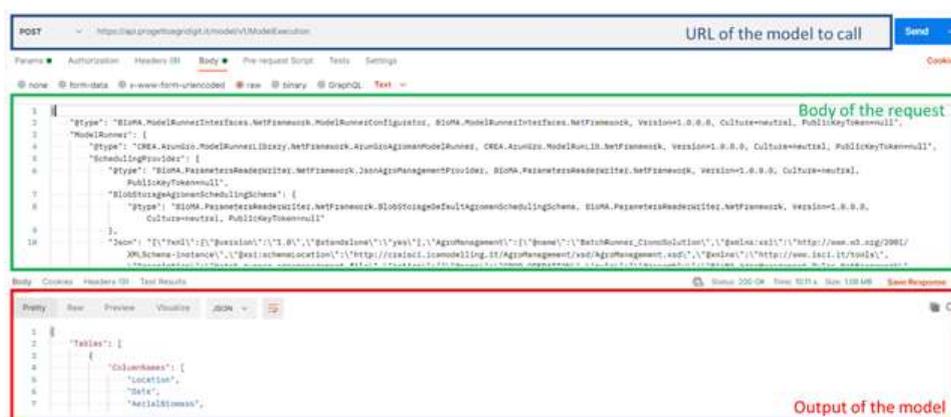


Figura 3. Richiesta POST al servizio online per la simulazione del modello Arungro.

Ogni richiesta è composta da due sezioni:

(i) l'indirizzo *URL* dell'*API* da chiamare;

(ii) il corpo della richiesta, che deve contenere le informazioni necessarie per configurare la simulazione e fornire i dati meteorologici e pedologici, unitamente allo *scheduling* delle pratiche di gestione. Il corpo della richiesta deve essere fornito in formato *JSON*.

La chiamata restituisce i risultati in un formato di testo.

Linea 3

Arundo

Calibrazione - Arungro ha consentito di simulare accuratamente l'evoluzione di entrambe le variabili di crescita lungo la stagione vegetativa in tutti gli esperimenti, con RMSE medio di 1,73 m² m⁻² per GLAI (RRMSE = 32,52%) e di 6,47 Mg ha⁻¹ per AGB (RRMSE = 27,96%) (Figura 4).

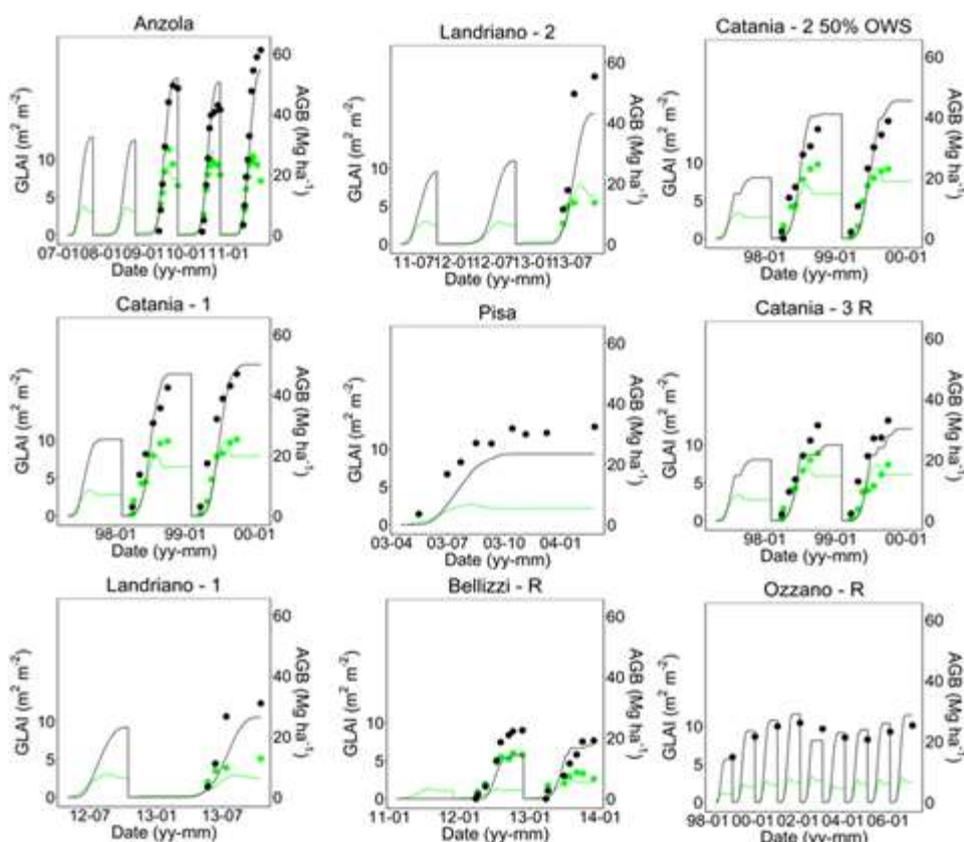


Figura 4 - Prestazioni del modello Arungro nel riprodurre le dinamiche del LAI verde (GLAI, linea verde) e della biomassa aerea (AGB, linea nera) durante la stagione vegetativa della canna gigante. Le misurazioni di GLAI (punti verdi) e AGB (punti neri) sono state raccolte nei siti sperimentali mostrati in Figura 1 da parcelle con diverse combinazioni di densità di impianto e epoche di raccolta. 50 % OWS = trattamento irriguo con restituzione pari al 50% dell'ET; R = rainfed.

Il modello è stato in grado di spiegare il 78% e l'85% della variabilità inter-annuale di GLAI (EF = 0,70) e AGB (EF = 0,81). Gli errori più evidenti sono stati riscontrati negli esperimenti relativi al 1° anno a Pisa ed al 2° anno a Bellizzi e Landriano, dove il GLAI massimo e l'AGB finale sono stati sottostimati rispettivamente di circa $3,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $7,2 \text{ Mg ha}^{-1}$. I valori di CRM hanno indicato una sottostima sistematica del GLAI (CRM = 0,13) nelle fasi intermedie e tardive del ciclo colturale, che ha portato ad una conseguente sottostima dell'AGB nel medesimo periodo (CRM = 0,11). A Catania, Arungro ha riprodotto accuratamente la progressiva diminuzione di GLAI e AGB in funzione della ridotta disponibilità di acqua, cioè passando dal trattamento con restituzione pari a 100% dell'ET allo 0%. Il modello ha simulato correttamente i valori di AGB misurati nei siti sperimentali dell'Emilia Romagna, con un andamento crescente da condizioni *rainfed* (Ozzano) a condizioni di piena disponibilità idrica (Anzola).

Simulazioni territoriali - A titolo esemplificativo, vengono di seguito mostrati i risultati delle simulazioni spazialmente distribuite eseguite per lo scenario corrente e 2030, nelle province di

Bologna (BO) e Catania (CT), che sono caratterizzate da condizioni pedoclimatiche contrastanti e sono ben rappresentate in termini di dataset di calibrazione (Figura 5).

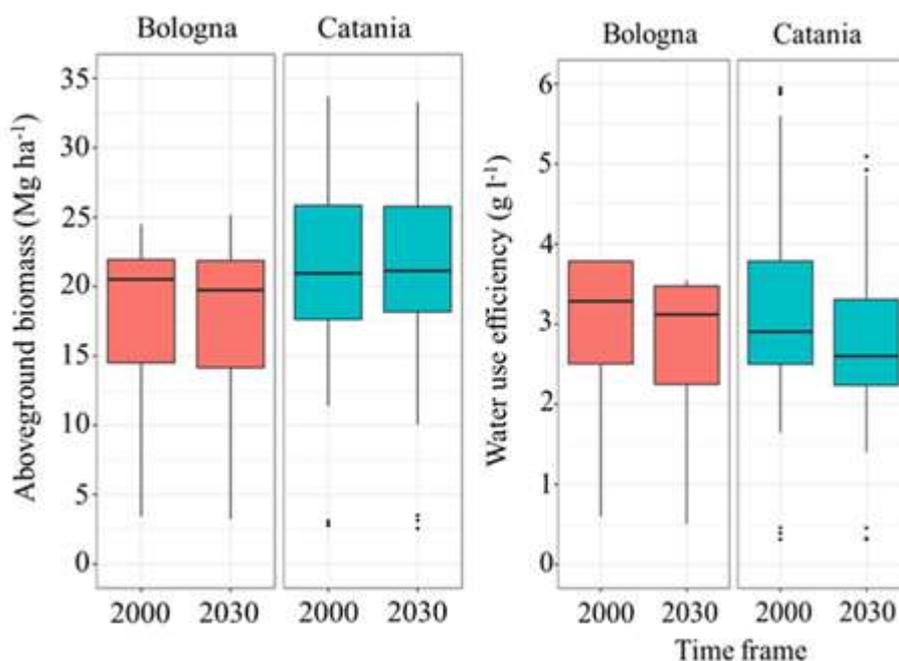


Figura 5 - Boxplots dei valori di biomassa aerea ed efficienza di uso dell'acqua simulati per scenario attuale (2000) e 2030 nelle aree marginali delle province di Bologna e Catania. Ciascun riquadro deriva dai valori simulati per la combinazione anno (30) × unità di simulazione (1226 a Bologna; 4765 a Catania).

L'AGB media simulata nel 2030 e la relativa variabilità sono rimaste pressoché invariate rispetto allo scenario di riferimento in entrambe le province, con valori oscillanti rispettivamente intorno a 20 e 22 Mg ha⁻¹. L'anticipazione della fase di copertura della *canopy* e la riduzione delle limitazioni termiche alla fotosintesi simulate in scenari più caldi sono state contrastate da tassi di traspirazione più elevati, in grado di determinare riduzioni medie pari a -10% della WUE, indipendentemente dalla provincia considerata. I valori medi di biometano (Nm³ ha⁻¹) e bioetanolo (L ha⁻¹) ottenibili nello scenario corrente e nel 2030 per le province BO e CT utilizzando i valori di biomassa simulati mediante Arungro sono riportati nella Tabella 2, insieme alla deviazione standard.

Tabella 2 - Valori medi e deviazione standard di rese in biometano (Nm³ ha⁻¹) e bioetanolo (L ha⁻¹) simulate per la baseline (2000) e 2030 nelle aree marginali delle province di Bologna e Catania.

Provinc e	Biometano (Nm ³ ha ⁻¹)		Bioetanolo (L ha ⁻¹)	
	2000	2030	2000	2030
BO	5140±955	5098±989	4060±755	4027±781

CT 5861±1223 5923±1145 4630±966 4679±904

a CT sono risultate sempre più elevate e più variabili rispetto a quelle ottenute a BO, indipendentemente dal lasso di tempo considerato. Per lo scenario di base, il valore medio di biometano simulato è stato di circa $5860 \text{ Nm}^3 \text{ ha}^{-1}$ a CT e $5140 \text{ Nm}^3 \text{ ha}^{-1}$ a BO, mentre le rese di bioetanolo hanno assunto valori pari a 4630 L ha^{-1} a CT e 4060 L ha^{-1} a BO. I valori medi simulati nel 2030 e la relativa variabilità sono rimasti pressoché invariati rispetto allo scenario di riferimento, anche se con marcate differenze a livello territoriale. Questa considerazione appare evidente se si analizza ad esempio la distribuzione spaziale dei rendimenti energetici ottenibili da bioetanolo, biometano e combustione di biomassa nella provincia CT e la loro variazione nell'immediato futuro (Figura 6).

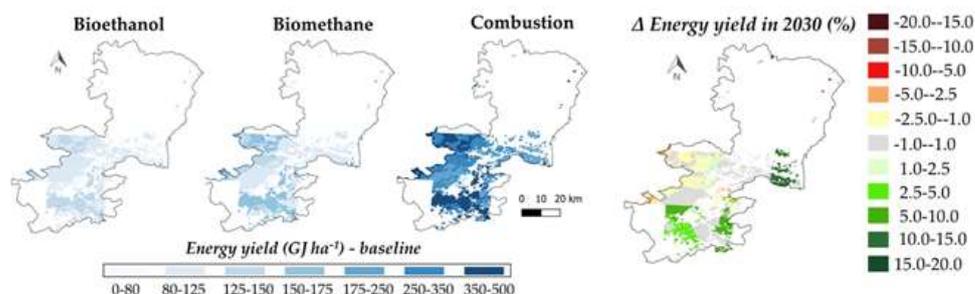


Figura 6 - Simulazioni spazialmente distribuite della resa energetica (GJ ha^{-1}) ottenibile da diverse fonti energetiche nella provincia di Catania nello scenario corrente e variazione percentuale attesa nel 2030. I risultati sono presentati come media dei valori simulati nell'intero periodo di 30 anni centrato sul 2000.

Le tre fonti energetiche hanno mostrato lo stesso andamento geografico della resa in tutta l'area di studio, con i guadagni più alti raggiunti nella parte centro-occidentale e meridionale della provincia e i più bassi ottenuti nelle aree della pianura centrale e centro-orientale, con alcune eccezioni. Nelle aree marginali più adatte i valori energetici hanno raggiunto picchi compresi tra $80\text{-}125 \text{ GJ ha}^{-1}$ per il bioetanolo, $80\text{-}175 \text{ GJ ha}^{-1}$ per il biometano e $250\text{-}500 \text{ GJ ha}^{-1}$ per la combustione. Considerando le proiezioni future, circa 1.200 unità di simulazione (US) hanno mostrato variazioni positive nell'intervallo $+1/+15\%$, mentre circa 1.500 US hanno presentato variazioni relative inferiori a $\pm 1\%$. La maggior parte delle US rimanenti ha evidenziato diminuzioni in termini di produzione di energia comprese tra -1 e -5% , suggerendo che, in queste aree marginali, le temperature sono già prossime all'ottimale per la specie nello scenario attuale.

Barbabietola

I dati produttivi (radici fresche e grado zuccherino) provenienti dagli scenari considerati, sono stati ordinati in base alla funzione di densità di probabilità ed il 20° e l'80° percentile sono stati selezionati come valori soglia di S ed F, rispettivamente. Conseguentemente, applicando la logica fuzzy ed attribuendo pesi specifici a ciascun indice, è stata determinata una metrica aggregata per valutare i



diversi scenari gestionali, in modo da individuare il miglior compromesso tra consumo di input agrotecnici e performance/efficienza energetica.

Il *framework* ottenuto è stato sottoposto ad un'analisi di sensibilità, valutando la risposta della logica *fuzzy* alla variazione dei pesi ed aggregando i singoli indici sulla base delle loro specificità (energetica, EY e NEG; efficientamento, EUE e EROI).

Sorgo

La validazione dell'approccio sviluppato è stata effettuata sulla base di dati sperimentali ottenuti nell'annata agraria 2013. Nello specifico, i valori di RUE e TUE ottenuti nella fase di calibrazione, sono stati moltiplicati rispettivamente per la PAR intercettata e l'acqua traspirata dalla coltura, tenendo conto delle limitazioni legate alle temperature registrate nel 2013. I dati di AGB così stimati (i.e. RUE e TUE-based) sono stati confrontati con i dati osservati, anch'essi previamente corretti per l'impatto delle temperature sulla crescita. Infine, attraverso una regressione lineare multipla, si è evidenziato come, nonostante l'irrigazione sia stata gestita (tramite approccio del Kc) per cercare di soddisfare pienamente la domanda della coltura, il sorgo non abbia espresso il suo massimo potenziale. In questo contesto, la disponibilità idrica è risulta essere il fattore limitante.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Linea 1

Dati colturali

La raccolta dati da colture SRC si è rivelata difficoltosa per complicazioni legate all'esecuzione dei tagli periodici e dei rilievi mediante dispositivi sperimentali a Rutigliano.

Land suitability.

A seguito delle dimissioni dal Centro di ricerca CREA Foreste e legno del Prof. Piermaria Corona, le attività previste nel progetto Agroener nell'ambito del task 2.6 in carico al Centro Foreste e Legno sono svolte a partire dal 01/09/2020 dal dott. Giuseppe Pignatti (prot. CREA n. 62929 del 31/08/2020).

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Non sono state intraprese attività integrative o aggiuntive.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

6/7/2020 - Presentazione orale alla ventottesima edizione del convegno internazionale EUBCE - European Biomass Conference and Exhibition. Titolo dell'intervento: "Assessment of giant reed



biomass potential (*Arundo donax* L.) in marginal areas of Italy via the application of Arungro simulation model”.

16-18 Settembre 2020 - Partecipazione alla quarantanovesima edizione del convegno della Società Italiana di Agronomia. Titoli dei poster presentati: 1) Modelling the suitability of energy crops through a fuzzy-based system approach: The case of sugar beet in the bioethanol supply chain; 2) Limiting the Irrigation Supply to Biomass Sorghum.

6. Elenco pubblicazioni

Fantappiè, M., Costantini E.A., L'Abate, G., 2020. Elaborating and mapping Italian Derived Soil Profiles on a 500 m grid with a digital soil mapping procedure. *Geoderma*. Under revision.

Garofalo, P., Mastrorilli, M., Ventrella, D., Vonella, A.V., Campi P., 2020. Modelling the suitability of energy crops through a fuzzy-based system approach: The case of sugar beet in the bioethanol supply chain. *Energy* 196: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117160>.

Garofalo P., Ventrella D., Mastrorilli M., Palumbo A.D., Campi P., 2020. An empirical framework for modelling transpiration use efficiency and radiation use efficiency of biomass sorghum in Mediterranean environment. *Italian Journal of Agrometeorology* 3, 49-62, DOI: 10.13128/ijam-4565.

Garofalo P., Campi P., Palumbo D.A., Ventrella D., 2020. An Empirical Approach for Assessing Climate Change on the Performance of Biomass Sorghum in Southern Italy. *Proceedings of the 49th Conference of the Italian Society of Agronomy (Dalla Marta A., Ventrella D., Eds.), Bari, Italy, 16th-18th September 2020*, pag. 51-52.

Modugno A.F., Mastrorilli M., Campi P., 2020. Limiting the Irrigation Supply to Biomass Sorghum. *Proceedings of the 49th Conference of the Italian Society of Agronomy (Dalla Marta A., Ventrella D., Eds.), Bari, Italy, 16th-18th September 2020*, pag. 97-98.

Cappelli, G.A., Ginaldi, F., Corinzia, S.A., Cosentino, S.L., Fanchini, D., Ceotto, E., 2020. Assessment of giant reed biomass potential (*Arundo donax* L.) in marginal areas of Italy via the application of Arungro simulation model. *Proceedings of the 28th EUBCE European Biomass Conference and Exhibition 2020, virtual meeting, 6-9 July 2020*, pp. 15–21.

Parenti, A., Cappelli, G., Zegada-Lizarazu, W., Martín Sastre, C., Christou, M., Monti, A., Ginaldi, F., 2020. SunnGro: A new crop model for the simulation of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) grown under alternative management practices. *Biomass and Bioenergy*, resubmitted after minor revision.



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Cappelli, G., Ginaldi, F., Fanchini, D., Corinzia, S.A., Cosentino, S.L., Ceotto, E., 2020. Model-based assessment of giant reed (*Arundo donax* L.) energy yield in the form of diverse biofuels in marginal areas of Italy. Land, submitted.

Sallustio, L., Harfouche, A., Marchetti, M., Salvati L., Corona P., 2020. Evaluating the potential of marginal lands available for sustainable cellulosic biofuel production in Italy. Land Use, submitted.



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 riguardo 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 digestione anaerobica 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.

Gli obiettivi dei diversi task sono:

- l'approfondimento della conoscenza dei possibili substrati per la digestione anaerobica e l'ottimizzazione o il miglioramento della produzione di biogas. A tal fine 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.
- La realizzazione su scala pre-industriale di un impianto pilota e sperimentale per la digestione anaerobica a due stadi per la produzione di biogas contenente rispettivamente idrogeno e metano (Task 3.3);
- Lo sviluppo di tecnologie semplificate per la produzione di inoculi per digestori anaerobici (task 3.2).
- La validazione a livello di impianto dei risultati ottenuti dalle indagini di laboratorio (3.1, 3.2, 3.3, 3.6). In tal senso viene utilizzato anche il prototipo realizzato nel task 3.3.
- La caratterizzazione di taluni digestati per le loro capacità ammendanti, concimanti, biocidi o biostimolanti delle piante e del microbiota mediante colture in vaso o microcosmo (3.5, 3.6);
- La valutazione degli effetti dell'applicazione in campo di digestati di diversa origine, anche da matrici tipiche dell'area mediterranea, su colture ad alto reddito mediante lo studio della risposta delle piante e delle popolazioni microbiche del terreno e la rilevazione di eventuali contrindicazioni (Task 3.4).



Nonostante il pesante impatto dell'epidemia di Covid-19, che ha fortemente limitato il lavoro in presenza e quasi azzerato gli spostamenti, la realizzazione del WP sta sostanzialmente rispettando la programmazione e in qualche caso è addirittura in anticipo sui tempi.

Il **Task 3.1** *“Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica”*, nonostante alcuni problemi dovuti alla rottura di strumenti analitici, ha quasi ultimato le cinque linee di ricerca più impegnative e deve attivare la sesta, che consiste nella verifica dei risultati ottenuti nell'impianto pilota realizzato dal task 3.3.

Il **Task 3.2** *“Produzione d'inoculi per digestori anaerobici”* ha sostanzialmente concluso i propri lavori giungendo ad una iper-semplificazione del processo di produzione dell'inoculo che di fatto rende superflua la realizzazione dell'impianto inizialmente concepito. L'inoculo ha superato brillantemente prove di ring-test internazionale di confronto con prodotti analoghi utilizzati da altri gruppi di ricerca europei.

Il **Task 3.3** *“Nuovo prototipo di digestore a due stadi”* ha effettivamente realizzato un prototipo funzionante in continuo nonostante le già ricordate limitazioni dovute alla pandemia e il fallimento di una delle ditte contrattualizzate. Rimangono da apportare alcune piccole ottimizzazioni dell'impianto e vanno effettuate le prove di fermentazione delle matrici messe a punto dal Task 3.1, soprattutto per quanto riguarda la scotta.

Il **Task 3.4** *“Impatto dei biodigestati sulle comunità microbiche dei suoli agrari”* ha proseguito le sperimentazioni perviste dalle linee 1 e 2, mentre la linea 3 era stata inglobata fin dal terzo anno di attività nella linea 2: *“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.”* La linea 1, e la linea 2 integrata come sopra descritto, hanno già prodotto utili indicazioni e la parte sperimentale è prossima alla conclusione.

Il **Task 3.5** *“Valutazione dell'efficacia agronomica dei digestati anaerobici e loro valorizzazione per l'uso agricolo”* era diviso in tre linee. L'attività sperimentale della prima linea era stata conclusa già al termine del 3° anni di attività, per la seconda linea si è conclusa durante quest'anno, mentre per concludere la terza linea dovranno essere condotte nell'ultimo anno le prove di stabilità termica dei digestati e la loro caratterizzazione mediante Risonanza Magnetica Nucleare ad alta risoluzione.

Il **Task 3.6** ha concluso l'attività per tutte le proprie cinque linee di ricerca.



Task 3.1 Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica

Task leader: Antonella Chiariotti (CREA-ZA)

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

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 4: Individuazione di marcatori molecolari funzionali di processo (idrogenasi, metil coenzima-M reduttasi)

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

1. Abstract

Sono state definite le condizioni ottimali per la produzione di idrogeno e di metano in mesofilia (39°C) con i substrati di nostro interesse (scotta e scarti di pomodoro). I risultati delle tre prove per valutare la codigestione di scarti di pomodoro (TP) e liquame bufalino (BS) hanno permesso di determinare che la produzione cumulata di metano aumenta con la riduzione rapporto BS/TP e la percentuale massima di metano nel biogas è stata del 76%. Il contenuto di SV della tesi 0.5 risulta eccessivo e provoca inibizione del processo. Si è avuta conferma dell'effetto di uno shock termico (a 50°C), che induce una lag phase più corta. In questo caso le tesi che hanno dato i risultati migliori sono quelle con rapporto BS/TP 1 e 0.5 con una percentuale massima di metano nel biogas del 78%. Le analisi quantitative delle popolazioni batteriche hanno messo in evidenza differenze statisticamente significative solo nel terzo esperimento ed in particolare per la tesi con rapporto BS/TP 3.6, dove la quantità di batteri rilevati è statisticamente più bassa e minore il metano prodotto. Per quanto riguarda gli Archea i valori più bassi si sono ottenuti nella seconda prova per la tesi 0.5 e sono in diretta relazione con la minore quantità di metano prodotto. Dalle prove di estrazione effettuate per l'individuazione di marcatori molecolari funzionali di processo è emerso che il protocollo TRI Reagent ha permesso di ottenere l'RNA in quantità e qualità tale da poter essere utilizzato per l'analisi dell'espressione genica. Si sono identificati i primer più appropriati per l'amplificazione dei geni target (*hydA* e *mcrA*) e dei reference genes.

2. Attività svolta

1.1 Considerazioni generali



Per ciò che riguarda la Linea 1: Identificazione delle condizioni ottimali di processo per la produzione di idrogeno e metano con substrati diversi singoli o in codigestione, sono state definiti due protocolli per la produzione di idrogeno e di metano in mesofilia (39°C) con i substrati di nostro interesse che vengono riportate in dettaglio nel deliverable D.3.1.1: Individuazione delle condizioni di coltura ottimali nelle fasi idrogeno e metano

Su queste due combinazioni ottimizzate sono in corso gli studi di trascrittomico previsti dalla linea 4 i cui primi risultati sono riportati in questa relazione.

Sono state svolte le analisi chimico-fisiche dei substrati ed inoculi utilizzati nelle prove del quarto e quinto anno di attività i cui risultati sono riportati in tabella 1.

Tabella 1. Caratterizzazione chimico-fisica dei substrati utilizzati (mean±SD) of Buffalo sludge (BS) and tomato pomace (TP)

	BS	TP
ST*	39,76 g/L	15,16 (% w/w)
SV+	29,16 g/L	94,68 (%TS)
pH	6,85	4.5
N-NH3 (mg/L)	705,20 ± 0,003	
P-PO4 (mg/L)	105,06 ± 5,6	
Fibre (% DM [^]):		
NDF con ceneri	40,92 ± 0,6	46,32 ± 0,11
NDF# pura	35,67 ± 0,5	44,96 ± 0,4
ADF#	29,67 ± 0,2	36,99 ± 0,4
Eemicellulosa	5,94 ± 0,2	7,78 ± 0,4
ADL#	14,35 ± 0,4	11,50 ± 0,3
Cellulosa	8,72 ± 0,5	25,26 ± 0,5

*ST=Solidi totali; SV= solidi volatili ^DM =sostanza secca;

#NDF = fibra neutro detersa ADF= fibra acido detersa;

ADL = Lignina



Sono state svolte varie prove di fermentazione con diversi substrati (liquame, scotta e scarti di pomodoro) per la produzione di metano e/o idrogeno, nel sistema Automatic Methane Potential System (AMPTS II – Biocontrol – Sweden), con volume di reazione di 400 ml.

La produzione cumulata e giornaliera viene rilevata dall'apparecchio e la composizione chimica del biogas viene determinata in GC a diversi punti sperimentali. Vengono effettuate inoltre, analisi del: pH, ST e SV, N-NH₃, Acidi grassi volatili (AGV). Viene inoltre prelevato un campione substrato per l'analisi del DNA a vari punti sperimentali, per la verifica quantitativa delle popolazioni microbiche quando i risultati sono interessanti.

2.2 Attività

2.2.1 Idrogeno

La prova è stata predisposta per verificare l'effetto del pretrattamento della scotta, in particolare l'innalzamento del pH a 10 per aumentare la percentuale (V/V) di idrogeno ottenuti nelle prime 24-72h del processo. I substrati impiegati sono stati BS e scotta.

2.2.2 Metano

Le prove per valutare la codigestione di scarti di pomodoro (TP, che comprendono la buccia, i semi e parte della polpa residui dopo la lavorazione industriale) e BS sono state svolte 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 colorazione/composizione della buccia) della Task 5.3 (Verifica della fattibilità del recupero di biomasse erbacee per impianti dimostrativi a biogas) del WP5 (Realizzazione impianti sperimentali, dimostrazioni e divulgazione).

A partire dai risultati preliminari riportati nella relazione precedente, il primo test voleva verificare quale fosse il contenuto di bucce da portare in codigestione senza inibire il processo di metanogenesi. Sono stati saggati diversi rapporti BS/TP (6, 3, 2, calcolato sul contenuto di VS dei due substrati). Nel secondo test si è ampliata la ricerca ai rapporti BS/TP 3.6, 2, 1, 0.5 aumentando proporzionalmente la concentrazione di buccette. Nel terzo esperimento sono stati replicati i rapporti di BS/TP 3.6, 2, 1, 0.5 con un hot start a 50°C per 3 giorni poichè nella prova precedente un innalzamento della temperatura aveva portato effetti positivi che si volevano verificare.

2.2.3 Analisi della struttura delle popolazioni microbiche

Il DNA è stato estratto da campioni di substrato presi a diversi tempi durante la fermentazione delle prove 2 e 3, con kit Promega e l'estrattore automatico Maxwell TM 16 (Promega, USA). Sono state quantificate tramite QPCR le popolazioni di batteri totali, clostridi e Archea.

2.2.4 Individuazione di marcatori molecolari funzionali di processo

Per l'analisi dell'espressione genica è necessario avere a disposizione l'RNA estratto dalla matrice che si vuole studiare e, per ottenerlo, è possibile utilizzare diversi protocolli sperimentali. L'RNA è



una molecola sensibile a fenomeni degradativi ad opera di enzimi RNAsi e quindi le operazioni analitiche devono seguire procedure stringenti per preservarne l'integrità.

La matrice di partenza è stato il rumine bufalino. Il materiale è stato pretrattato mediante filtrazione ed omogeneizzazione (Stomacher-PBI-USA).

Sono state utilizzate due metodiche preparative, una basata sul protocollo con TRI Reagent (Sigma-Aldrich) e l'altra mediante il kit RNA LEV BLOOD (Promega) e l'estrattore automatico Maxwell TM 16 (Promega).

Procedura TRI Reagent: Al campione (1 ml di rumine filtrato, due sue diluizioni 1:2 e 1:10; 1,5 ml di liquame/bucchette di pomodoro) è stato aggiunto un uguale volume di reagente e la miscela è stata congelata a -80°C. Successivamente i campioni sono stati scongelati e l'estrazione è stata effettuata seguendo il protocollo della ditta produttrice, con passaggi in cloroformio, isopropanolo ed etanolo. Al termine delle operazioni l'RNA ottenuto è stato risospeso in acqua "DNasi/RNasi free" e congelato a -80°C.

Procedura Maxwell: 1 ml di rumine filtrato ed una sua diluizione 1:10 sono state centrifugate a 2000 g per 10', è stato eliminato il surnatante ed il pellet è stato risospeso in 200 µl di soluzione di omogeneizzazione ricostituita. I campioni sono stati congelati a -80°C. Successivamente i campioni sono stati scongelati, è stato aggiunto un tampone di lisi, la Proteinasi k e la miscela così ottenuta è stata introdotta nella cartuccia specifica del kit per l'estrazione automatica. L'RNA ottenuto è stato risospeso in acqua "DNasi/RNasi free" e congelato a -80°C.

Controlli quali/quantitativi: L'RNA estratto con le due metodiche è stato sottoposto a lettura con spettrofotometro per microvolumi (Nano-Photometer™ Pearl, Implen) per accertarne la concentrazione e la qualità come rapporto tra le letture a 260 e 280 nm. Inoltre, i campioni sono stati sottoposti ad elettroforesi in gel di agarosio 1% per verificare la presenza delle bande attese corrispondenti ai due rRNA 23S e 16S. Prima del caricamento l'RNA è stato aggiunto di una soluzione denaturante ed incubato a 65° per 10'.

Per quanto riguarda l'analisi dell'espressione genica il primo step ha riguardato la scelta dei primers per l'amplificazione dei geni target (hydA e mcrA) e dei reference genes.

3. Risultati e deliverables

3.1 Prove con scotta

Il pretrattamento della scotta non ha dato i risultati attesi. Le percentuali di idrogeno nel biogas prodotto rimangono sostanzialmente uguali alle prove precedenti e stabili attorno al 20%, con la punta massima di 23% ottenuta con la percentuale di inoculo di rumine più alta (15%).

3.2 Prove con scarti di pomodoro

1° esperimento. I risultati ottenuti con un substrato al 3% massimo di SV (BS/TP 2) hanno permesso di ottenere una produzione cumulata di 2255 NL di biogas con una percentuale media del 67.2 di



metano e una punta massima del 73%. Le altre tesi hanno risposto in modo equivalente e proporzionale al contenuto di SV.

2° esperimento. La produzione cumulata di metano è complessivamente aumentata con la riduzione del rapporto BS/TP passando da 2934 (3,6) a 4007 (1) NL, tuttavia il rapporto BS/TP 0,5 produce la minore quantità (168.5 NL CH₄). Ad eccezione della tesi 0,5, la percentuale di metano presente nel biogas era relativamente alta, dal 76% con BS/TP 2, al 73% (BS/TP 1). Tuttavia, per un problema tecnico al 17° giorno di fermentazione, la temperatura è salita a 50°C (e mantenuta per tre giorni) e dopo di ciò le produzioni di metano sono rimaste sostanzialmente inalterate nella tesi con BS/TP 2, mentre nella tesi BS/TP 1 sono aumentate da 75 NL ai 4007 finali.

Considerando soltanto il processo svolto in mesofilia, la tesi più interessante è la 2, poiché nonostante una leggera flessione nella produzione totale, la percentuale di metano nel biogas risulta superiore, e la produzione è costante.

3° esperimento. La produzione cumulata di metano è aumentata con la riduzione rapporto BS/TP passando da 935 (3,6) a 3054 (1) NL CH₄). La percentuale di metano presente nel biogas era relativamente alta, dal 78% (I/S 0.5) al 69,1% (3.6). Si è avuta conferma dell'effetto della temperatura a 50°C, con una lag phase più corta. In questo caso le tesi che hanno dato i risultati migliori sono quelle con rapporto BS/TP 1 e 0.5, che con questa modalità risulta molto produttivo.

La quantità dello ione ammonio presente nei reattori (1.34 g/L al massimo), sebbene aumenti in tutte le prove con il progredire dei processi degradativi, rimane sempre sotto la soglia delle quantità ritenute inibitorie per la digestione anaerobica (tipicamente 2000–2500 mgN/L a temperature termofile, e a 3000–4000 mgN/L a temperature mesofile (Takashima e. Yaguchi, 2020).

3.4. Analisi della struttura e variazione delle popolazioni microbiche

Dai risultati delle analisi quantitative effettuate in QPCR non è stato possibile mettere in evidenza differenze statisticamente significative nelle popolazioni batteriche per il secondo esperimento. Nel terzo, invece, ed in particolare per la tesi con rapporto BS/TP 3.6, la quantità di batteri rilevati è statisticamente più bassa di quella delle altre tesi. Per quanto riguarda gli Archea, responsabili della metanogenesi, i valori più bassi si sono ottenuti nella seconda prova per la tesi 0.5 e sono in diretta relazione con la minore quantità di metano prodotto.

Per i clostridi non si sono rilevate differenze significative.

3.5 Individuazione di marcatori molecolari funzionali di processo

Estrazione dell'RNA

Nelle figure 1 e 2 sono riportate le immagini acquisite dopo elettroforesi su gel di agarosio di campioni di RNA estratti da rumine con le due procedure.

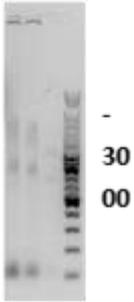


Figura 2. RNA estratto con kit Maxwell RNA LEV Blood. M marcatore di peso molecolare 1 Kb (Thermofisher). Lane 1,2. RNA tal quale e diluito 1:10.

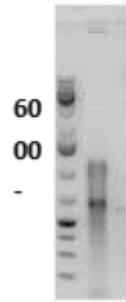


Figura 1. RNA estratto con protocollo TRI Reagent. Lane 1,2,3. RNA tal quale, diluito 1:2, diluito 1:10. M marcatore di peso molecolare 100 bp plus (Thermofisher).

L'elettroforesi ha messo in evidenza due bande principali di RNA ribosomiale batterico corrispondenti al 23S (banda superiore) ed al 16S (banda inferiore). L'RNA ribosomiale è la specie più abbondante presente nelle cellule e "nasconde" la presenza di mRNA che non è visibile su gel di agarosio. L'estrazione con il reagente TRI Reagent comporta la presenza di una banda a basso peso molecolare (5S) più abbondante di quella presente nella preparazione con il Maxwell.

Si sono ottenute buone rese quantitative di RNA partendo dal rumine tal quale senza diluizioni; per quanto riguarda la qualità dell'RNA, si sono ottenuti rapporti 260/280 discreti considerando che il materiale di partenza è disomogeneo e complesso.

Il vantaggio dell'utilizzazione del protocollo TRI Reagent rispetto al protocollo Maxwell è che i campioni da analizzare possono essere stabilizzati mediante l'aggiunta del reagente a base di guanidina tiocianato/fenolo senza ulteriori manipolazioni prima del congelamento a -80°C ed è quindi di più semplice utilizzo.

In conclusione, l'RNA ottenuto è in quantità e qualità tale da poter essere utilizzato nelle fasi che saranno sviluppate in futuro per l'analisi dell'espressione genica.

Disegno primers

Si è proceduto allo studio della letteratura per identificare i primer più appropriati (vedi tabella 2) che verranno successivamente testati nei protocolli di amplificazione. Tale studio ha individuato la coppia qmcrA come primers più specifici per i metanogeni, in particolare per le specie presenti nei tratti gastrointestinali dei ruminanti. Per la produzione di idrogeno nelle dark fermentation, è stato evidenziato da molti autori come le specie interessate nei liquami dei ruminanti siano



principalmente i Clostridia, mostrato anche da una nostra precedente pubblicazione (Chiariotti and Crisà, 2018). Sono stati quindi valutati primers disegnati nelle regioni conservate dei domini H nei geni *hydA* di differenti specie batteriche.

Infine, sono stati scelti alcuni primers come reference genes, geni costitutivi, necessari per la normalizzazione dell'espressione dei geni target.

Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Scostamenti con quanto pianificato, difficoltà incontrate per ciascuna linea del task (max 1 pagina)

L'HPLC per le analisi degli AGV ha subito due interventi di manutenzione, ciò ha comportato lunghi tempi di attesa per le riparazioni e, quindi, un rallentamento dell'attività sperimentale, che si conta di completare entro quest'anno.

Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Indicare proposte che non richiedano varianti tecnico-scientifiche (max 1/5 pagina) in caso contrario sarà necessaria una apposita richiesta ufficiale

Deliverables

D.3.1.1: Individuazione delle condizioni di coltura ottimali nelle fasi idrogeno e metano.

Identificazione delle condizioni ottimali di processo per la produzione di idrogeno e metano con substrati diversi singoli o in codigestione, sono state definite per la produzione di idrogeno e di metano in mesofilia (39°C) con i substrati di nostro interesse.

1. Idrogeno. I substrati utilizzati erano liquame bufalino (prelevato dalla nostra azienda sperimentale) e scotta (è il residuo liquido di lavorazione dell'industria lattiero-casearia) con un rapporto substrato BS:scotta (60:40 v/v). L' inoculo utilizzato era liquidi ruminale (15%) prelevato subito prima dell'avvio della prova dai nostri bufali fistolati.

I risultati sono stati riportati sia nella relazione del secondo anno di attività Agroener che nella pubblicazione (Chiariotti A., A. Crisà. 2018 Bio-Hydrogen Production From Buffalo Waste With Rumen Inoculum and Metagenomic Characterization of Bacterial and Archaeal Community. *Front. Sustain. Food Syst.*, | <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00013>).

2. Metano. La produzione è stata ottimizzata (2019/2020) con i substrati BS e residui della lavorazione industriale di pomodoro a con un rapporto di Solidi Volatili (SV) 2:1 in condizioni di mesofilia (39°C). I primi risultati saranno presentati al convegno EUBCE, 26-29 Aprile 2021 (Anaerobic codigestion of tomato pomace (peels plus seeds) with buffalo sludge improves methane production. A. Chiariotti, E. Rossi, R. Scaella, M. C. La Mantia, F. Monti, E. Santangelo).



D.3.1.3: Individuazione e caratterizzazione di marcatori molecolari funzionali di processo. Ottenimento di indicatori molecolari che in combinazione con altri parametri fisici e chimici nei reattori di fermentazione permetteranno di ottimizzare velocemente i processi biotecnologici.

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 e pubblicazioni.

Tabella 2. Primers identificati per la linea 4

Gene symbol	Gene name	Primer	Sequenza	Amplicone
Hyd	Idrogenasi	HGf	AAGAAGCTTTAGAAGATCCTAA	259
Hyd	Idrogenasi	HGr	GGACAACATGAGGTAAACATTG	
Hyd	Idrogenasi	HydA-A1	CCD KGR CAD GCC ATT AYT TC	200
Hyd	Idrogenasi	HydA-S2	GGW GCH ACH GGH GGV GTT AT	
Hyd	Idrogenasi	Cbu-Hyf	AGTGTTCAAATGTTGGTAAATGTG	150
Hyd	Idrogenasi	Cbu-Hyr	CTCTTGTTGCCTCAGTATTAG	
McrA	Metil coenzima-M reduttasi	qmcrA-R	GBARGTCGWAWCCGTAGAATCC	140
McrA	Metil coenzima-M reduttasi	qmcrA-F	TTCGGTGGATCDCARAGRGC	
rrs	16rRNA gene	rrs-SRV3-F	CGGYCCAGACTCCTACGGG	200
rrs	16rRNA gene	rrs-SRV3-R	TTACCGCGGCTGCTGGGCAC	
gyrA	Gyrase subunit A	gyrAfw	GGGGAAAGGGAATACAAGCA	150
gyrA	Gyrase subunit A	gyrArw	TTAGCCGTTCTACCCGCATC	
recA	Recombinase A	recAfw	AAGCATTAGTGC GTTCTGGAG	97



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

recA	Recombinase A	recArw	GAATCTCCCATTTCCCCTTC	
------	---------------	--------	----------------------	--

Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Presentazione delle attività riguardanti il progetto AGROENER:

Corso tecnico Internazionale dell'International Buffalo Federation su "Buffalo management and Industry" (edizione maggio 2019). Lezioni

TAIEX Study Visit on supporting the implementation of sustainable buffalo production following EU framework. (novembre 2019). Lezioni

Partecipazione a Congressi Internazionali

Partecipazione al 12th World Buffalo Congress, İstanbul, Turkey, 18-20 settembre-2019

Elenco pubblicazioni

Chiariotti, A. E. Rossi, E. Santangelo. 2019. Are the tomato pomace residues useful for hydrogen production? IX World Buffalo Congress, 18-20 Sept. Istanbul Turkey

Chiariotti A., S. Concetti M. Calì and A. Crisà. 2019 CREA research activity on biogas production from buffalo wastes. IX World Buffalo Congress, 18-20 Sept. Istanbul Turkey.

Manfredini, A., Chiariotti, A., Santangelo, E., Rossi, E., Renzi, G. and Dell'Abate, M.T., 2020. Assessing the Biological Value of Soluble Organic Fractions from Tomato Pomace Digestates. J. of Soil Sci. and Plant Nutrition, pp.1-14. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00361-4>



Task 3.2 Produzione d'inoculi per digestori anaerobici

Task leader: Rosa Marchetti

Abstract

Nel quarto anno di progetto sono state realizzate attività di consolidamento e diffusione dei risultati ottenuti finora. Le attività di consolidamento hanno riguardato l'elaborazione dei dati da prove pregresse a fini di pubblicazione, e in prove anche in collaborazione con altre U.O. di progetto. La diffusione dei risultati ha incluso l'organizzazione di una giornata divulgativa, la pubblicazione di una scheda tecnica, la presentazione dei risultati di confronto fra inoculi diversi realizzata nell'ambito di un ring-test internazionale.

1. Attività svolta

Le attività di questa task fanno riferimento a un'unica linea: "Produzione d'inoculi per digestori anaerobici", che ha l'obiettivo generale di "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: 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; 2: individuare la metodologia più idonea alla conservazione e distribuzione commerciale dell'inoculo. 3: arrivare a una chiara definizione, in termini parametrici, di qualità dell'inoculo.

1) è stato ulteriormente precisato il lay-out di processo per la produzione d'inoculi a scala aziendale, ed è stata tentata una prima valutazione di convenienza all'adozione della procedura, qualora utilizzata per aggiunte periodiche di inoculi agli impianti al fine del mantenimento di un carico microbico elevato ed attivo.

2) sono stati elaborati i dati da prova realizzata in un piccolo impianto per produzione d'inoculi costituito da 6 serbatoi da 1 m³, riempiti con la frazione liquida separata di liquame di suino a intervalli di circa 2 mesi l'uno dall'altro, da settembre 2016 a novembre 2017. Ogni serbatoio era stato conservato all'aperto per un anno. L'esperimento è quindi durato da settembre 2016 a novembre 2018. Questi serbatoi sono stati considerati repliche temporali. Campioni di sedimento sono stati raccolti da ogni serbatoio ogni due mesi (6 test in un anno, per ogni serbatoio) e valutati per l'attività metanogenica specifica su acetato.

3) sono stati elaborati i dati di confronto della performance di inoculi diversi in test di biometanazione su substrati diversi. Precisamente, i dati derivano da una prova di confronto dell'inoculo Agroener con un digestato proveniente da un impianto di biogas agricolo che tratta insilati di mais e liquami bovini e con un fango proveniente da un trattamento di acque reflue

municipali. Ciascun inoculo è stato provato su quattro substrati d'origine agro-zootecnica: insilato di mais (MS), liquame bovino (CS), polpe di barbabietola da zucchero pressate (SB), paglia di frumento (WS), con tre repliche per trattamento, per un totale di 36 reattori.

La qualità degli inoculi è stata valutata anche nell'ambito di un ring test internazionale, "IIS-BMP", per confronto fra inoculi di laboratori diversi. Per valutare l'influenza dell'inoculo sull'esito dei test di biometanazione sono stati confrontati almeno due inoculi. Per evitare inconvenienti dovuti a ritardi per controlli doganali, che avrebbero potuto insorgere nel caso di inoculo condiviso oltre i confini nazionali, lo scambio di inoculo è stato effettuato solo a livello nazionale. In Italia, un laboratorio (Politecnico di Milano) ha inviato l'inoculo da un'unica fonte (indicato come "condiviso" nei risultati) a tutti gli altri laboratori (5 in tutto), e tutti hanno effettuato il test nello stesso periodo. I valori di potenziale di biometanazione (BMP) risultanti sono stati confrontati con quelli ottenuti utilizzando l'inoculo normalmente utilizzato nel laboratorio (indicato come "proprio" nei risultati). Per tutti i laboratori i substrati erano gli stessi: un mangime, paglia di frumento e cellulosa.

2. Risultati e deliverable

Gli inoculi presentano ottime prestazioni quando utilizzati in test di laboratorio. Infatti, le prestazioni dell'inoculo Agroener in condizioni di laboratorio controllate e uniformi sono state pari o superiori a quelle degli altri inoculi, anche su substrati "recalcitranti" perché ricchi di fibra lignocellulosica (Figura 1). Sono stati valutati i parametri delle curve di accumulo del metano secondo il modello di Gompertz. In figura si riportano i valori del parametro di maggior interesse commerciale, il BMP:

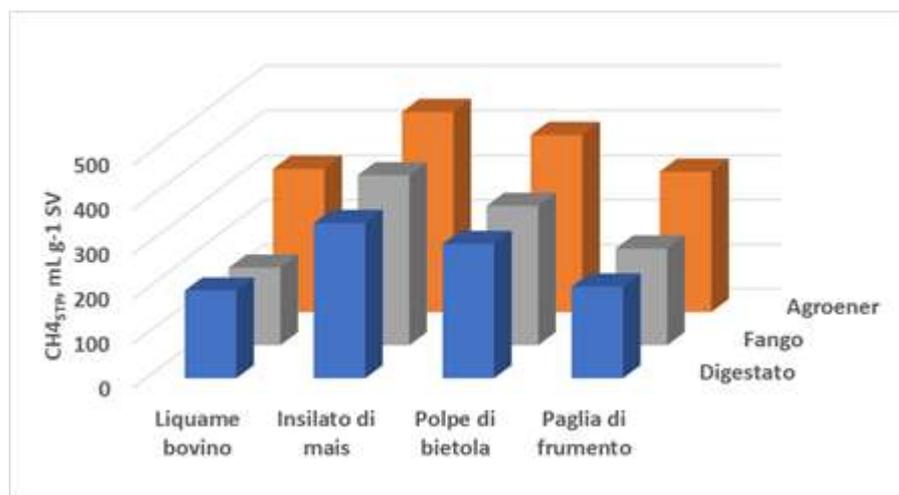


Figura 1. Confronto di inoculi per la produzione cumulativa di metano (BMP) su materie prime agro-zootecniche.

Nel ring test internazionale i test di biometanazione sono stati condotti in 5 laboratori diversi, con procedure e metodi di misura diversi. L'obiettivo era di valutare il ruolo dell'inoculo nel determinare



la variabilità di risposta (BMP). Dal confronto non è emersa nessuna evidenza di effetti significativi dell'origine dell'inoculo sul BMP. In particolare, non si è ridotta la variabilità del BMP, o tendenza del BMP a spostarsi verso la media, nel passaggio dall'inoculo "proprio" a quello "condiviso". L'effetto del laboratorio che ha fatto l'analisi e del metodo di misura del volume di biogase è stato superiore a quello osservato per l'origine dell'inoculo. Quindi in questo senso la performance dell'inoculo prodotto col metodo Agroener non si è differenziata da quella degli altri. I risultati sono stati pubblicati dagli organizzatori del ring test sulla rivista Water (doi:10.3390/w12061752).

La conservazione in ambiente esterno non ha modificato sostanzialmente l'attività degli inoculi. Questo risultato, in contrasto con le indicazioni da letteratura per cui una conservazione prolungata dell'inoculo porterebbe comunque a un peggioramento delle sue prestazioni, è importante per i risvolti applicativi della procedura messa a punto, in quanto rende possibile un uso dilazionato dell'inoculo nel tempo (compatibile con l'uso al bisogno).

A fronte di questi risultati promettenti in condizioni controllate, il trasferimento della procedura a scala operativa deve tuttavia fare i conti con una valutazione della sua convenienza tecnica ed economica. Ai fini di un interesse da parte degli operatori alla produzione aziendale di inoculi è necessario poter dimostrare la maggior convenienza di stoccare i liquami per tempi da definire, per un loro uso pianificato come inoculi, in alternativa all'immissione diretta nel digestore (se presente in allevamento) o allo spandimento sui campi del liquame tal quale a mano a mano che viene prodotto, come normalmente avviene in mancanza di un digestore. È inoltre indispensabile che i costi per eventuali contenitori di stoccaggio supplementari ed eventuale acquisto/noleggiate di centrifughe siano compensati da maggiori produzioni di biogas aziendali o da adeguati ricavi per la vendita degli inoculi ad aziende del territorio. Una prima valutazione di convenienza (Tabella 1) poggia sull'ipotesi, confortata dai risultati di laboratorio e dalla letteratura ma non dimostrata per impianti CSTR, di una riduzione del tempo di ritenzione idraulica (HRT), con aggiunta periodica di inoculo (10% (v/v); periodo =HRT), pari al 15% dell'HRT che si avrebbe in assenza dell'uso di inoculi regolari.

Tabella 1: Stima del potenziale incremento nella produzione di biogas derivante dall'uso regolare di inoculi in impianti CSTR

Potenza installata, MW	Feedstock, m ³ d ⁻¹	Volume del reattore, m ³	Volume dell'inoculo, m ³	Riduzione percentuale del HRT	HRT, giorni	Stima della produzione di biogas, m ³ y ⁻¹	Stima dei kWhe y ⁻¹	Aumento dei kWhe	Volume d'inoculo richiesto, m ³ y ⁻¹
------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------	-------------	--	--------------------------------	------------------	--



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

0.1	10	400	0	0	40	140000	280000		0
0.1	10	400	40	15	34	164706	329412	49412	412
0.1	30	1200	0	0	40	420000	840000		0
0.1	30	1200	120	15	34	494118	988235	148235	1235
1	85	3400	0	0	40	1190000	2380000		0
1	85	3400	340	15	34	1400000	2800000	420000	3500

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

È stata organizzata una giornata divulgativa rivolta agli operatori di settore il 19 dicembre 2019 "Starter: da liquami suinicoli a inoculi per biogas" (https://agroener.crea.gov.it/pdf/Giornata_divulgativa_starter_biogas_SanCesario_190919.pdf)

È stata prodotta una scheda tecnica (Technology Report) per diffusione dell'attività di task verso le imprese di settore in ambito regionale, Rete Alta Tecnologia dell'Emilia-Romagna (<http://tools.retealtatecnologia.it/techrep?lang=it> ; inserire "biogas" nella casella "Cerca testo")

Partecipazione al workshop pre-conferenza "International inter-laboratory studies for standardizing biomethane potential tests ", organizzato da C. Hollinger et al (organizzatori del ring test) nell'ambito di 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, Delft, 23-27 giugno 2019 (<https://www.iwconferences.com/events/anaerobic-digestion-conference-ad16/>)

6. Elenco pubblicazioni

I risultati di confronto di inoculi diversi nel ring test internazionale "IIS-BMP" sono stati pubblicati in:

Sasha D. Hafner, Hélène Fruteau de Laclos 2, Konrad Koch 3 and Christof Holliger Improving Inter-Laboratory Reproducibility in Measurement of Biochemical Methane Potential (BMP) Water 2020, 12, 1752; doi:10.3390/w12061752

Gli inoculi anaerobici prodotti con procedura AGROENER sono stati utilizzati per test di biometanazione in attività di ricerca con altre U.O. AGROENER, attività che han dato luogo alle seguenti pubblicazioni:



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Vasmara C., Marchetti R., Cianchetta S., Galletti S., Ceotto E. Double or Single Harvest To Maximize Biomass And Methane Yields Of Giant Reed (*Arundo donax* L.)? Atti del XLVIII Convegno della Società Italiana di Agronomia Evoluzione e adattamento dei sistemi colturali erbacei Perugia 18-20 settembre 2019

Vasmara, C., Marchetti, R., Cianchetta, S., Galletti, S., Ceotto, E. Enhancing methane yield from giant reed (*Arundo donax* L.) through thermoalkaline pre-treatment and co-digestion with pig slurry, European Biomass Conference and Exhibition Proceedings, 2020, pp. 481–483

Ceotto, E., Vasmara, C., Marchetti, R., Cianchetta, S., Galletti, S. Biomass and methane yield of giant reed (*Arundo donax* L.) as affected by single and double annual harvest GCB Bioenergy. 2021;13:393–407, DOI: 10.1111/gcbb.12790



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

Nel 4° anno è stata completata la ricostruzione del prototipo, inoltre è stato assemblato lo strumento per l'analisi delle componenti del biogas, quindi dopo la verifica del funzionamento di tutte le componenti si è proceduto alla messa in funzione:

- *Riempimento del reattore metanigeno con effluente zootecnico (stalla bufale)*
- *Funzionamento in batch e verifica della effettiva produzione di biogas*
- *Avviamento del processo di digestione anaerobica in continuo nel reattore metanigeno*
- *Avviamento del 1° reattore, acidogenico, in batch*
- *Prime analisi dei substrati impiegati del biogas prodotto e del digestato ottenuto*

Il collaudo e la messa in funzione dell'impianto hanno consentito l'inizio delle attività della linea 2.

1. Attività svolta

LINEA 1

Durante il 4° anno è stata completata l'attività 1-b, ovvero la costruzione dell'impianto, terminando l'acquisizione ed il montaggio delle componenti e della strumentistica necessaria al controllo e regolazione dell'impianto, all'analisi del biogas ed alla termoregolazione.

L'installazione delle sonde per il controllo e la regolazione dei parametri di processo

Sono stati installati direttamente nei reattori e nei serbatoi di alimentazione:

- 4 trasmettitori di pressione relativa del tipo a "membrana affacciata" (particolarmente adatti per materiale sporco e ricco di fibre come l'effluente zootecnico) con range di misura commisurato alle dimensioni dei due serbatoi dosatori, del digestore acidogenico e del



digestore metanigeno, sono stati installati sul loro fondo, per monitorare costantemente la pressione esercitata dal materiale fluido in essi contenuto, che in contenitori cilindrici è direttamente proporzionale all'altezza raggiunta (livello idrostatico), quindi al volume. La conversione della pressione, ovvero del livello idrostatico, in un segnale prima elettrico quindi analogico operata dal trasmettitore permette alla PLC di acquisire il dato e di utilizzarlo per il monitoraggio e la regolazione dell'alimentazione e dello scarico dei digestori ad intervalli programmati ed in quantità dosate azionando e/o disattivando opportune valvole di carico/scarico e pompe monovite di dosaggio.

- 2 Dispositivi per la misurazione del pH da applicare nei digestori anaerobici, costituiti da unità elettronica con indicatore /trasmettitore/regolatore, elettrodo a gel e sonda estraibile in linea per l'alloggiamento dell'elettrodo. La conversione del segnale elettrico in analogico operata dal trasmettitore permette alla PLC di acquisire il dato e di utilizzarlo per il monitoraggio del pH e la eventuale attivazione automatica e/o manuale (opzione consigliata) della correzione dell'acidità del substrato nei digestori attraverso l'azionamento di apposita pompa dosatrice applicata a serbatoio di soluzione basica/acida).
- 4 Sonde termometriche (riutilizzo delle sonde già presenti sul vecchio prototipo previa verifica di funzionamento) nei due serbatoi dosatori, nel digestore acidogenico e nel digestore metanigeno. La conversione della temperatura in un segnale prima elettrico e poi analogico operata dal trasmettitore permette alla PLC di acquisire il dato e di utilizzarlo per il monitoraggio e la regolazione del pompaggio del fluido riscaldante agli scambiatori termici alloggiati nei reattori.

Analisi dei biogas

Per verificare costantemente l'andamento delle produzioni e le variazioni indotte dalle modifiche sperimentali delle condizioni e dei parametri di processo, è stato acquistato ed installato un analizzatore dei due reattori che produrranno due diversi tipi di biogas, il primo contenente alte percentuali di H₂ (% attesa 15-50) ed il secondo alte percentuali di CH₄ (% attesa 50-70). Lo strumento installato è un sistema di analisi multiparametrico e multistream di biogas. In grado di gestire autonomamente il campionamento e l'analisi in scansione (ad intervalli programmati) del biogas da 2 punti differenti (i 2 digestori ed i relativi gasometri), dotato di sensori elettrochimici e di banco a NDIR per la rilevazione e la misura almeno di CO₂, CH₄, H₂S, O₂, e H₂ nel biogas.

Termoregolazione

Un apposito compressore a membrana aspira dai gasometri il biogas, inviandolo al generatore di calore, il cui boiler è stato montato in parallelo alla pre-esistente pompa di calore; Il liquido riscaldante (acqua) viene fatto circolare negli apparati di scambio termico montati all'interno dei reattori e dei serbatoi di alimentazione dal circolatore della pompa di calore.



LINEA 2

Nel corso del 4° anno ha avuto inizio anche la linea 2 della task (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). In una prima fase è stato effettuato il collaudo dell'impianto e verificando non solo il corretto funzionamento delle sue componenti, ma anche l'andamento del processo attraverso i seguenti passaggi:

- Riempimento ed avviamento in batch del reattore metanigeno con solo effluente zootecnico.
- Verifica corretto funzionamento della strumentazione ed avvio della digestione anaerobica nel reattore.
- Avviamento del processo di digestione anaerobica in continuo nel reattore metanigeno.
- Produzione di una quantità di biogas sufficiente al mantenimento della termostatazione
- Verifica dei sistemi di regolazione e controllo.
- Interventi di regolazione sull'impianto e di modifica per il superamento delle criticità emergenti, che hanno riguardato in particolare il riscaldamento e la misurazione del gas svolto.
- Avviamento del 1° reattore acidogenico, in batch
- Verifica corretto funzionamento della strumentazione ed avvio della digestione anaerobica nel suddetto reattore
- Prime analisi dei substrati impiegati del biogas prodotto e del digestato ottenuto e del biogas svolto

2. Risultati e deliverable

I dati rilevati dalle analisi degli effluenti impiegati per l'avviamento dell'impianto, del digestato e del biogas prodotti sono ancora in corso di valutazione, ma da una prima analisi emerge che l'impianto, pur funzionando a singolo stadio ha prodotto un biogas con una concentrazione abbastanza stabile intorno al 65% di CH₄ ed al 33% di CO₂ indipendentemente dalle caratteristiche dell'effluente zootecnico e della variabilità dei parametri di esercizio, non è stata invece riscontrata analoga stabilità nella concentrazione del H₂S che è variata durante le misurazioni da 50 ppm fino a 1350 ppm. Nel digestato, come prevedibile, si notano la riduzione della concentrazione della sostanza organica e l'aumento della concentrazione di azoto ammoniacale (N-NH₃) rispetto a quelle riscontrate nell'effluente zootecnico immesso nel digestore.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Sono state riscontrate difficoltà nel reperire flussimetri ad area variabile adatti alla misurazione delle portate di biogas prodotto dall'impianto, che per le sue caratteristiche compositive (presenza di



vapor acqueo e particolato) tende ad ostruirli. Si è deciso quindi soprassedere alla questione ed ampliare la ricerca di flussimetri in commercio e nel caso studiare ed approntare una soluzione empirica per la misura dei biogas prodotti.

Inoltre, la restrizione dei movimenti e la necessità di ridurre al minimo i contatti con ambienti esterni imposti dall'esplosione della pandemia di COVID 19, hanno reso necessario il rinvio dell'acquisizione di scotta da aziende esterne e quindi la possibilità di avviare il processo di dark fermentation nel digestore acidogenico e quindi di produrre anche biogas contenente idrogeno.

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

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 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 e liquami zootecnici nell'ambito di un programma di rilancio della produzione 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. L'attività si sviluppa in 2 linee di azione riferite a due specifici sistemi produttivi, entrambe con un importante impatto ambientale e socio-economico.

Linea di ricerca 1. Valuta l'effetto migliorativo su appezzamenti 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 della prova biennale (2017 e 2018) e del successivo periodo (2019-2020) le analisi delle componenti microbiche i, mostrano che l'arricchimento periodico con digestati migliora la sanità dei suoli e la loro capacità produttiva. Questo incremento di fertilità non è risultato tanto legato all'incremento di sostanza organica, risultato complessivamente modesto, ma piuttosto all'aumento di popolazioni microbiche con proprietà funzionali tali da migliorare la capacità naturale dei suoli di reprimere i patogeni radicali e promuovere lo sviluppo delle piante.

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 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 di fragola in Val Martello. In questo campo è stata valutata la risposta produttiva di fragola ai digestati in pre-trapianto assumendo come controllo un controllo non trattato e un fumigante chimico, Basamid. La risposta produttiva del 2019 e 2020 e la analisi delle componenti microbiche coinvolte hanno dimostrato la possibilità di aumentare con l'apporto di digestati la capacità naturale dei suoli di ridurre i funghi patogeni delle radici soprattutto grazie alle variazioni che inducono sulla composizione delle popolazioni microbiche. Tuttavia, i



risultati hanno confermato due criticità note sull'uso dei digestati come ammendanti in pre-trapianto: la fitotossicità e la variabilità del loro effetto sulla crescita delle colture.

Attività svolta

Linea 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 maggio 2017 e 2018 e, 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 sono stati utilizzati per una prova di accrescimento in serra i cui risultati sono già stati presentati nelle relazione del terzo anno di attività della task 3.4., La valutazione della colonizzazione fungina delle radici messa in relazione con l'accrescimento delle piante nel test ha evidenziato che i suoli periodicamente ammendati con digestati avevano acquisito un maggiore sanità o soil suppressiveness rispetto all'adiacente controllo non trattato. In questo quarto anno di prove sono state analizzate alcune componenti microbiche chiave della soil suppressiveness, come i batteri totali e le Pseudomonas, per comprendere i meccanismi per cui i suoli ammendati con digestati sono in grado di promuovere una maggior crescita produttiva.

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, nel Luglio 2018 è stato allestito il campo prova AGROENER con i seguenti trattamenti:

- 1) Digestato da biogas da liquami zootecnici (Comune di Aldino); sostanza organica 19% biomassa fresca
- 2) Compost da digestione anaerobica da Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano, FORSU (ditta: Bioenergia Trentino, a Cadino, TN); sostanza organica 33.1% biomassa fresca
- 3) Trattamento chimico (Basamid);
- 4) Testimone.

Il campo prova di fragola, con dimensioni di circa 1000 m², è stato preparato in file baulate (22 file per 38 m di lunghezza ciascuna) ad ottenere un disegno sperimentale con 3 repliche (file



randomizzate) per trattamento. I digestati sono stati distribuiti sulle file baulate con i seguenti dosaggi: digestato da liquami zootecnici pari a 34.5 t ha⁻¹ e compost da FORSU pari a 23.0 t ha⁻¹ della superficie trattata di cui le file baulate rappresentavano il 36.4%. Basamid è stato applicato ai dosaggi standard del prodotto. La prova biennale di fragola volta a testare l'efficacia di due trattamenti con digestati a confronto con controllo non trattato e Dazomed, è stata trapiantata nell'estate 2018. La cultura, trapiantata un mese dopo, ha avuto durata biennale con due cicli di raccolta nel luglio 2019 e 2020.

Per valutare l'impatto dei trattamenti sulla sanità della coltura sono state analizzate le variazioni quantitative del principale patogeni radicale della fragola, *Dactylonectria torresensis* (indicativamente l'ex *Cylindricarpon destructans*) utilizzando metodi molecolari con sonde specifiche per questo fungo nel suolo (RealTime PCR o quantitativePCR).

1. Risultati e deliverable

Linea di azione 1. I risultati delle prove di allevamenti con mais nel biennio 2017 – 2018 hanno evidenziato che nei campi trattati con digestati, il livello di colonizzazione radicale di mais da parte dei funghi tellurici era significativamente più basso del controllo, con valori di incremento di biomassa vegetativa delle piante pari al 34% nel 2017 e 28% nel 2018. Questo ha suggerito che i funghi endofiti dalle radici erano patogeni e che i suoli ammendati avevano acquisito la capacità di contenere i patogeni radicali (Manici et al. 2018), ovvero avevano aumento la *soil suppressiveness*, che è la naturale capacità di un suolo di controllare i patogeni e di promuovere la crescita delle piante.

Fra i patogeni radicali, *Setophoma terrestris* è risultato il più frequente sulle radici di mais sia nel 2017 che nel 2018. Il test di patogenicità svolto utilizzando colture pure del fungo, ha confermato la sua capacità di ridurre lo sviluppo radicale di mais.

La seconda parte della attività (2019/2020) è stata orientata ad individuare le componenti microbiche responsabili della maggior crescita e sanità delle piante suoli periodicamente ammendati con digestati, come osservato nei test in vaso con mail del 2017 e 2018 (si veda relazione AGROENER task 3.4 terzo anno).

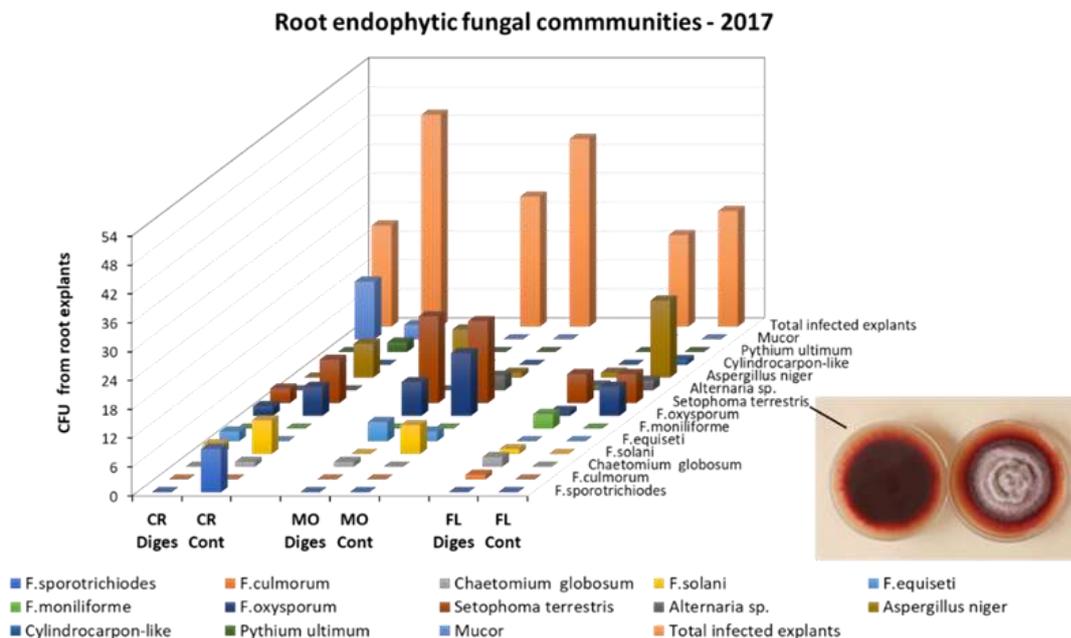


Figura 1. Istogrammi della frequenza di infezione radicale complessiva (*Total infection explants*) e presenza relativa delle specie fungine isolate dalle radici elencate sotto. Da notare la frequenza di colonizzazione fungina più alta nei suoli non ammendati (Digest) e, *Setophoma terrestris* la specie più rappresentata sulle radici. Accanto la coltura pura di *Setophoma terrestris*

L'obiettivo era mettere in relazione le variazioni delle comunità microbiche indotte dall'apporto di digestati con la funzionalità positive di specifiche popolazioni microbiche. Questa indagine sulla componente microbica è stata svolta con tecnologie molecolari a partire a DNA del suolo della rizosfera di mais conservato dalle prove in vaso dei 2017 e 2018. Sono state quantificate 2 popolazioni batteriche funzionali (*Pseudomonas* e actinomiceti), selezionate come indicatori di funzionalità microbica. È stata inoltre valutata e comparata la biodiversità microbica dei suoli, infine è stata confrontata la composizione delle comunità batteriche utilizzando tecniche di *fingerprinting* (PCR-DGGE) poi analizzate con tecniche di analisi multivariata applicata a dati non parametrici.

Le *Pseudomonas* e degli actinomiceti sono risultati più rappresentati nei terreni ammendati con digestato, suggerendo così un loro coinvolgimento diretto nell'aumentata della capacità di quei suoli di reprimere i patogeni radicali presenti nel suolo (*soil suppressiveness*) e di promuovere la crescita di mais, anche se con meccanismi variabili da sito a sito. La biodiversità microbica non è stata modificata dagli apporti con digestati, pertanto l'aumento della sanità dei suoli o *soil suppressiveness* è risultata legata prevalentemente a variazioni qualitative delle comunità batteriche, più che ad un aumento della biodiversità

Linea di azione 2

La disinfezione chimica del suolo (Dazomet) in pre-trapianto ha dato in entrambe gli anni un aumento significativo (oltre il 50%) della produzione commerciabile di fragola per pianta. Entrambe i digestati (DIGESTATE e COMPOST) non hanno migliorato la produzione nel primo anno (2019), anzi il trattamento con COMPOST (FORSU) ha dato effetti fitotossici. Nel secondo ciclo di produzione (2020) il COMPOST da FORSU ha perso ogni effetto fitotossico e ha indotto una resa produttiva di fragola pari a quella di Dazomet, ovvero ha incrementato quasi del 50% la produzione rispetto al controllo (Fig. 2). Al contrario il digestato da liquame zootecnici (DIGESTATE) non ha indotto nessun incremento produttivo rispetto al controllo nè nel 2019 nè nel 2020

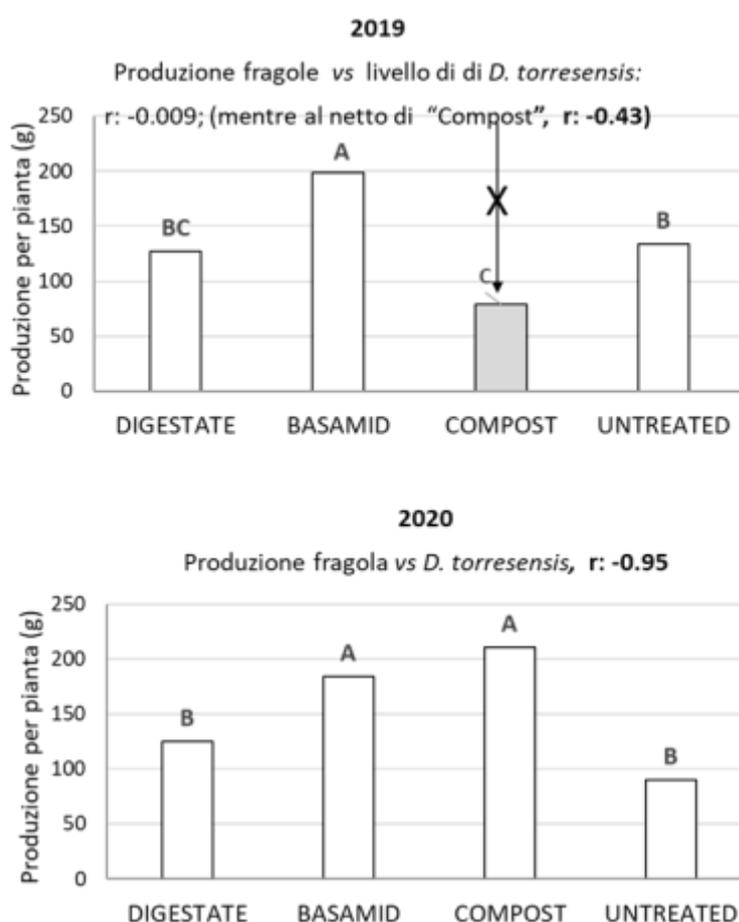


Figura 2. Risposta produttiva di fragola nei 2 anni di raccolta successivi.

La produzione è risultata correlata negativamente a *Dactylonectia torresensis* nel 2019 (Pearson correlation $r: -0.43$) se si escluse l'effetto tossico del compost da digestato organico urbano. Mentre nel 2020, la correlazione altissima ($r: -0.95$) indica chiaramente che la maggior produzione è legata alla capacità di contenere il principale patogeno radicale della fragola.

Poichè questa prova mirava a valutare gli aspetti migliorativi dei compost sulla sanità della coltura, è stata applicata la fertirrigazione con N P K sia in post trapianto che durante la fase

di sviluppo dei frutti in entrambe in cicli produttivi. Questo ha permesso di annullare le variazioni dovute a diversa disponibilità nutrizionale ed evidenziare gli effetti positive delle variazioni microbiche indotte dai digestati.

Le variazioni del livello del patogeno radicale *Dactylonectria torresensis* nel suolo, sono risultati correlate negativamente alla risposta delle colture ai trattamenti dimostrando così che la riduzione di questo patogeni favorisce l'accrescimento radicale (Fig. 2).



Figura 3. Prova sperimentale in Val Martello. File baulate dopo in trattamento e pronte per il trapianto (2018) e coltura di fragola in fase di fioritura nel giugno 2019. Foto S. Soppelsa, Centro Sperimentale di Laimburg, Ora (BZ)

La composizione delle comunità di batteri totali e delle *Pseudomonas* è risultata modificata dai trattamenti in pre-trapianto nel 2019, 13 mesi dopo i trattamenti del suolo. Questo risultato è facilmente visualizzabile nei dendrogrammi in Figura 4, dove le comunità sia di batteri totali che delle *Pseudomonas* appaiono raggruppate in base ai trattamenti dei suoli nel 2019, mentre nel 2020 questi raggruppamenti scompaiono in linea con l'effetto di resilienza del suolo (Figura 4). Inoltre, nel 2019 la differenza fra le comunità dei diversi trattamenti era molto più marcata rispetto al 2020 quanto l'effetto di tutti i trattamenti è scomparso.

Questo "riequilibrio" delle comunità microbiche nel tempo è un effetto noto, ma è interessante averne rilevato i tempi e le modalità. L'effetto "resilienza" delle comunità autoctone che dopo l'effetto "disturbo" dei primi mesi dopo al trattamento si sono riavvicinate come composizione a quella del controllo, trova conferma nelle variazioni della

biodiversità batterica nei 2 anni di prova. La biodiversità batterica nelle parcelle trattate è infatti diminuita dal 2019 al 2020 (Fig. 5), mentre l'indice di biodiversità nel controllo non è variato ed è rimasto intorno ai valori di quelli del 2020, ovvero a quelli dell'equilibrio naturale di quei suoli che invece erano stati alterati dai trattamenti con digestati.

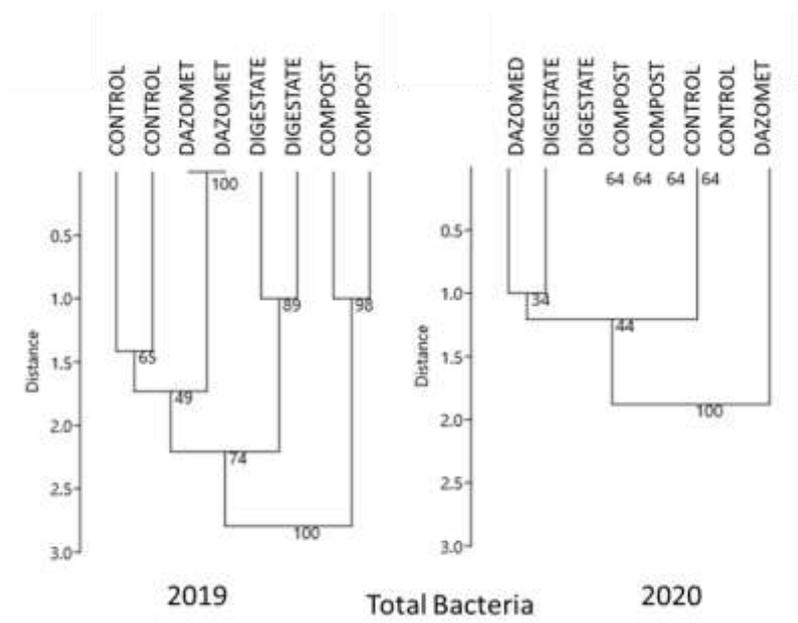


Figura 4.

Raggruppamenti in base alla similarità genetica, in forma di dendrogrammi (UMPGA), dei batteri totali e delle *Pseudomonas* nella rizosfera delle piante di fragole nel primo (2019) e nel secondo anno (2020) durante la fase di maturazione. Sono state prese in considerazione due repliche per trattamento utilizzando la distanza euclidea. Bootstrap 1000.

In sintesi, con questa prova abbiamo evidenziato che le variazioni delle comunità microbiche indotte dai biodigestati possono modificare le comunità microbiche con effetti positivi sulla capacità di controllo naturale dei patogeni radicali.

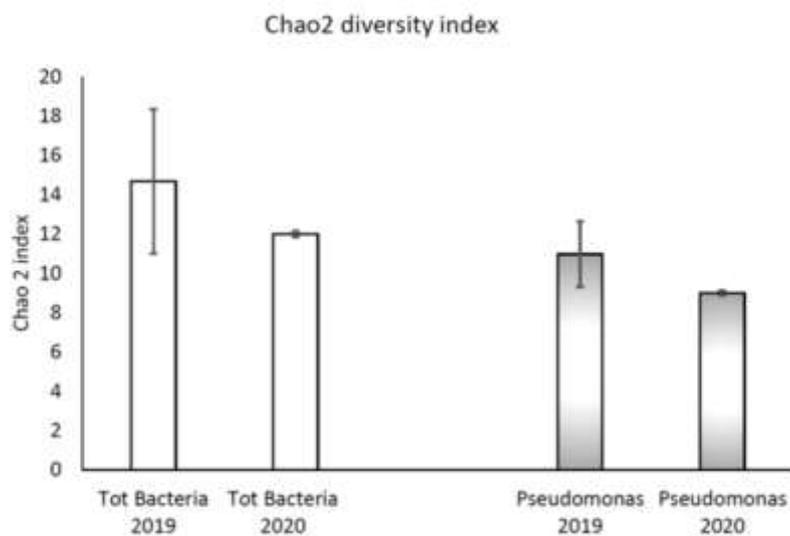


Figura 5.

Indice di Biodiversità (Chao2) delle comunità di batteri totali e *Pseudomonas* nella rizosfera di piante di fragole allevate nelle parcelle trattate in pre-trapianto con composts e Dazomet.

Si noti la riduzione della biodiversità dal 2019 al 2020, quando il livello di biodiversità è tornato simile a quello osservato nel controllo non trattato

I risultati di questa prova suggeriscono che le biomasse derivate dai rifiuti sono un'opzione ecologica promettente per contrastare il declino della produzione in fragola. Il loro impatto positivo è stato principalmente collegato a miglioramenti funzionali indotti da variazioni microbiche. Tuttavia, l'utilizzo di digestati come ammendanti richiede un'attenta valutazione della composizione, delle dosi e soprattutto dei tempi di applicazione per ridurre gli effetti fitotossici che, in alcuni casi, possono manifestarsi nei primi mesi dopo l'applicazione. Complessivamente, i risultati della linea 2 confermano l'efficacia dei digestati nell'aumentare la capacità naturale del suolo di controllare i patogeni radicali e promuovere la crescita delle piante. I risultati della linea 2 su fragola nonostante il numero limitato di digestati testati, hanno evidenziato le principali criticità dell'uso dei digestati come ammendanti quanto i tempi fra trattamento e trapianto sono minimi. Queste criticità sono la fitotossicità nel periodo immediatamente successivo all'incorporazione del digestato nel suolo e la grande differenza d'efficacia nella capacità di incrementare la crescita della pianta osservata fra i digestati di diversa origine.

1. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Gli ostacolo sono stati diversi, sia nella linea 1 che nella 2, ma sono stati superati come descritto nelle relazioni degli anni precedenti. Nella linea 1, la scelta dei siti di campionamento con storie di



ammendamento pregresso ha richiesto diverse variazioni ed indagini per poter arrivare ad uno schema sperimentale adeguato in pianura padana. Nella linea 2, la fase di scelta dei campi prova è stata impegnativa ed ha richiesto un lavoro preliminare che poi è sfociato in uno studio pubblicato appunto nel 2018 (Manici et al. 2018). Successivamente, per questa prova di pieno campo è stato problematico avere disponibili nei tempi richiesti i digestati da impianti locali; ma, soprattutto, ottenere dei materiali con uno standard minimo di qualità. Sicuramente, il trasporto e la movimentazione dei digestati per lo svolgimento della prova di pieno campo sono stati impegnativi.

Manici, L.M., Caputo, F., Rossi, A., ...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

2. Pubblicazioni nel periodo 2019-2021

Linea 1

Manici L.M., Caputo F., Cappelli G.A., Ceotto E. 2020. Can repeated soil amendment with biogas digestates increase soil suppressiveness toward non-specific soil-borne pathogens in agricultural lands? *Renewable Agriculture and Food Systems*, <https://doi.org/10.1017/S1742170520000393>

Linea 2

Soppelsa, S., Manici, L.M., Caputo, F., Zago, M., Kelderer, M. 2021 Locally available organic waste for counteracting strawberry decline in a mountain specialized cropping area. *Sustainability (Switzerland)*, 2021, 13(7), 3964 <https://doi.org/10.3390/su13073964>

DELIVERABLES

I deliverable dei prime secondo anno e terzo anno sono già stati raggiunti, mentre la linea 3 è stata tolta dal programma nel primo anno di progetto in seguito ad una riorganizzazione delle attività.

Nel periodo di riferimento (giugno luglio 2019 – aprile 2021) 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.*

Manici L.M., Caputo F., Cappelli G.A., Ceotto E. 2020. Can repeated soil amendment with biogas digestates increase soil suppressiveness toward non-specific soil-borne pathogens in agricultural lands? *Renewable Agriculture and Food Systems*, <https://doi.org/10.1017/S1742170520000393>

D.3.4.5 *Output dell'attività sulla linea 2: Pubblicazioni nel primo semestre del 5° anno "programma di arricchimento dei suoli con digestati da residui organici urbani su colture ad alto reddito (fragola) in ambienti montani".*



Soppelsa, S., Manici, L.M., Caputo, F., Zago, M., Kelderer, M. 2021 Locally available organic waste for counteracting strawberry decline in a mountain specialized cropping area. Sustainability (Switzerland), 2021, 13(7), 3964 <https://doi.org/10.3390/su13073964>

D.3.4.6 *Output dell'attività sulla linea 1 e 2 entro il 5°anno di progetto: possibilità di incremento di biodiversità microbica e componenti biologiche utili in suoli agricoli con digestati ottenuti secondo i principi del sistema HACCP. Titolo del deliverable "Potenzialità dei sottoprodotti come ammendanti specifici nella conversione dei suoli a biologico.*

Entrambe le pubblicazioni sopra riportate e prodotte nel quarto anno per la linea 1 e 2 riportano evidenze sulla risposta delle componenti microbiche dei suoli ai digestati e sulle variazioni di biodiversità in relazione alla funzionalità dei suoli. Questi sono i risultati delle analisi di specifiche popolazioni microbiche e della composizione di comunità microbiche svolte a partire da DNA totale del suolo utilizzando con diverse tecniche di analisi molecolare.

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 2019-2021 è stato prodotto una comunicazione divulgativa su format del coordinamento di AGROENER. In web ci sono anche le relazioni annuali di progetto delle task 3.4, anni 2017, 2018 e 2019.



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: Gabriella Rossi - la dott.ssa Gabriella Rossi è stata inserita nella task con nota CREA – Comunicazioni generali prot. 0020880 del 3/07/2019 prendendo in carico le attività proprie della linea 2.

Linea 3 di attività: Individuazione di proprietà biostimolanti nei biodigestati

Referente: Maria Teresa Dell'Abate

Abstract

Linea 2. - Nel quarto anno di attività sono stati raccolti ed elaborati statisticamente i risultati ottenuti sulla prova di fertilizzazione con biodigestati zootecnici di diversa origine e composizione condotta su *Lolium* per valutarne il rischio di lisciviazione dell'azoto. Dai risultati ottenuti è emerso che la frazione solida del digestato suino ha un effetto ammendante del suolo maggiore rispetto alla frazione liquida, che può essere considerato alla pari di un fertilizzante minerale. Inoltre, è da osservare che il digestato suino tal quale ed il digestato bovino, nelle condizioni di questa sperimentazione in vaso, presentano un maggior rischio di perdite di azoto dovute a lisciviazione in terreni vulnerabili.

Linea 3-Lo studio ha riguardato campioni ottenuti da codigestione di residui dell'attività zootecnica (scotta) e refluo bufalino, in confronto con la digestione delle singole matrici, su prove condotte a scala di laboratorio dalla task 3.1. In continuità con le indagini svolte nel terzo anno, è stata studiata l'attività di stimolazione dell'attività microbica del suolo a seguito di somministrazione della frazione solubile in acqua di tali digestati, considerando le dosi di applicazione 0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 1000 ppm di carbonio solubile, secondo una griglia che permette di valutare gli effetti nutritivi rispetto all'attività biostimolante ed ormonosimile. I risultati hanno evidenziato che il digestato ottenuto da scotta e refluo presenta attività nutrizionale alla dose maggiore di applicazione, anche grazie alla presenza di una buona quota di azoto solubile, mentre non sono stati rilevati effetti di biostimolazione alle altre dosi. Per quanto riguarda la dimensione del pool microbico del suolo, espressa come contenuto di C della biomassa microbica, non si sono registrate differenze statisticamente significative eccetto che per i digestati delle singole matrici (il refluo di inoculo e la scotta), che hanno indotto rispettivamente un decremento il primo (alla dose 10 ppm) ed un incremento la seconda (alla dose 0.1 ppm) rispetto al controllo non addizionato. Tali risultati



preliminari saranno posti in confronto con gli approfondimenti previsti sulla composizione della sostanza organica dei digestati in toto e della frazione solubile.

1. Attività svolta

Linea 2

Nel quarto anno di attività sono stati raccolti ed elaborati statisticamente i risultati ottenuti sulla prova di fertilizzazione con biodigestati zootecnici di diversa origine e composizione condotta in ambiente confinato su *Lolium* per valutarne l'effetto sulla produzione di biomassa vegetale, sulle asportazioni in azoto ed il rischio di lisciviazione dello stesso nel suolo. L'omoschedasticità dei dati è stata verificata utilizzando il test di Levene e la trasformazione logaritmica è stata eseguita quando necessario per omogeneizzare varianze tra i gruppi. L'analisi univariata della varianza (ANOVA) è stata eseguita separatamente per ogni tempo di campionamento (produzione di biomasse vegetali, concentrazione di azoto nella biomassa vegetale, suolo e acqua lisciviata) e sui cumulativi.

Negli anni precedenti, erano stati caratterizzati digestati di diversa origine e composizione ed erano state messe a confronto quattro tesi di fertilizzazione: digestato suino tal quale + energy crops (SE); digestato suino/frazione solida + energy crops (SES); digestato bovino tal quale + energy crops (BE); solfato amminico (AS) utilizzato come confronto. Era stata inoltre prevista una tesi controllo coltivato non fertilizzato (C). Il solfato ammonico o i biodigestati sono stati aggiunti al suolo in dose di 180 kg/ha di azoto. Dopo ca. 3 settimane dall'applicazione dei diversi trattamenti fertilizzanti, è stata effettuata la semina di *Lolium perenne* varietà Belida. Il primo sfalcio è stato effettuato dopo 40 giorni dalla semina. In totale sono stati eseguiti cinque sfalci, da marzo a maggio. Sui campioni di vegetale raccolti ad ogni sfalcio e per ogni tesi sono stati determinati il contenuto in sostanza secca, la concentrazione di azoto e le relative asportazioni. Venti giorni dopo la semina e durante la coltura, sono state simulate sei piogge, una volta ogni 10 giorni. Negli eluati raccolti ad ogni pioggia sono stati analizzati il contenuto di N nitrico ed ammoniacale.

Linea 3

L'attività svolta è stata consequenziale a quella del terzo anno, con la stesura di un articolo scientifico sulle prove realizzate con i digestati a base di buccette di pomodoro e refluo zootecnico, mentre l'attività analitica ha riguardato lo studio di digestati ottenuti da una prova AMPST dove era prevista la co-digestione di una miscela di scarti caseari (scotta) e di un refluo zootecnico (liquame bufalino), condotta in scala di laboratorio da CREA-ZA che ha fornito i materiali.

Per la prova denominata "scotta" sono stati analizzati n. 9 campioni di digestato, corrispondenti a tre matrici così composte:



Biodigestato	Descrizione
S-100	3 repliche composte dal solo substrato
INO	3 repliche di solo liquame bufalino stagionato (inoculo)
Scotta	3 repliche di inoculo + substrato

Al fine di assicurare l'omogeneità e la standardizzazione delle condizioni di applicazione nei test di laboratorio, i campioni sono stati preventivamente 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 del microbiota nel caso di applicazione di digestati al suolo. I campioni essiccati sono stati caratterizzati per il contenuto di carbonio ed azoto organico totali (TOC e NT, rispettivamente) e per le rispettive frazioni solubili in acqua (DOC e DON), con due diversi rapporti di estrazione, tra quelli presenti in letteratura.

La presenza di proprietà biostimolanti è stata testata sul suolo, in cui sono stati determinati l'attività respiratoria (espressa come evoluzione di C-CO₂ cumulativa e basale) e il dosaggio della biomassa microbica (MBC); successivamente sono stati calcolati gli indici di mineralizzazione (qM) e metabolico (qCO₂, respirazione specifica). Metodi analitici ed indici di valutazione sono gli stessi descritti nella precedente relazione 3° anno: nel loro insieme permettono di ricavare informazioni sui potenziali effetti dei prodotti in esame sui microrganismi del suolo, considerando diverse dosi di applicazione degli estratti solubili in acqua (0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 1000 ppm di C).

Per la prova "scotta" di cui si relaziona sono state effettuate 549 determinazioni, suddivise in: 9 determinazioni TOC, 9 per NT, 12 per DOC, 12 per DON, 156 per la biomassa microbica (C&N) e 351 determinazioni per l'attività respiratoria. I biosaggi sul suolo sono stati inoltre replicati su un secondo set di esperimenti realizzati con la frazione solubile ottenuta con un diverso rapporto di estrazione digestato: acqua, per i quali sono state effettuate ulteriori 507 determinazioni (156 di C&N biomassa microbica e 351 di attività respiratoria). I risultati sono in elaborazione, con l'obiettivo di perfezionare gli aspetti metodologici utili ad evidenziare l'attività biostimolante dei digestati in studio.

I dati raccolti sono stati sottoposti ad analisi statistica mediante analisi di regressione multidimensionale allestendo una analisi della varianza (ANOVA).

I test su pianta non sono stati effettuati causa emergenza pandemica e verranno riprogrammati.



L'attività svolta ha compreso la stesura, sottomissione e pubblicazione di un articolo scientifico relativamente alle prove sui biodigestati a base di buccette di pomodoro e refluo bufalino, condotte nel 3° anno di attività (*Journal of Soil Science and Plant Nutrition* <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00361-4>), pubblicato il 16 ottobre 2020.

Per quanto riguarda gli approfondimenti analitici sulla sostanza organica dei substrati, a dicembre 2020 è stato effettuato un intervento tecnico di manutenzione del termoanalizzatore simultaneo Netzsch STA 409, pertanto sono state calendarizzate nel 2021 le previste prove DSC/TG del profilo di stabilità termica dei digestati in studio, attualmente in corso. La caratterizzazione mediante analisi spettroscopica di risonanza magnetica nucleare (NMR) ad alta risoluzione è stata affidata esternamente a seguito di approvazione della variante di spesa richiesta e sarà conclusa entro il 2021.

2. Risultati e deliverable

Linea 2

La caratterizzazione chimico-fisica dei digestati di origine zootecnica ha evidenziato una marcata variabilità di composizione, in particolare per quanto riguarda il contenuto in carbonio e azoto organico. La maggior produzione totale di biomassa vegetale e le maggiori asportazioni in azoto da parte della coltura sono state evidenziate nei vasi fertilizzati con biodigestato bovino o suino/frazione solida rispetto al biodigestato suino tal quale. I digestati di diversa origine, composizione chimica e rapporto C/N, utilizzati nella prova, hanno influenzato diversamente i fenomeni di lisciviazione dell'azoto nel breve e medio periodo. Il digestato di suino tal quale (SE) era caratterizzato dal più basso rapporto C/N ed una bassa dell'azoto totale era in forma organica; queste caratteristiche favoriscono una rapida mineralizzazione dell'azoto somministrato al terreno. Il digestato di suino/frazione solida (SES) mostrava la più alta concentrazione di carbonio organico e la più elevata percentuale di azoto organico con il C/N più alto tra le tesi; questo porterebbe ad una lenta mineralizzazione dell'azoto organico aggiunto al suolo. Il digestato bovino (BE) presentava un C/N basso ed una buona percentuale di azoto organico; queste condizioni spostano l'equilibrio verso la mineralizzazione della sostanza organica del suolo. Gli effetti della somministrazione di SE e SES sulla concentrazione di azoto lisciviato sono stati evidenti soprattutto negli eluati raccolti nelle prime piogge simulate. Il comportamento di SE è stato simile a un fertilizzante con una buona disponibilità di azoto minerale con la maggior quantità di azoto lisciviato nelle prime piogge. Il SES ha avuto effetti più simili a quelli di un ammendante del suolo, sostenendo una produttività sufficiente e con limitate perdite di azoto negli eluati rispetto al solfato ammonico, considerato come fertilizzante di riferimento (AS). Il comportamento del digestato bovino (BE) è stato simile a quello di un fertilizzante che rilascia gradualmente azoto nel terreno. Questo spiega anche il picco

di azoto lisciviato nella quarta pioggia simulata e, a seguire, nella quinta e sesta pioggia. In questa tesi si è avuta la maggiore concentrazione totale di azoto lisciviato.

Considerando questi risultati e quelli relativi al contenuto di sostanza organica, emerge che la frazione solida del digestato suino ha un effetto ammendante del suolo maggiore rispetto alla frazione liquida, che può essere considerato alla pari di un fertilizzante minerale. Inoltre, è da osservare che il digestato suino tal quale ed il digestato bovino, nelle condizioni di questa sperimentazione in vaso, presentano un maggior rischio di perdite di azoto dovute a lisciviazione in terreni vulnerabili.

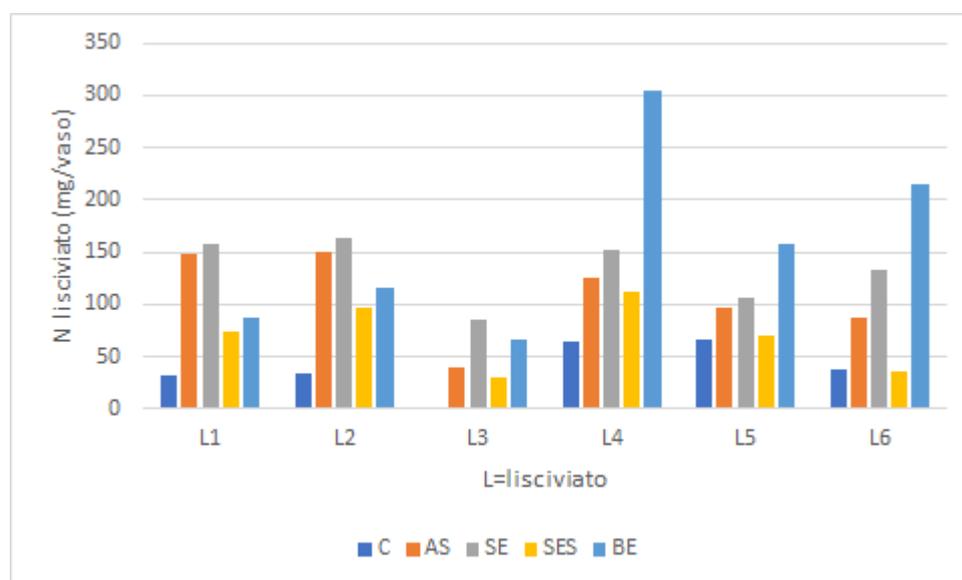


Figura 1. Quantità di N lisciviato ad ogni pioggia simulata.

Linea 3

I digestati da "scotta" (sostanza secca) studiati hanno presentato un contenuto di carbonio organico compreso tra 311 g kg⁻¹ e 384 g kg⁻¹ e di azoto organico tra 1.1 e 1.9 g kg⁻¹; la frazione di carbonio solubile in acqua (rapporto di estrazione 1:10, p/v) è risultata compresa tra il 5 e il 7 % del carbonio totale, di un ordine di grandezza più elevata quella dell'azoto solubile. I risultati ottenuti nei saggi condotti sul suolo hanno mostrato la risposta del pool microbico all'applicazione degli estratti acquosi dei digestati in esame, nelle quattro dosi prese in considerazione. L'attività respiratoria del microbiota suolo ha fatto riscontrare differenze statisticamente significative per l'evoluzione cumulativa di C-CO₂ alla sola dose di 1000 ppm del campione Scotta (co-digestione di scotta ed inoculo liquame bufalino), che ha mostrato un trend nettamente differente rispetto agli altri digestati (ino e S-100) per tutto il periodo di analisi (28 gg), mentre per il solo inoculo (ino) si è evidenziato un incremento dell'attività respiratoria cumulativa a partire dal 21 giorno di incubazione

alla dose di applicazione di 1000 ppm. Per gli altri campioni e dosi si è riscontrata una diminuzione rispetto al suolo di controllo non addizionato.

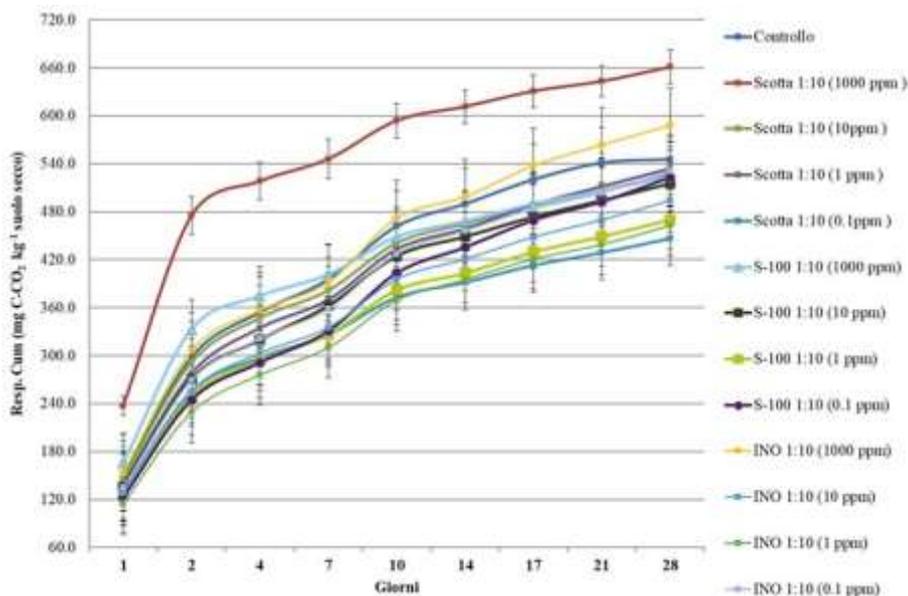


Figura 2. Andamento dell'attività respiratoria del suolo addizionato con quattro dosi della frazione solubile dei tre biodigestati studiati: evoluzione cumulativa di C-CO₂ in 28 giorni di incubazione. Le barre di errore corrispondono all'errore standard (N=3)

Gli effetti delle differenti applicazioni di digestato sull'attività microbica rilevata nei microcosmi sono stati testati per rilevanza statistica con ANOVA a una via. La respirazione basale oraria nelle tesi addizionate con la frazione solubile del digestato Scotta è risultata significativamente ($p < 0.05$) più bassa del suolo di controllo alle dosi di applicazione 1000, 1 e 0.1 ppm, così come il quoziente metabolico. Per quanto riguarda la dimensione del pool microbico, espressa come contenuto di C della biomassa microbica, non si sono registrate differenze statisticamente significative, eccetto per il biodigestato INO alla dose di 10 ppm con un drastico decremento ($p < 0.05$) della quantità di biomassa microbica e per il biodigestato S-100 alla dose di 0.1 ppm con un incremento statisticamente significativo ($p < 0.05$) rispetto al controllo non addizionato.

Dall'insieme dei dati si è evidenziato come la frazione solubile in acqua dei biodigestati induca effetti differenziati nell'attività fisiologica della microflora del suolo, in rapporto con la composizione e le dosi di applicazione. In particolare, il digestato a base di scotta e refluo bufalino ha mostrato attività nutrizionale con un trend nella respirazione cumulativa nettamente superiore rispetto a quello degli altri biodigestati, mentre non ha indotto particolari effetti di stimolazione per quanto riguarda la

respirazione basale oraria e il contenuto di biomassa, che sono risultati più bassi rispetto al controllo; un'attivazione della respirazione specifica, invece, è stata osservata alla dose di 10 ppm, con un incremento del quoziente metabolico qCO_2 , aspetto quest'ultimo da approfondire.

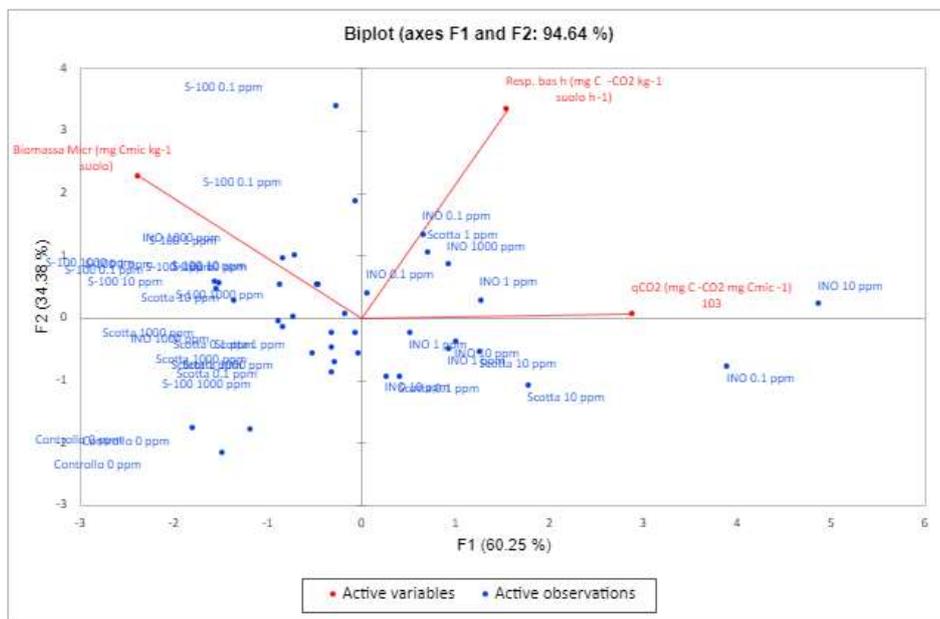


Figura 3. Biplot dell'analisi PCA, si evidenziano le variabili attive lungo le due componenti principali.

Schede risultati

Task 3.5. Valutazione dell'efficacia agronomica dei digestati anaerobici e loro valorizzazione per l'uso agricolo. Linee 1 e 2.

Titolo risultato: Fertilizzazione con biodigestato: prova in ambiente confinato su *Lolium*

Task 3.5. Valutazione dell'efficacia agronomica dei digestati anaerobici e loro valorizzazione per l'uso agricolo. Linea 2 di attività: Prove in microcosmo ed in vaso

Titolo risultato: Effetti di diversi digestati zootecnici sulla lisciviazione dell'azoto nel suolo

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Linea 2: Tra i risultati di progetto era prevista l'implementazione della CdP Agroener in collaborazione con la task task 5.9 - linea 2. Tuttavia, a seguito delle attività di aggiornamento dei



sistemi informatici del CREA (pacchetto Office 365) e delle relative piattaforme documentali adottate per la raccolta e condivisione risultati di progetto (Sharepoint), la CdP Agroener è stata temporaneamente sospesa per consentire la valutazione delle potenzialità ed efficacia delle nuove applicazioni informatiche (vedi relazione 3 anno task 5.9 - linea 2).

Le pubblicazioni e le schede risultato della task 3.5 sono disponibili sul sito SharePoint del progetto.

Linea 3: A causa della emergenza pandemica, parte dell'attività analitica è stata riprogrammata ed è attualmente in corso. Per quanto riguarda lo studio del livello di stabilizzazione della sostanza organica, a dicembre 2020 si è concluso il ripristino del termoanalizzatore simultaneo DSC/TG con un intervento di manutenzione da parte della ditta: le misure di caratterizzazione saranno concluse nel primo semestre 2021. Inoltre, a seguito di approvazione della variante di spesa richiesta (citata nella relazione 3° anno), l'analisi NMR della composizione della sostanza organica dei digestati in studio sarà effettuata esternamente a partire da aprile 2021 con conclusione prevista entro settembre c.a.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

6. Elenco pubblicazioni

G. Rossi*, U. Neri, B. Felici, A. Benedetti - Effects Of Different Zootechnical Digestates On Fertilization And Nitrogen Leaching. *Agrochimica*, Vol. LXIV - N. 3 July-September 2020, 239-251. DOI 10.12871/00021857201917. ISSN 0002-1857

Manfredini A., Chiariotti A., Santangelo E., Rossi E., Renzi G., Dell'Abate* M. T. Assessing the Biological Value of Soluble Organic Fractions from Tomato Pomace Digestates. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00361-4> (published on line 16 October 2020)

*corresponding author



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

Le attività della task 3.6 sono state concluse, come da cronoprogramma, e già rendicontate nella relazione sintetica del 3° anno.

1. Attività svolta

LINEA 1 di attività: conclusa

LINEA 2 di attività (Convenzione Di3A): conclusa



LINEA 3 di attività: conclusa

LINEA 4 di attività: conclusa

LINEA 5 di attività (Convenzione Di3A): conclusa

2. Risultati e deliverable

LINEA 1 di attività: conclusa

LINEA 2 di attività (Convenzione Di3A): conclusa

LINEA 3 di attività: conclusa

LINEA 4 di attività: conclusa

LINEA 5 di attività (Convenzione Di3A): conclusa

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

6. Elenco pubblicazioni

Torrisi, B., Allegra, M., Amenta, M., Gentile, F., Rapisarda, P., Fabroni*, S., Ferlito, F. (2021). Physico-chemical and multielemental traits of anaerobic digestate from Mediterranean agro-industrial wastes and assessment as fertiliser for citrus nurseries. *In progress*

Manetto G, Cerruto E, Papa R, Selvaggi R, Pecorino B. (2020). Performance evaluation of digestate spreading machines in vineyards and citrus orchards: preliminary trials, *Heliyon*, 6, e04257.

Valenti, F, Porto, S.M.C., Selvaggi, R., Pecorino, B. (2020). Co-digestion of by-products and agricultural residues: A bioeconomy perspective for a Mediterranean feedstock mixture. *Science of The Total Environment*, 700, 134440.



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.

Nella **task 4.1** è stato completato lo studio inerente la Linea 3 relativa alla produzione di oli microbici da idrolizzati di *A. donax*. Sono stati formulati vari terreni di crescita per le fermentazioni con 4 lieviti oleaginosi in confronto con *Lipomyces starkeyi*. È stata misurata la cinetica di crescita cellulare, di consumo degli zuccheri e di accumulo dei lipidi nelle condizioni ottimali per alcuni lieviti. Sono state determinate le rese di conversione da lignocellulosa a lipidi e la qualità dei "single cell oils" (SCO) ottenuti. Infine, è stata avviata la Linea 4 relativa alla divulgazione.

Nella **task 4.2** è stata messa a punto una tecnica basata sulla microscopia in fluorescenza per la valutazione della produzione di microgocce lipidiche nel citoplasma di lieviti selezionati nel corso della fermentazione di siero di latte. La tecnica consente il monitoraggio in tempo reale dell'andamento del processo di lipogenesi in funzione del controllo dei parametri fisiologici, riducendo i tempi ed i costi di analisi.

Nella **task 4.3** è proseguita l'attività sperimentale con olio di Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst): estratto e degommato presso il CREA-CI è stato additivato di una concentrazione ottimale di antiossidante THBQ, stabilita mediante saggi Rancimat eseguiti presso ISSI-SSOG. Analogo procedimento di estrazione, purificazione ed additivazione è stato applicato all'olio di cartamo. I due oli sono stati inviati per i test al banco prova del CREA-IT. Infine, sono stati messi a punto biosaggi su fagiolo mungo verde (*Vigna radiata*) per valutare l'effetto degli idrolizzati sulle radici e sono ad oggi in corso prove di messa a punto di biosaggi su mais in coltura areoponica.

Nella **task 4.4** sono stati ripetuti i test al banco prova con olio di cartamo ed olio di crambe forniti da CREA-CI (Task 4.3) come fluidi idraulici tramite il banco prova del CREA IT di Monterotondo. I risultati hanno evidenziato un ottimo comportamento di entrambi gli oli, come conseguenza dell'ottimizzazione della concentrazione di antiossidante rispetto ai test condotti nel terzo anno che avevano mostrato un rapido decadimento delle loro proprietà. Infine è stato effettuato un test analogo con olio di sansa di oliva additivato di antiossidante, il quale ha mostrato ottime proprietà come fluido idraulico, durante un ciclo di prova al banco di 560 h.



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 e referente per le diverse linee di attività: Stefania Galletti (CREA-AA)

Linea 1 - Pretrattamenti di biomasse lignocellulosiche

Linea 2 - Saccarificazione delle biomasse lignocellulosiche pretrattate

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

Linea 4 - Divulgazione

Abstract

Nel quarto anno di progetto è stato completato lo studio inerente la Linea 3, relativa alla produzione di oli microbici da idrolizzati di *A. donax*, ed avviata la Linea 4 relativa alla divulgazione. Sono stati formulati 6 terreni di crescita (2 idrolizzati a basso e alto tenore di polifenoli e lignina x 3 livelli di nutrienti) per le fermentazioni con 4 lieviti oleaginosi, *Rhodotorula glutinis*, *R. graminis*, *Rhodospiridiobolus azoricus*, *Trichosporon oleaginosus*, in confronto al più noto *Lipomyces starkeyi*. È stata misurata la cinetica di crescita cellulare, di consumo degli zuccheri e di accumulo dei lipidi nelle condizioni ottimali per alcuni lieviti. Sono state determinate le rese di conversione da lignocellulosa a lipidi e la qualità dei "single cell oils" (SCO) ottenuti. La resa di conversione in olio più alta è stata ottenuta con *T. oleaginosus*, la concentrazione intracellulare di lipidi più elevata con *L. starkeyi*, e la produzione iniziale di lipidi più alta con *R. azoricus*. Tutti gli SCO ottenuti da *A. donax* sono risultati idonei per la produzione di biodiesel (n° di iodio < 120). Infine, in base alle prove effettuate, è stato definito il protocollo per la produzione di lipidi da idrolizzato di *A. donax*.

1. Attività svolta

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

1) Prove di crescita dei diversi microrganismi oleaginosi in presenza di liquor. Verificata nel terzo anno di progetto l'idoneità dell'idrolizzato di *A. donax* per l'ottenimento di SCO da *Lipomyces starkeyi*, lievito oleaginoso di riferimento, sono stati acquisiti altri microrganismi oleaginosi, quali *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula graminis* (DBVPG 7021), *Rhodospiridiobolus azoricus* (DBVPG 4620), e *Trichosporon oleaginosus* (ATCC 20509), e sono state condotte prove preliminari di crescita su substrato zuccherino liquido semisintetico in presenza di diverse dosi (0, 20, 40, 60%) di frazione liquida derivata dal pretrattamento della biomassa lignocellulosica (liquor), al fine di evidenziare eventuali effetti di inibizione di questa frazione ricca in lignina e polifenoli.

2) Produzione dell'idrolizzato di *A. donax* e di medium di coltura per le prove di fermentazione. Come per *L. starkeyi*, l'idrolizzato è stato ottenuto utilizzando un mix enzimatico ad alta attività



specificata sia sulla frazione solida della biomassa di *A. donax* 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 6 medium di coltura: 2 idrolizzati (ad alto e basso tenore di polifenoli) X 3 livelli di nutrienti (nessuna aggiunta vs aggiunte 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 preparati, tramite un analizzatore degli elementi C, H e N (Leco, CHN Truspec).

4) Messa a punto del protocollo di estrazione dei lipidi. L'efficienza di estrazione dei lipidi dipende sia dai solventi scelti che dalla specie di lievito. Per un confronto tra specie diverse è stato necessario testare diverse strategie di estrazione ed individuare una procedura capace di garantire la massima efficienza di estrazione dell'olio indipendentemente dal tipo di microorganismo.

5) Prove di fermentazione. I lieviti sono stati allevati nei 6 terreni di crescita descritti sopra in beuta agitata (28°C 180 rpm, 120h), in confronto ad un terreno zuccherino di controllo contenente glucosio, al fine di valutare l'effetto della presenza di polifenoli sulla successiva crescita della biomassa microbica e sull'accumulo dei lipidi, e al fine di individuare le condizioni che massimizzano crescita e accumulo di lipidi per ciascuna delle 5 specie testate.

6) Determinazione della qualità degli oli. È stata analizzata la composizione degli oli microbici ottenuti mediante transesterificazione ed analisi gas cromatografica. Inoltre, è stata verificata l'idoneità degli oli per la filiera del biodiesel (numero di iodio).

7) Cinetiche di crescita. Individuato il terreno di crescita ottimale per i lieviti più produttivi (*T. oleaginosus*, *R. azoricus* e *L. starkeyi*), sono state allestite 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.

Linea 4 – Divulgazione

I risultati fin qui ottenuti sono stati pubblicati sui Proceedings del Convegno EUBCE 2019 e 2020 e su una rivista scientifica ISI (si veda al punto n. 6 Elenco pubblicazioni)

2. Risultati e deliverable



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

1) Prove di crescita di diversi microrganismi oleaginosi in presenza di liquor. Tutti i lieviti sono stati in grado di crescere in presenza del liquor residuo del pretrattamento e sono risultati fortemente inibiti solo a concentrazioni relativamente alte (60% vol/vol). Ad eccezione di *L. starkeyi*, i lieviti testati hanno inoltre mostrato capacità di ridurre significativamente la concentrazione di polifenoli nel medium di crescita. Poiché un'inibizione parziale della crescita può riflettersi in una riduzione dell'accumulo di lipidi, si conferma che è necessario allontanare almeno parte del liquor al termine del pretrattamento, prima dell'idrolisi delle fibre e della successiva fermentazione degli idrolizzati, mediante semplice filtrazione a vuoto (fino all'82% del liquor può essere rimosso).

2) Produzione dell'idrolizzato di *A. donax* e di medium di coltura per le prove di fermentazione. L'applicazione dei protocolli di pretrattamento e saccarificazione della biomassa di *A. donax* definiti in precedenza hanno permesso di produrre i terreni di coltura con un tenore di zuccheri di 30 g/L di glucosio equivalente, nei volumi necessari per le numerose prove di fermentazione (litri).

3) Determinazione del rapporto C/N degli idrolizzati e dei medium formulati. I rapporti C/N sono risultati analoghi a quelli osservati precedentemente nelle prove con *L. starkeyi*.

4) Messa a punto del protocollo di estrazione dei lipidi. Dal confronto di diversi metodi è stata individuata la procedura ottimale di estrazione con solventi, descritta più avanti nel protocollo.

5) Prove di fermentazione in beuta agitata. La resa massima di olio è stata osservata con *T. oleaginosus* allevato su terreno con livello intermedio di composti azotati e formulato a partire da idrolizzato di fibra pretrattata ma non lavata. La percentuale di lipidi in queste condizioni è risultata intorno al 50% in peso della biomassa secca, mentre la resa complessiva del processo di conversione - dalla biomassa lignocellulosica in input ai lipidi - è risultata superiore al 9% (g lipidi/g *A. donax* in input). Solo *L. starkeyi* è stato in grado di raggiungere elevate concentrazioni cellulari di lipidi mantenendo elevate rese di conversione su terreni minimi ad altissimo C/N (191).

Le prove hanno confermato quanto osservato in precedenza per *L. starkeyi* e cioè che l'allontanamento parziale del liquor per filtrazione prima dell'idrolisi è sufficiente a rimuovere gli inibitori e non pregiudica la resa in olio, quindi non risulta necessario il lavaggio della fibra pretrattata. Questo consente di semplificare il processo e di ridurre i residui. Il livello ottimale di nutrienti azotati è invece risultato specie-specifico.

È stato quindi definito il seguente protocollo per l'ottenimento di lipidi con i lieviti selezionati a partire da idrolizzato di *A. donax* (D.4.1.3):

1. Diluizione dell'idrolizzato di *A. donax* (ottenuto come da deliverable D.4.1.2) fino alla concentrazione di 30 g/L di zuccheri (glucosio equivalente secondo metodo DNS) pH 6.6

(tamponi fosfato 5 g/L finale,) e aggiunta di minerali in tracce (g/L finali): $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ (0.6); $CaCl_2$ (0.1); KH_2PO_4 (5); $CoCl_2 \cdot 6 H_2O$ ($2 \cdot 10^{-3}$); $MnSO_4$ ($1.6 \cdot 10^{-3}$); $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$ ($3.45 \cdot 10^{-3}$); $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ ($5 \cdot 10^{-3}$) e composti azotati, tutti sterilizzati per filtrazione, come segue (g/L finali): *R. azoricus*, *T. oleaginosus*, *R. graminis* ($(NH_4)_2SO_4$, 0.2; estratto di lievito, 0.6; peptone, 0.2), *R. glutinis* ($(NH_4)_2SO_4$, 0.6; estratto di lievito, 0.6; peptone, 0.6), *L. starkeyi* (nessuna aggiunta).

2. Preparazione dell'inoculo con cellule lavate da coltura liquida in PDB (24h, 28 °C, 180 rpm).
3. Fermentazione in beuta agitata (Densità ottica iniziale a 660 nm 0.1; 120h, 28 °C, 180 rpm) garantendo scambi gassosi e sterilità.
4. Recupero delle cellule mediante centrifugazione a freddo (5°C, 4500 rpm, 10 min).
5. Lavaggio delle cellule con acqua, seguito da centrifugazione nelle stesse condizioni ed essiccazione delle cellule in stufa ad 80°C
6. Risospensione delle cellule essiccate in HCl 2M (12,5 mL di acido per g di biomassa secca) e lisi in bagno caldo (80 °C, 2 h).
7. Estrazione della sospensione acida di lisati cellulari (4 cicli) con miscela di esano:isopropanolo (3:2). Mescolamento vigoroso (vortex) e recupero della fase organica mediante breve centrifugazione (20°C, 4500 rpm, 5 minuti).
8. Allontanamento del solvente in bagno a caldo (60 °C) mediante evaporatore rotante.
9. Essiccazione sotto vuoto e quantificazione gravimetrica dei lipidi prodotti

6) Determinazione della qualità degli oli. La composizione in acidi grassi è risultata influenzata maggiormente dal tipo di lievito che dal tipo di substrato ed è risultata simile a quella degli oli vegetali. Per tutti i lieviti sono risultati prevalenti l'acido oleico (42-51%) e palmitico (25%-42%), seguiti da linoleico (3-21%) e stearico (3-10%). *R. graminis* ha mostrato il maggior valore di acido oleico, mentre *L. starkeyi* il più alto valore di acido palmitico. *L. starkeyi* ha mostrato anche il minor valore di acido linoleico (3%), mentre *R. azoricus* il maggiore (21%). In generale l'acido miristico era poco rappresentato (0.3-2.7%), come l'arachico (<1%). Altri acidi grassi sono stati determinati solo in tracce.

Il numero di iodio è risultato pari a 78, 76, 45, 85 e 63 rispettivamente per *R. glutinis*, *R. graminis*, *L. starkeyi*, *R. azoricus* e *T. oleaginosus*. Quindi tutti gli SCO ottenuti da *A. donax* sono idonei per la produzione di biodiesel (<120).

7) Cinetiche di crescita. *T. oleaginosus* ha mostrato la crescita iniziale più veloce, *R. azoricus* ha mostrato la più alta produzione di lipidi nelle fasi iniziali, mentre *L. starkeyi* ha mostrato la più alta concentrazione intracellulare di lipidi in ogni fase.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate



Le prove preliminari con funghi filamentosi quali ad esempio *Mortierella isabellina* hanno dato risultati poco soddisfacenti, pertanto si prevede eventualmente di effettuare ulteriori test nel periodo successivo.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Valutazione del potenziale di metanazione e/o di produzione di idrogeno a partire da *A. donax* pre-trattata/idrolizzata in collaborazione con Rosa Marchetti del CREA-ZA.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Nessuna attività di formazione, causa pandemia. Sono state prodotte 3 pubblicazioni scientifiche come da elenco seguente.

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), 1693-1701.

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? (Conference paper), *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*, Pp. 1421-1423.

Vasmara C., Marchetti R., Cianchetta S., Galletti S., Ceotto E. (2020). Enhancing methane yield from giant reed (*Arundo donax* L.) through thermoalkaline pre-treatment and co-digestion with pig slurry (Conference Paper), *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*, Pp. 481-483.

Task 4.2 SCO (Single Cell Oils) da scarti agroalimentari per biodiesel e biolubrificanti

Task leader: Laura Bardi (CREA-IT)

Abstract

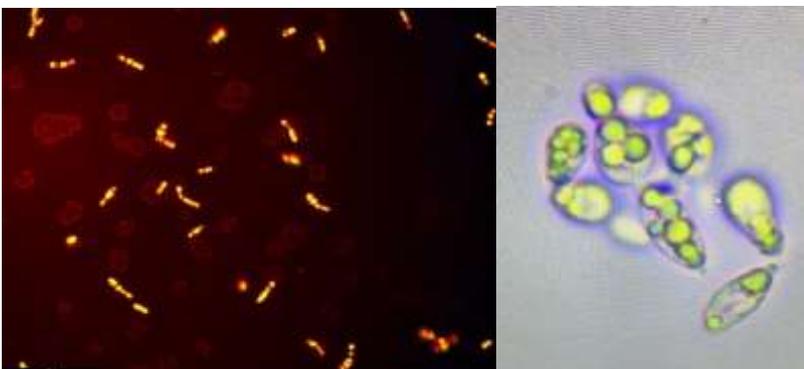
È stata messa a punto la tecnica di caratterizzazione mediante microscopia in fluorescenza della produzione di guttule lipidiche nel citoplasma delle cellule dei lieviti *Trichosporon oleaginosus* e *Lipomyces starkeyi*, precedentemente selezionati quali i migliori produttori di lipidi in crescita su siero di latte, allo scopo di monitorarne in tempo reale l'efficienza nel corso delle fermentazioni in batch in condizioni controllate.

1. Attività svolta

Campioni di cellule di lieviti sono stati prelevati nel corso delle fermentazioni di siero di latte condotte in batch a 28°C in condizioni aerobiche. Sono state effettuate osservazioni *in vivo* in microscopia ottica mediante microscopio Leica DM2000 LED. Le immagini sono state acquisite tramite Leica DFC450 C Digital Camera ed elaborate tramite software LAS X allo scopo di determinare le dimensioni delle cellule e quantificarne il contenuto in lipidi anche con l'ausilio della marcatura con fluorocromo Nile Red.

2. Risultati e deliverable

La tecnica microscopica messa a punto permette, grazie alla rapidità ed immediatezza del dato ottenuto, di monitorare in tempo reale l'andamento dell'accumulo di lipidi di riserva nel citoplasma delle cellule nel corso delle fermentazioni, e pertanto di modulare il controllo dei parametri fisiologici durante le varie fasi della crescita in funzione dell'obiettivo di massimizzarne la resa in lipidi. Tale tecnica permette pertanto di ridurre significativamente i tempi ed i costi di analisi, e di valutare ed applicare con immediatezza gli interventi finalizzati ad ottimizzare la performance.



Cellule di *Trichosporon oleaginosus* con accumulo di guttule lipidiche nel citoplasma



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

- 3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate**
- 4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive**
- 5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione**
- 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 contenuto di acido erucico e alto contenuto di acido 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.ssa Liliana Folegatti (consulente ISSI-SSOG)

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

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

Abstract

Nel quarto anno di attività l'olio di Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), estratto e degommato presso il CREA-CI è stato additivato di una concentrazione ottimale di antiossidante THBQ, stabilita mediante saggi Rancimat eseguiti presso ISSI-SSOG. L'olio è stato quindi testato nel banco oli presso il CREA-IT per la valutazione delle sue prestazioni come fluido idraulico. Le prove hanno dato buoni risultati in termini di prestazione tecnica e stabilità chimico-fisica dell'olio nel circuito e sono stati pubblicati su una rivista internazionale. Le stesse prove sono state quindi condotte anche su olio di cartamo, che è stato estratto presso l'azienda MIG, degommato presso i laboratori del CREA-CI, caratterizzato presso ISSI-SSOG, additivato con antiossidante e spedito a CREA-IT per le prove su banco. Anche con olio di cartamo si sono ottenuti buoni risultati che sono tuttora in fase di elaborazione. Parallelamente sono proseguite le prove di valutazione di attività biostimolante su pianta di idrolizzati proteici ottenuti dai pannelli residui provenienti dalla disoleazione dei due semi di Crambe e Cartamo. Sono stati messi a punto biosaggi su fagiolo mungo verde (*Vigna radiata*) per valutare l'effetto degli idrolizzati sulle radici e sono ad oggi in corso prove di messa a punto di biosaggi su mais in coltura areonica.

1. Attività svolta

Attività 1

1. Seconda prova su circuito idraulico con olio di Crambe degommato e additivato

Nel secondo e terzo anno di attività gli oli di Crambe e Cartamo ottenuti per estrazione meccanica, degommati e additivati di una bassa concentrazione di antiossidante, 0.25 g/kg di tert-butyl hydroquinone (TBHQ), erano stati testati in banco di prova e sebbene avessero mostrato prestazioni



tecniche adeguate all'uso previsto, avevano riportato un aumento di alcuni parametri chimico-fisici, indici di degradazione ossidativa. Mediante saggi Rancimat eseguiti a 120°C era stata quindi determinata la dose ottimale di TBHQ necessaria per aumentare la stabilità ossidativa degli oli. Per l'olio di Crambe era stata stabilita una quantità ottimale di TBHQ pari a 2 g/kg. L'olio di Crambe degommato e additivato della nuova concentrazione di TBHQ era stato quindi inviato a CREA-IT per una seconda prova di banco, effettuata nel quarto anno di attività. Durante la prova sono stati raccolti campioni a intervalli di tempo prestabiliti analizzati presso ISSI-SSOG per valutare l'andamento della prova, con particolare riferimento alla contaminazione metallica e all'assorbimento dell'umidità.

2. Seconda prova con olio di Cartamo: estrazione, degommazione, additivazione e prova su circuito idraulico

Analogamente si è proseguito nel quarto anno di attività per quel che riguarda l'olio di Cartamo. L'olio è stato estratto a febbraio 2020, da semi di cartamo forniti da CREA-CI, presso la ditta MIG, mediante spremitura a caldo alimentando il seme intero nel cuocitore mantenuto alla temperatura di 80°C. L'olio è stato degommato presso CREA-CI secondo la procedura descritta nelle attività del secondo anno, utilizzando una soluzione acquosa di acido citrico, seguita da separazione del solido formatosi, lavaggio della fase oleosa e filtrazione finale su carta/cotone idrofilo per la brillantatura. Prima del trasferimento al laboratorio CREA-IT per le prove di funzionalità l'olio è stato filtrato mediante filtro pressa con carta a porosità 7 µm. L'olio è stato caratterizzato presso ISSI-SSOG e la concentrazione ottimale di TBHQ è stata stabilita mediante saggi Rancimat (120°C) effettuati su olio di Cartamo degommato. L'olio degommato e filtrato è stato inviato a CREA-IT, assieme alla quantità di antiossidante da aggiungere prima della prova finale di banco. Durante la prova sono stati raccolti campioni a intervalli di tempo prestabiliti analizzati presso ISSI-SSOG come era stato fatto per l'olio di Crambe.

Attività 2

1. Caratterizzazione di idrolizzati proteici da pannelli disoleati

I tre idrolizzati proteici ottenuti mediante idrolisi enzimatica dai pannelli residui da estrazione di olio da semi di Crambe (estrazione a *caldo* e a *freddo*) e Cartamo (estrazione solo a *caldo*), sono stati caratterizzati per il contenuto in amino acidi liberi, fenoli totali e attività anti-radicalica utilizzando il radicale 1,1-difenil-2-picrilidrazile (DPPH) nel saggio e confrontati con estratti di pannelli non idrolizzati.

2. Biosaggi di attività biostimolante su radici di fagiolo mungo verde



I tre idrolizzati sono stati testati mediante biosaggi su piantine di fagiolo mungo verde (*Vigna radiata*), per valutare il loro effetto biostimolante sulle radici. Dopo germinazione al buio dei semi, a 25°C, in vermiculite, per tre giorni, le piantine sono state trasferite in camera di crescita e lasciate 7 giorni, a 24°C, 50% UR (fotoperiodo 16/8 h). Al termine dei sette giorni di incubazione le piantine sono state rimosse dalla vermiculite e la radice è stata recisa, a 3 cm sotto il nodo cotiledonare. Le talee così ottenute sono state trasferite in vials contenenti apposite soluzioni acquose dei prodotti da testare (ca 9 ml) a diverse concentrazioni e incubate in camera di crescita per due giorni. Dopo due giorni le soluzioni sono state sostituite con soluzione Hoagland o acqua e lasciate in camera di crescita per altri 8 giorni. Al termine della prova è stato valutato l'effetto del trattamento su numero, lunghezza, peso fresco e peso secco delle radici. Sono state testati gli idrolizzati alle concentrazioni di 1-10-100-1000 ppm, in soluzione Hoagland modificata. Tre gruppi di controllo, costituiti da 1) acqua, 2) soluzione nutritiva Hoagland e 3) soluzione nutritiva Hoagland con KNO₃ (a concentrazione pari alla concentrazione di azoto più alta negli idrolizzati), sono stati utilizzati come confronto.

3. Biosaggi di attività biostimolante su piante di mais cresciute in areoponica

Biosaggi in areoponica sono tuttora in fase di messa a punto. Semi di mais sono stati messi in acqua distillata per una notte e successivamente fatti germogliare su carta, per tre giorni a 25°C (ca 1000 semi). I germogli, lunghi circa 2 cm, sono stati poi trasferiti in vasetti, componenti del sistema in areoponica (3 per vasetto, per 20 vasetti in ogni vasca), contenente argilla lavata e sterilizzata. I tempi e le dosi di somministrazione degli idrolizzati sono in fase di sperimentazione.

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. Test su circuito idraulico con olio di crambe

Il test su circuito idraulico eseguito utilizzando olio di Crambe additivato di antiossidante TBHQ pari a 2 g/kg, ha permesso di ottenere buoni risultati in termini di prestazione tecnica e stabilità chimico-fisica, risultati migliori rispetto alla prova effettuata il terzo anno in cui era stata utilizzata una quantità di antiossidante minore (0.25 g/kg). Tutti i parametri riferiti alla stabilità chimico-fisica (viscosità cinematica, indice di viscosità, numero di perossidi e acidità), e tecnica (pressione nel circuito, temperatura e portata dell'olio, potenza idraulica) dell'olio sono rimasti costanti per tutta la durata dell'intero ciclo di lavoro, fino a 290 ore. Anche l'analisi dei metalli non ha evidenziato contaminazioni importanti nell'olio e ha escluso un effetto corrosivo dell'olio testato sui componenti del circuito. Sui campioni prelevati durante la prova è stato determinato anche il tempo di induzione di Rancimat e la concentrazione residua di antiossidante TBHQ. Si osserva un



andamento pressoché parallelo di calo delle due proprietà misurate, a dimostrazione dell'efficacia protettiva dell'antiossidante. Dai risultati si evince anche che l'olio al termine della prova, a 290 ore, fosse ormai prossimo al fine vita.

I risultati sono stati elaborati ed è stato prodotto un manoscritto che è stato inviato alla rivista internazionale Biomass Conversion and Biorefinery (Springer) a ottobre 2020 e accettato per la pubblicazione a dicembre 2020.

2. Seconda prova con olio di Cartamo: estrazione, degommazione, additivazione e prova su circuito idraulico

L'olio di Cartamo è stato estratto nuovamente a partire da 150 kg di semi, presso la ditta MIG (estrazione meccanica a caldo), secondo la procedura seguita il secondo anno. L'olio ottenuto è stato successivamente degommato, per abbassare il contenuto di P e Ca, e filtrato su carta. L'acidità è risultata essere pari a 1.13% (espressa come acido oleico) e il numero dei perossidi pari a 12.9 meqO₂/kg. Il saggio di Rancimat ha permesso di stabilire la dose ottimale di antiossidante THBQ da aggiungere all'olio di cartamo prima della prova su banco. È stata stabilita una concentrazione finale di 3 g/kg, che ha permesso di ottenere un tempo di induzione del Rancimat di 18.78 ore, misurato alla temperatura di 120°C, paragonabile al valore ottenuto con olio di Crambe additivato con 2g/kg (19.13 ore), utilizzato nella seconda prova finale su circuito. Circa 29 L di olio di Cartamo sono stati quindi inviati a CREA-IT per la prova su circuito idraulico. Come per l'olio di Crambe la maggiore concentrazione di antiossidante ha permesso di ottenere buone prestazioni tecniche dell'olio ed è stato possibile estendere il tempo di osservazione a 360 ore. Anche in questo caso durante la prova è stato osservato un calo della concentrazione del THBQ e un parallelo abbassamento del RIT nei campioni di olio prelevati. I risultati sono attualmente in fase di elaborazione.

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.

3. Caratterizzazione di idrolizzati proteici da pannelli disoleati

Gli idrolizzati sono stati caratterizzati per il contenuto in aminoacidi liberi, pari a 4.8 e 4.4% (p/p) per gli idrolizzati ottenuti rispettivamente da Crambe estratto a *caldo* e a *freddo* e 7.0% da cartamo. Il contenuto in fenoli è risultato essere più alto negli idrolizzati (17-18 µg GA/mg) rispetto al pannello di partenza (5-7 µg GA/mg) e maggiore per l'idrolizzato di Cartamo e Crambe *caldo*. L'idrolizzato ottenuto da Crambe *freddo* ha invece mostrato una maggiore attività antiradicalica (rispetto agli altri due idrolizzati) presumibilmente per la presenza di altri composti ad azione antiossidante, diversi dai composti fenolici. Questi ultimi dati sono da confermare e andranno confrontati con saggi di

attività antiradicalica effettuati utilizzando ABTS [acido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonico)].

4. Biosaggi di attività biostimolante su radici di fagiolo mungo verde

I saggi hanno evidenziato un effetto simile per i tre idrolizzati testati e hanno determinato un effetto concentrazione-dipendente di accorciamento delle radici e aumento del numero delle stesse, effetto evidente in modo significativo alla concentrazione più alta di idrolizzato, pari a 1000 ppm. L'effetto non è probabilmente ascrivibile al solo contenuto di azoto, in quanto il controllo con KNO_3 , alla stessa concentrazione di N dell'idrolizzato, non ha dato risultati sovrapponibili. Di seguito vengono riportati i due grafici che illustrano i risultati ottenuti con idrolizzato di Cartamo, come esempio.

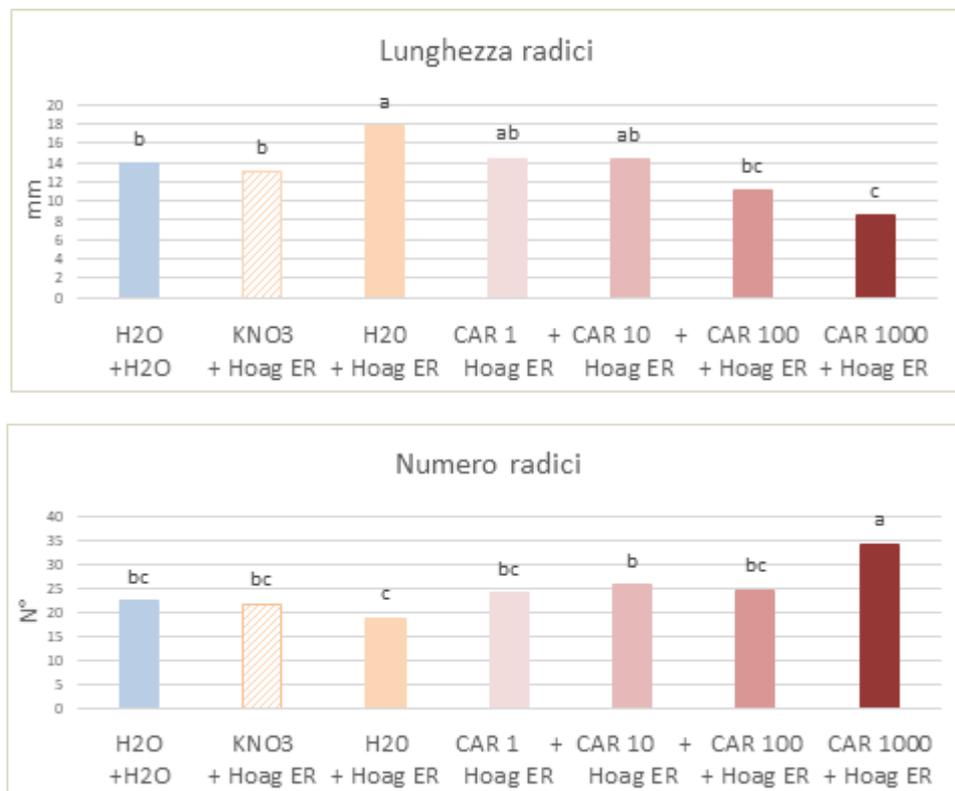


Fig. 1. Trattamento di talee di fagiolo mungo verde con idrolizzato di pannello di Cartamo a diverse concentrazioni (1-1000 ppm) in soluzione nutritiva Hoagland modificata. Acqua, soluzione Hoagland e KNO_3 in soluzione Hoagland rappresentano i controlli.



Ulteriori indagini sono necessari per verificare se l'azione osservata sulle radici possa essere di tipo auxino-simile e che possa avere un effetto biostimolante su tutta la pianta, in un sistema più vicino alla coltivazione in vaso/campo.

5. Biosaggi di attività biostimolante su piante di mais cresciute in areoponica

Per evidenziare un effetto biostimolante su tutta la pianta e non solo sull'apparato radicale, si è deciso di testare gli idrolizzati in un sistema più vicino alle condizioni reali, ma allo stesso tempo un sistema che prevedesse condizioni di crescita controllate, soprattutto per quel che riguarda l'apporto di nutrienti alla pianta. Si è quindi utilizzato un sistema di crescita in areoponica, dove le radici della pianta, soprattutto nella fase iniziale, vengono nebulizzate con soluzione acquosa contenenti i nutrienti necessari e/o i composti di cui si vuole valutare l'azione biostimolante, a concentrazione nota. Si è scelto di utilizzare semi di mais, pianta molto utilizzata per questo tipo di indagini. Sono in corso prove per determinare le concentrazioni dei composti da testare, i tempi di applicazione e i tempi di campionamento. Da prove preliminari si è visto, ad esempio, che la concentrazione degli idrolizzati a 1000 ppm risulta essere troppo alta e porta alla formazione in poco tempo di una melma che rischia, in un sistema semi-statico come quello areoponico, di soffocare le radici della pianta. Si è deciso quindi di proseguire considerando solo concentrazioni più basse (10-100 ppm). Verrà determinato l'effetto dei trattamenti sia sulla parte radicale della pianta che su quella aerea (peso fresco, peso secco, lunghezza/numero radici). Si prevede di valutare l'effetto degli idrolizzati anche in presenza di stress abiotici, in particolare in presenza di sale. Si stanno conducendo saggi preliminari per stabilire la concentrazione di NaCl da utilizzare nel saggio. In questo caso, se si otterranno effetti sulla crescita della pianta (parte aerea e/o parte radicale) si indagherà l'effetto dei trattamenti anche su altri parametri della pianta come il contenuto in clorofilla, fenoli, prolina o enzimi ad azione antiossidante (Ertani et al., 2012, Plant and Soil), in grado di evidenziare un eventuale effetto protettivo dei composti nei confronti dello stress applicato.

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

I risultati riguardanti le prove con olio di Crambe sono stati elaborati ed è stato prodotto un manoscritto che è stato inviato alla rivista internazionale Biomass Conversion and Biorefinery (Springer) a ottobre 2020 e accettato per la pubblicazione a dicembre 2020 (vedi sotto).

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Non sono stati registrati scostamenti con quanto previsto nelle attività del progetto, se non qualche rallentamento dovuto all'attuale situazione sanitaria.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Al momento non sono richieste attività integrative

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

6. Elenco pubblicazioni

Roberto Fanigliulo, Daniele Pochi, Paolo Bondioli, Renato Grilli, Laura Fornaciari, Liliana Folegatti, Lorena Malaguti, Roberto Matteo, Luisa Ugolini, Luca Lazzeri. Semi-refined *Crambe abyssinica* (Hochst. EX R.E.Fr.) oil as a biobased hydraulic fluid for agricultural applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01213->



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).

È stata completata la seconda fase dei test con olio di crambe ed olio di cartamo. Dopo i risultati deludenti del primo anno, è stato effettuato uno studio (test Rancimat eseguito dal laboratorio INNVHUB) mirato ad individuare la migliore concentrazione di antiossidante da aggiungere all'olio fornito dal CREA-CI (task 4.3). Quindi sono state ripetute le prove al banco prova per verificarne il comportamento

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 olio di sansa di oliva fornito da ASSITOL ed additivato di antiossidante, sempre per verificarne il comportamento come fluido idraulico.

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 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)

Sono proseguiti i test al banco prova con oli vegetali come fluidi idraulici. Dopo gli ottimi risultati forniti dall'olio di crambe additivato con antiossidante in un test di oltre 300 h senza che siano state rilevate variazioni sostanziali dei parametri, la sperimentazione è proseguita nello stesso modo con:



- **Olio di crambe** (secondo test) filtrato, degommato ed additivato con antiossidante (TBHQ) secondo quanto descritto nella Task 4.3 - Durata del test: circa 300 h. Risultati: non si sono rilevate variazioni apprezzabili nelle prestazioni tecniche e nei principali parametri caratteristici. Tuttavia, l'analisi del campione prelevato a fine test non ha rilevato residui di antiossidante, che si era quindi totalmente consumato. Ciò fa pensare che il proseguimento del test avrebbe innescato le prime reazioni ossidative.
- **olio di cartamo** (secondo test) filtrato, degommato ed additivato con antiossidante (TBHQ) secondo quanto descritto nella Task 4.3 - Durata del test: 360 h. Risultati: Dopo 250 h di prova inizia processo di alterazione dell'olio: incremento di viscosità da 35,2 cSt a 47,29 cSt; aumento del numero di perossidi (ossidazione primaria) da 16,98 a 275,32.
- **olio di sansa di oliva** (additivato con lo stesso antiossidante). Il test è stato condotto in collaborazione con INNOVHUB e ASSITOL. Durata del test: 530 h. Risultati: olio inalterato nei principali parametri funzionali (viscosità, numero di perossidi, TAN). All'analisi risultava una quantità residua di antiossidante teoricamente sufficiente per ulteriori 400 h al banco prova).

Le prestazioni dell'impianto di prova azionato con i suddetti oli sono rimaste invariate per tutta la durata del test. Non si è rilevata presenza di contaminati o elementi derivanti da usura.

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

D. Pochi, R. Fanigliulo, C. Bisaglia, M. Cutini, R. Grilli, M. Betto, L. Fornaciari (2020). *Vegetable-based oil as UTTO fluid for agricultural tractors applications*. Applied Engineering in Agriculture, Vol. 36(1): 79-88, © 2020 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542 <https://doi.org/10.13031/aea.13488>.

D. Pochi, R. Fanigliulo, C. Bisaglia, M. Cutini, R. Grilli, L. Fornaciari, M. Betto, L. Pari, F. Gallucci, L. Capuzzi, A. Sagliano, F. Palmieri, G. Chiatti (2020). *Test Rig and Method for Comparative Evaluation of Conventional and Bio-Based Hydraulic Fluids and Lubricants for Agricultural Transmissions*. Sustainability 2020, 12, 8564; doi:10.3390/su12208564, www.mdpi.com/journal/sustainability

R. Fanigliulo, D. Pochi, P. Bondioli, R. Grilli, L. Fornaciari, L. Folegatti, L. Malaguti, R. Matteo, L. Ugolini, L. Lazzeri (2020). *Semi-refined Crambe abyssinica (Hochst. EX R.E.Fr.) oil as a biobased*



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

hydraulic fluid for agricultural applications. Biomass Conversion and Biorefinery.
<https://doi.org/10.1007/s13399-020-0121>



WP 5: Realizzazione impianti sperimentali, dimostrazioni e divulgazione.

WP leader: Francesco Gallucci

La condizione climatica attuale, caratterizzata da enormi problematiche ambientali che assumono entità sempre maggiore, come evidenziato durante l'ultimo summit dell'ONU di Madrid (dicembre 2019), richiede una maggiore attenzione da parte di tutti gli Stati. L'emissione incontrollata dei gas serra sta innalzando le temperature medie mondiali con un aumento stimato di $\approx 2^{\circ}\text{C}$ che, come noto, rappresenta il punto di non ritorno ed implicherebbe effetti devastanti sugli ecosistemi. L'attenzione verso la riduzione delle emissioni ed in particolar modo del particolato atmosferico (PM), è regolamentata dalla normativa di riferimento per la qualità dell'aria europea e italiana (Direttiva 2008/50/CE recepita in Italia con il Dlgs. 13 agosto 2010, n.155), che prevede per il PM delle fasi di attuazione con valori limite da rispettare. L'Organizzazione Mondiale della Sanità suggerisce dei valori soglia per l'esposizione della popolazione al PM_{2.5} pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ su base annuale e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ su base giornaliera. 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. Di recente la Corte di giustizia Ue ha condannato l'Italia per aver violato "in maniera sistematica e continuativa" i valori massimi di concentrazione di PM₁₀ nell'atmosfera, in diverse zone italiane (tra cui: Pianura Padana, agglomerati urbani di Milano, Roma, Torino, Padova, Verona), a partire dal 2008-2009 fino a oggi. Con queste ripetute violazioni, il nostro Paese non ha rispettato la direttiva 2008/50 relativa alla qualità dell'aria in Europa. Un'altra procedura d'infrazione ancora in atto nei confronti dell'Italia, riguarda il superamento dei valori di emissioni anche del particolato più fine (PM_{2,5}).

C'è 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 più sufficienti. L'incentivazione per l'impiego delle biomasse per la produzione di energia potrebbe sopperire, almeno in parte, alla riduzione di utilizzo dei combustibili fossili e creare nuove opportunità lavorative nonché aumentare la competitività delle zone rurali. È anche per queste ragioni che negli passati sia a livello europeo e sia a livello dei singoli Stati membri, sono state approvate iniziative legislative dal CIP6 dal 1992, passando per i certificati verdi nel 1999 fino al DM del 18 dicembre 2008 (Con la tariffa omnicomprensiva $0.28\text{€}/\text{kWh}_{\text{E}}$ per impianti FER fino a un MW) che ha dato un deciso impulso al diffondersi degli impianti alimentati a biomasse. Tuttavia, nell'ultimo decennio, a livello Nazionale, la produzione di EE da biomasse agricole ha subito una battuta d'arresto a causa della diminuzione (D.M. 28 del 6 luglio 2012) e della successiva cancellazione degli incentivi (2016). È auspicabile quindi, prevedere nuove politiche e misure di sostegno alla produzione di EE da impianti alimentati a biomasse agroforestali, tenuto conto della capacità delle biomasse di mitigare gli effetti del cambiamento climatico.



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Obiettivo generale del WP è quello di realizzare impianti sperimentali, in particolare lo sviluppo di una microfiera di autoconsumo che utilizzano biomasse residuali, come ad es. le potature o biomasse derivanti dalla manutenzione boschiva, utilizzate sia nelle 2 caldaie di diversa potenza, rispettivamente da 350 kW_{th} e 80 kW_{th}, sia nei 2 gassificatori rispettivamente a letto fisso down draft e a letto fluidizzato, presenti nel centro sperimentale del CREA-IT. Inoltre, nell'ottica di favorire la green e la circular economy altre attività si focalizzate sull'utilizzo di biomasse contaminate utilizzate come fitorimedio. Il centro dimostrativo è altresì attrezzato (laboratorio LASER-B) per consentire il monitoraggio e il controllo delle emissioni gassose al camino, tematica che riveste un ruolo sempre più rilevante anche alla luce delle procedure di infrazione della UE nei confronti dell'Italia e del nuovo quadro normativo in tema di emissioni e certificazioni dei generatori di calore alimentati a biomasse solide. Alla luce di quanto su esposto, trova grande interesse nel WP la valutazione dell'impatto ambientale che hanno le emissioni dovute a processi di conversione energetica delle biomasse e, in maniera più approfondita, il loro contributo nella composizione del particolato atmosferico (PM). Infatti, è universalmente riconosciuta la presenza di alcuni zuccheri nel PM riconducibili esclusivamente al processo di combustione della biomassa e perciò definiti marcatori. Tali zuccheri, tra cui il Levoglucosano, sono spesso osservati nelle centraline di monitoraggio atmosferico imputando alle centrali a biomassa di essere sorgenti emissive dal forte impatto atmosferico. In realtà tali zuccheri marcatori, sono originati anche da altri fenomeni (incendi boschivi, utilizzo di camini domestici, combustione delle stoppie e potature –open burning–) che portano a sovrastimare il PM generato da caldaie a biomasse. I fenomeni descritti sono ovviamente privi di sistemi di abbattimento e quindi portano a sovrastimare la quantità di PM generato dall'utilizzo di caldaie a biomasse. Altre attività inerenti al WP comprendono lo studio di 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, Angelo del Giudice

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

L'attività sviluppata in riferimento alle tre Linee di ricerca è riassunta come segue:

Linea 1. È proseguito il monitoraggio delle piantagioni *short rotation coppices* (SRC) e *medium rotation coppices* (MRC) realizzate a partire dal 2017 e delle piantagioni pregresse presenti all'interno dell'Azienda del CREA-IT, oltre alle piantagioni realizzate in collaborazione con il Task 2.4, presso l'azienda del CREA-FL, sede di Roma-Casalotti. È stato monitorato, in termini tecnici ed economici, il taglio meccanizzato, con impiego di macchina munita di cesoia, di circa 5000 m² di SRC invecchiati con piante in piedi di 8 e 11 anni. È stato effettuato un confronto in termini di prestazioni della macchina e sostenibilità economica dell'operazione.

Linea 2. È proseguito lo studio e l'implementazione dei dati del modello previsionale di stima della biomassa agroforestale residuale presente nell'area prossimale al CREA-IT, potenzialmente utilizzabile nel contesto del modello di microfiliera energetica. Tale modello, che ha indagato un'area di 2.300 km², ha valutato la sostenibilità economica dell'approvvigionamento della biomassa in prossimità territoriale. Il risultato finale del lavoro è stato pubblicato su rivista scientifica internazionale.

Linea 3. È stato completato ed elaborato il dataset relativo ai diversi cicli produttivi di piantagioni energetiche di pioppo all'interno della microfiliera del CREA-IT. I dati raccolti sono stati utilizzati per lo sviluppo di un'analisi dell'impatto ambientale dei processi di produzione della biomassa per fini energetici in relazione a diversi scenari di cicli colturale delle piantagioni di pioppo SRC, applicando la metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*). I risultati sono stati divulgati in Conferenze internazionali e verranno proposti per una pubblicazione su rivista scientifica internazionale.



È proseguita la collaborazione con i Task 5.2, 2.5, 2.4, 1.6 e 1.4 per lo sviluppo di analisi tecnico-economiche specifiche. Alcuni risultati sono stati oggetto di divulgazione e pubblicazione.

1. Attività svolta

Le attività svolte durante il quarto anno del progetto, ripartite per linee di ricerca, sono descritte di seguito:

Linea 1.

L'attività sviluppata ha riguardato i seguenti aspetti:

- 1) Monitoraggio delle nuove piantagioni energetiche a ciclo breve e medio realizzate a partire dal 2017;
- 2) Monitoraggio di cantieri meccanizzati per l'approvvigionamento di biomassa ad uso energetico.

Per l'attività di cui al punto 1) è continuato il monitoraggio annuale, dal punto di vista degli accrescimenti, delle nuove piantagioni di pioppo realizzate a partire dal 2017, in cinque diversi appezzamenti di terreno, dei quali tre al CREA-IT di Monterotondo e due al CREA-FL di Roma. Per quanto riguarda le piantagioni di pioppo ed eucalipto del CREA-IT, arrivate alla quarta stagione vegetativa (R4F4, radici e fusti di 4 anni), sono state rilevate le misure dei diametri e delle altezze, al fine di monitorare gli accrescimenti stagionali delle piantagioni. La gestione annuale delle piantagioni è stata effettuata con l'orientamento di minimizzazione degli apporti di input energetici e degli interventi colturali. Sono stati effettuati, in tutti gli appezzamenti, due soli interventi meccanici essenzialmente orientati al contenimento delle erbe infestanti lungo le inter-file, tramite trinciatura della vegetazione presente. Dal punto di vista del monitoraggio degli accrescimenti, sono stati effettuati i rilievi di fine stagione vegetativa sulle parcelle P1 e P2 di pioppo e P3 di eucalipto. Rispetto agli anni precedenti, nei quali erano stati raggiunti livelli elevati di fallanze in tutti gli appezzamenti, a causa soprattutto delle avverse condizioni climatiche verificatesi successivamente all'impianto, raggiungendo punte del 67,5% nella piantagione di eucalipto e 57,5% nei due impianti di pioppo, in questa quarta stagione vegetativa non è stato registrato alcun particolare incremento nella mortalità delle piante. Nelle parcelle di pioppo i rilievi dendrometrici effettuati hanno evidenziato, in alcuni casi, differenze statisticamente significative tra i diversi cloni, soprattutto nelle altezze, mentre tali differenze sono risultate meno evidenti nell'accrescimento dei diametri. Per l'appezzamento di eucalipto, invece, non si riscontrano differenze statisticamente significative tra i diversi cloni testati.

Per quanto riguarda le due piantagioni realizzate presso l'azienda Ovile del CREA-FL, in collaborazione con il Task 2.4 (resp. Dr. G. Pignatti), anche per quest'anno sono stati monitorati



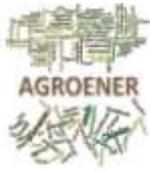
diametri e altezze e stimata la biomassa presente nei due impianti. Per quanto riguarda la prima piantagione del 2017, a bassa densità (278 piante/ha), non sono state evidenziate differenze statisticamente significative nei diametri e nelle altezze tra i due cloni Orion e CS1 (clone sperimentale 1), posti all'interno dello schema sperimentale a blocchi randomizzati. È stato invece confermato un maggiore accrescimento (statisticamente significativo) nei diametri delle piante (clone Orion) poste ai margini del campo sperimentale, a dimostrazione dell'influenza esercitata dall'effetto bordo sugli accrescimenti delle piante.

Nella piantagione di pioppo ad indirizzo policiclico-polifunzionale, destinato sia alla produzione di biomassa per uso energetico (sezione SRC), sia a legname di maggiore qualità (sezione arboricoltura da legno), sono stati misurati diametri ed altezze su un campione casuale complessivo di 207 piante, 69 per ciascun clone (Orion, CS2 e CS3). Al momento non risulta alcuna differenza significativa negli accrescimenti tra i diversi cloni.

Per l'attività di cui al punto 2), è stato seguito un cantiere di lavoro che ha effettuato l'abbattimento meccanizzato di un'area della piantagione di pioppo SRC con piante di età avanzata. La superficie complessiva monitorata è stata di circa 0,5 ha, suddivisa in due sezioni sulla base della diversa età delle piante in piedi presenti. Una prima sezione con piante in piedi di 8 anni su radici di 14 anni (R14F8) e una seconda sezione caratterizzata da piante di 11 anni e radici di 14 anni (R14F11). È stato condotto uno studio dei tempi di abbattimento con la finalità di porre a confronto i risultati, sia dal punto di vista tecnico-prestazionale della macchina in relazione alla due tipologie di piantagione, sia, soprattutto, per valutare l'effettiva sostenibilità economica dell'impiego di un elevato livello di meccanizzazione su questa particolare tipologia di piantagione di pioppo SRC.

Linea 2.

È stata completata la costruzione della base dati territoriali per la definizione di un modello di stima e di valorizzazione energetica della biomassa agroforestale presente in prossimità territoriale del CREA-IT. Lo studio, dopo aver preventivamente definito un modello di valutazione delle quantità di biomassa distinta per aree omogenee, è stato finalizzato all'analisi della sostenibilità economica del processo di recupero e trasporto della biomassa potenzialmente reperibile sul territorio per l'approvvigionamento energetico della microfiliera del CREA-IT di Monterotondo. Il modello di filiera energetica è funzionale ad una valorizzazione delle biomasse diffuse sul territorio e costituisce la base per uno sviluppo sostenibile dell'uso delle bioenergie. Il modello ha preso in considerazione un piccolo bacino territoriale costituito da un'area di circa 2.300 km², dove sono potenzialmente disponibili diverse fonti di biomasse agroforestali. Sono state considerate e identificate otto tipologie di aree quali potenziali fonti di approvvigionamento di biomassa energetica residuale, tramite classificazione CORINE Land Cover (2018): 1) verde urbano; 2) sport e tempo libero; 3)



vigneti; 4) frutteti; 5) oliveti; 6) colture consociate erbacee-arboree; 7) alberature naturali in terreni agricoli; 8) foreste.

L'individuazione dei confini dell'area del modello di approvvigionamento è stata basata sul tempo di percorrenza di un mezzo adibito al trasporto della biomassa (camion) da qualsiasi punto spaziale situato a non più di 60 minuti di distanza dall'impianto di trasformazione, selezionando la strada con il tempo di percorrenza più breve, escluse le autostrade. Sono state identificate cinque aree costituite da anelli isocroni irregolari, cioè tutti caratterizzati da uno stesso tempo medio di percorrenza. I confini esterni di ogni anello sono stati determinati in relazione a cinque fasce orarie a seconda del tempo impiegato per viaggiare dalla specifica ubicazione di prelievo della biomassa fino all'impianto. Il modello proposto ha permesso di sviluppare una mappa territoriale dei costi e della sostenibilità economica del recupero e del trasporto della biomassa di prossimità territoriale in funzione della distanza da percorrere e della tipologia di biomassa residuale da recuperare.

Linea 3.

È continuato il lavoro di aggiornamento della base dati relativa agli aspetti tecnici, economici ed energetici attinenti alle operazioni meccanizzate e processi produttivi riguardanti l'intero ciclo di vita delle piantagioni dedicate a fini energetici di pioppo ed eucalipto e di piantagioni forestali. Le informazioni acquisite nel dataset realizzato sono state impiegate per lo sviluppo di studi sia per raggiungere gli obiettivi prefissati del presente Task, sia per studi di approfondimento effettuati in collaborazione con altri Task del progetto Agroener.

Riguardo al primo aspetto, è stato portato a termine uno studio relativo alla valutazione dell'impatto ambientale della filiera energetica del pioppo tramite l'applicando della metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*). Sono stati considerati diversi scenari produttivi delle piantagioni SRC di pioppo in relazione all'applicazione di turni di taglio diversificati.

Il modello di analisi è stato applicato all'intero ciclo di vita sia delle piantagioni, sia dell'impianto di trasformazione energetica (produrre calore) per la valutazione dell'impatto ambientale, economico ed energetico, posto a confronto con l'impatto prodotto da una filiera di produzione di energia termica basata sull'impiego di una fonte fossile (gasolio). Per le piantagioni sono stati considerati quattro scenari produttivi in funzione di cicli di raccolta di 2, 3, 4 e 5 anni, su un periodo produttivo complessivo di 15 e 16 anni. Allo stato attuale sono stati oggetto di divulgazione in conferenze internazionali i risultati dell'analisi tecnica ed energetica relativa alle macchine e alle produzioni di biomassa, mentre l'analisi degli impatti economici verrà sviluppata in una fase successiva.

Riguardo all'attività di collaborazione, per gli aspetti economici ed energetici, con gli altri Task del progetto, sono state sviluppate, in particolare, analisi relative alla determinazione dei costi di utilizzo di macchine e attrezzature agricole e forestale (Task 2.5) e per il verde urbano (Task 2.4), processi

produttivi per la valorizzazione energetica delle biomasse (Task 5.2) e analisi di sistemi tecnologici irrigui (Task 1.6), finalizzati principalmente alla valutazione della sostenibilità economica ed energetica tramite determinazione dei costi dei cantieri di lavoro e dei consumi di carburante per unità di superficie e di prodotto (Task 1.4).

1. Risultati e deliverable

2.1. Risultati e Deliverable relativi alla Linea 1.

D.5.1.1. Monitoraggio e caratterizzazione dendrometrica delle piantagioni energetiche (10°-11°-12° quadrimestre).

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

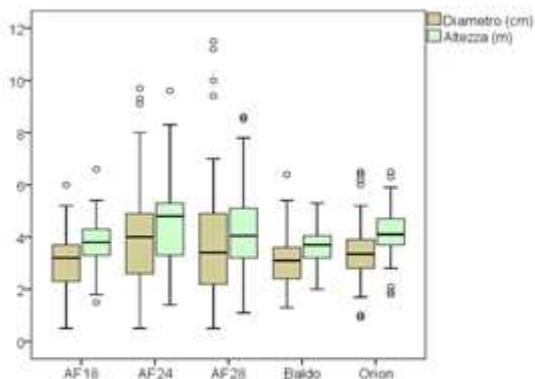


Figura 1. Boxplots delle distribuzioni dei diametri e delle altezze nella P1 (pioppo).

Pioppo SRC - Parcella 1 (P1).

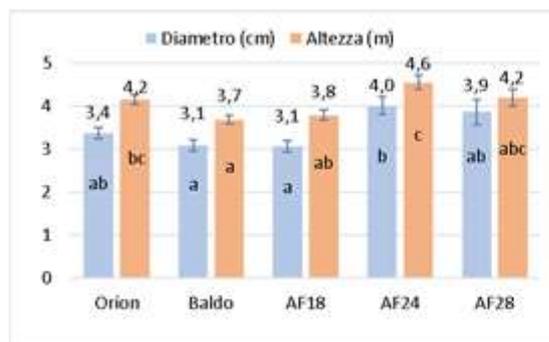


Figura 2. Valori medi (\pm ES) dei diametri e delle altezze nella P1 (pioppo).



Figura 3. Incremento percentuale annuale di accrescimento nei diversi cloni di pioppo.

La

piantazione, realizzata con i cloni di pioppo Orion, Baldo, AF18, AF24 e AF28, ha terminato la quarta stagione vegetativa. La piantazione è quindi caratterizzata come R4F4 (radice e fusto di quattro anni). Il rilievo delle fallanze ha confermato il livello raggiunto nella stagione precedente. L'analisi statistica dei dati relativi ai diametri e alle altezze, condotta con l'applicazione del software SPSS, ha

evidenziato distribuzioni non normali nei diametri in Orion, AF24 e AF28 e nelle altezze in AF24 e AF28. Le caratteristiche delle distribuzioni sono evidenziate nei Boxplots di Figura 1, con i relativi valori anomali. Il test non parametrico di Kruskal-Wallis a campioni indipendenti è risultato significativo ($p\text{-value} < 0.05$), evidenziando differenze statisticamente significative tra i cloni per diametri ed altezze. Nella Figura 2, sono posti a confronto i valori medi (\pm errore standard) di questi due parametri per i diversi cloni. Per le altezze, le differenze sono più accentuate, con tre sottoinsiemi omogenei, mentre per i diametri, i sottoinsiemi omogenei sono due. Il clone AF24 ha fatto registrare valori medi più elevati per entrambi i parametri, quelli più bassi sono stati rilevati per il clone Baldo. In termini di accrescimento percentuale (Figura 3), in rapporto alla stagione vegetativa precedente, proprio i cloni meno accresciuti, come il Balbo e l'AF18, evidenziano invece incremento di crescita più elevati rispetto agli altri cloni per entrambi i parametri.

Pioppo SRC - Parcella 2 (P2).

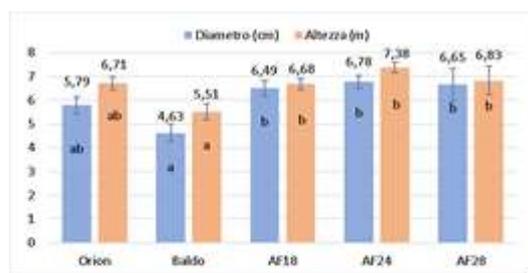


Figura 5. Valori medi (\pm ES) dei diametri e delle altezze nella P2 (pioppo).

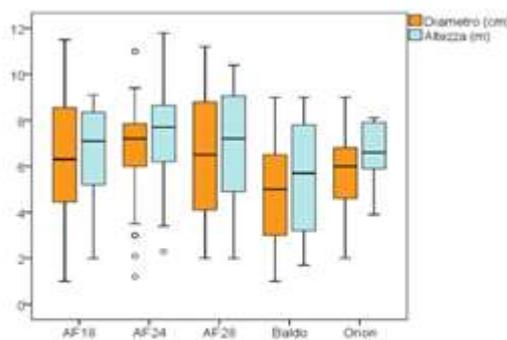


Figura 4. Boxplots delle distribuzioni dei diametri e delle altezze nella P2 (pioppo).

I cloni presenti nell'apezzamento P2 sono gli stessi del P1. Anche se la piantagione è coetanea della precedente, gli accrescimenti medi sono sensibilmente superiori per tutti i cloni. La Figura 4 mostra i boxplots delle distribuzioni dei parametri monitorati. Nella Figura 5 sono mostrati i valori medi ottenuti dei diametri e delle altezze dei diversi cloni. Anche in questo caso sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra alcuni cloni, sostanzialmente distinguendo due sottoinsiemi omogenei per ogni parametro. Anche su questa parcella, il clone Balbo è quello che mostra minori accrescimenti e rientra, insieme ad Orion, nel raggruppamento a minore accrescimento, mentre i cloni AF18, AF24 e AF28, si collocano insieme nel secondo raggruppamento a maggiore accrescimento. La accentuata differenza tra i valori medi di accrescimento nelle due parcelle P1 e P2, tenuto conto che i trattamenti colturali e di gestione degli impianti sono stati simili, è presumibilmente da attribuire prevalentemente alle diverse caratteristiche pedologiche e di posizione dei due appezzamenti.

Eucalipto MRC - Parcella 3 (P3).

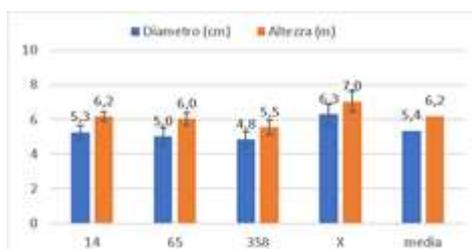


Figura 6. Valori medi (\pm ES) dei diametri e delle altezze nella P3 (eucalipto).

Nella P3 sono stati testati quattro cloni sperimentali, forniti dal CREA-FL di Roma, selezionati per la resistenza al freddo e per produzione di biomassa per uso energetico. Il sesto d'impianto adottato è 3m x 3m, per una densità di 1.110 piante per ettaro. Anche questo impianto è alla quarta stagione vegetativa. I risultati del monitoraggio degli accrescimenti sono mostrati nelle Figure 6. Le distribuzioni dei dati sono risultate avere un andamento normale, ma non sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra i diversi cloni.

b) Piantagioni realizzate presso il CREA-FL di Roma.

Pioppo a sesto tradizionale – Parcella 4 (P4).

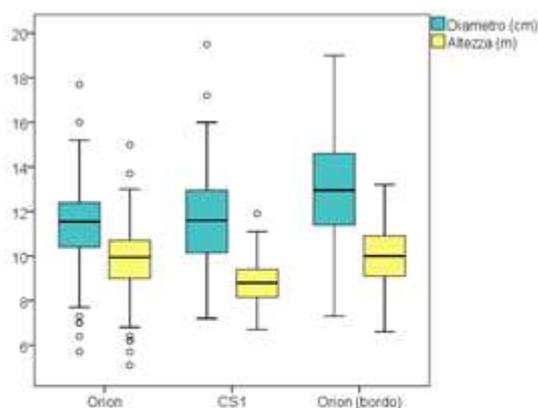


Figura 7. Boxplots delle distribuzioni dei diametri e delle altezze del pioppeto R4F4 della P4.

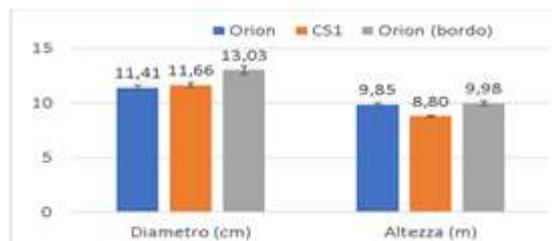


Figura 8. Diametri e altezze medie (\pm ES), nella P4, presso il CREA-FL di Roma.

I rilievi effettuati sulla P4, confermano gli elevati attecchimenti avuti nella stagione precedente. La distribuzione statistica dei dati è mostrata nei boxplots di Figura 7. L'analisi statistica conferma quanto risultato per la stagione precedente e cioè che non si evidenziano differenze statisticamente significative tra i cloni Orion e CS1 all'interno dello schema sperimentale a blocchi randomizzati. Si evidenziano, invece, differenze statisticamente significative tra i suddetti cloni posti all'interno dei blocchi, rispetto al clone Orion impiegato per costituire le fasce esterne della piantagione, evidenziando in tal modo un esplicito effetto di bordo. Infatti, a fronte di diametri di 11,41 cm (\pm 0,20 e.s.) e 11,66 cm (\pm 0,22 e.s.) ed altezze di 9,85 m (\pm 0,17 e.s.) e 8,80 m (\pm 0,09 e.s.), rispettivamente

per i cloni Orion e CS1, per quanto riguarda il clone Orion posto all'esterno, sono stati raggiunti diametri medi di 13,03 cm ($\pm 0,34$ e.s.) ed altezze medie di 9,98 m ($\pm 0,19$).

Pioppo policiclico-polifunzionale – Parcella 5 (P5)

La piantagione policiclico-polifunzionale, è alla sua seconda stagione vegetativa (R2F2). Il disegno sperimentale, per quanto riguarda la piantagione SRC, è a blocchi randomizzati 3x3 con l'impiego tre cloni (Orion, CS2 e CS3) e con tre ripetizioni.

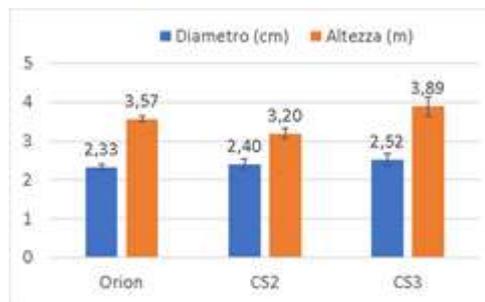


Figura 9. Valori medi (\pm ES) di diametri e altezze del campione nella P5.

L'area adibita ad arboricoltura da legno copre le fasce esterne dei singoli blocchi, nelle quali le piante di pioppo bianco (Villafranca) e di pioppo nero (Jean Pourtet) sono disposte in file con distanziamento tra le piante di 6 m. Sono stati effettuati i rilievi stagionali rilevando diametri e altezze su un campione casuale di 69 piante per ciascun clone. Le distribuzioni dei dati dei campioni non sono risultate normali (test Shiapiro-Wilk) soprattutto per i cloni CS3 e CS2. L'analisi statistica condotta con test non parametrici non evidenzia differenze statisticamente significative tra i cloni per i due parametri osservati (Figura 9).

Monitoraggio di cantieri meccanizzati per l'approvvigionamento di biomassa ad uso energetico.



Foto 1. Cesoia in fase di abbattimento e accatastamento della pianta di pioppo.

Tabella 1. Equazioni adottate nei modelli di predizione dei tempi lordi, produttività e costi per le due piantagioni F8 e F11, calcolati in funzione del peso della pianta P (in

	F8		F11	
	Equazione	R ²	Equazione	R ²
Tempo Lordo (s pianta ⁻¹)	$TL_8 = 137,59 \cdot P^{-0,133}$	0,106	$TL_{11} = 50,177 \cdot P^{0,1615}$	0,339
Produttività lorda (t h ⁻¹)	$PL_8 = 0,0436 \cdot P^{1,1333}$	0,899	$PL_{11} = 0,1197 \cdot P^{0,8385}$	0,932
Costo unitario (€ t ⁻¹)	$CT_8 = 1198,7 \cdot P^{-1,155}$	0,869	$CT_{11} = 469,09 \cdot P^{-0,839}$	0,932

I risultati dell'attività hanno riguardato il confronto dei tempi di lavoro, delle produttività e dei costi dell'operazione di abbattimento meccanizzato condotto con cesoia su una piantagione invecchiata di pioppo SRC (Foto 1). La piantagione è stata distinta in due parcelle dell'età 8 (F8) e 11 anni (F11), per una superficie complessiva di 0,5 ha. Nella F8 sono state raccolte 30,73 t di biomassa, corrispondente a 6,55 t ha⁻¹ anno⁻¹ in sostanza secca, rispetto alla F11, dove sono state raccolte 46,08 t, corrispondenti a 9,14 t ha⁻¹ anno⁻¹ di biomassa anidra. È stata valutata la sostenibilità tecnica ed economica dell'impiego di una meccanizzazione forestale avanzata su questa tipologia di piantagione. Complessivamente il tempo di osservazione del cantiere è stato di 16,5 h, delle quali 8,6 h per la piantagione F8 e 7,9 h per la F11. I tempi improduttivi sono risultati più elevati nella F8, con una incidenza del 14% sui tempi lordi, rispetto a poco più del 4% della F11. Sulla base dei dati rilevati, sono state determinate le relazioni esistenti tra il tempo lordo di abbattimento, la produttività ed il costo unitario rispetto al peso delle piante. Le equazioni che meglio si sono adattate ai dati, con i relativi coefficienti di determinazione, sono riportate in Tabella 1. Nella Figura 10, invece, si riportano i grafici dei modelli predittivi relativi ai tre parametri esaminati per le due piantagioni. Le curve relative al tempo lordo di abbattimento (Figura 10a) assumono un andamento opposto tra le due piantagioni. Nella F8 la curva è decrescente all'aumentare del peso delle piante, mentre nella F11 il comportamento è risultato inverso. Ciò è stato giustificato dal fatto che, in presenza di piante di minori dimensioni della F8, l'operatore manifestava una maggiore difficoltà nell'afferrare le piante, tagliarle e

posizionarle in modo ordinato a terra rispetto a piante di maggiori dimensioni. Diversamente, nella F11, un aumento dei tempi medi ha riguardato le piante più grandi sulle quali l'operatore effettuava due tagli (circa 1/3 della piantagione), il primo ad un'altezza di circa 6 m e il secondo alla base dell'albero. In considerazione del peso medio delle piante riscontrato nelle due parcelle, rispettivamente di 49,89 kg per F8 e 100,17 kg per F11, il tempo medio lordo di abbattimento restituito dal modello è risultato rispettivamente di 81,80 e 105,46 s per pianta. L'intervallo di variazione dei pesi delle piante è risultato di 15-137 kg per la piantagione F8 e 20-467 kg per la F11, con variazioni corrispondenti nei tempi lordi di lavoro rispettivamente di 96-72 e 81-135 s per pianta.

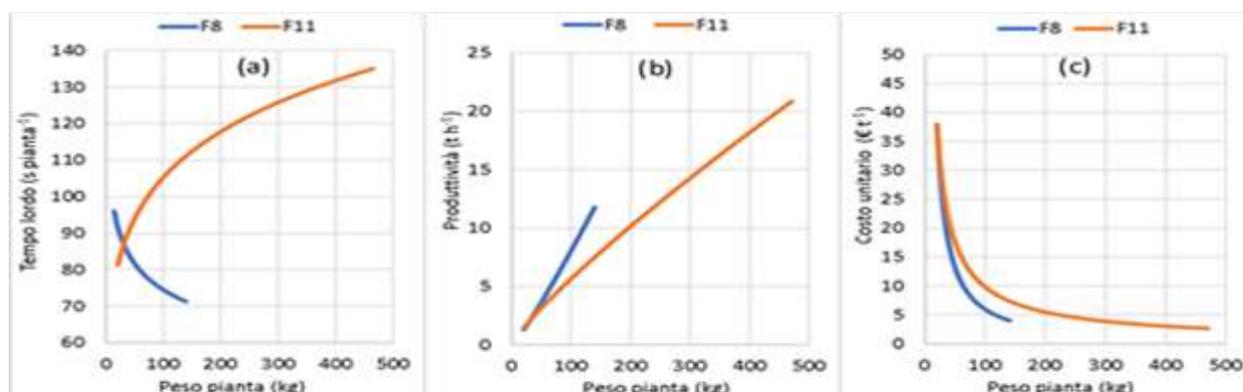


Figure 10 - Modelli predittivi dei Tempi lordi di abbattimento (a), delle Produttività lorde (b) e dei Costi unitari (c) in funzione del peso delle piante nelle due piantagioni F8 e F11.

Il

modello predittivo della produttività di lavoro (Figura 10b) mostra, conseguentemente ai tempi di lavoro, curve con andamento abbastanza diverso per le due piantagioni. In entrambi i casi le produttività sono risultate crescenti all'aumentare del peso delle piante, ma con esponente dell'equazione di potenza diverso (maggiore di 1 per la F8 e minore di 1 per la F11), proprio in conseguenza delle singolarità delle rispettive curve dei tempi. In relazione al peso medio delle piante in F8 e F11, è stata ottenuta una produttività media lorda rispettiva di 3,7 e 5,7 t h⁻¹. In considerazione, invece, dei pesi minimi e massimi rilevati, la produttività ha avuto una variazione rispettiva di 0,95-11,49 e 1,46-20,72 t h⁻¹.

Il modello predittivo dei costi (Figura 10c) ha posto a confronto le curve di costo che, in entrambi i casi, hanno presentato un andamento decrescente all'aumentare del peso delle piante abbattute. Tenendo in considerazione l'intervallo di peso delle piante dal minimo al massimo, la variazione del costo per tonnellata è risultata di 51,73-4,09 e 38,44-2,70 € t⁻¹, con costi medi di 13,11 e 9,83 € t⁻¹, rispettivamente per F8 e F11.

In conclusione, l'applicazione di una meccanizzazione come quella analizzata nell'abbattimento di un pioppeto SRC invecchiato è, almeno in Italia, pochissimo o affatto praticata. Lo studio effettuato



ha posto in evidenza i limiti applicativi, anche in termini di meccanizzazione da adottare, e le criticità attinenti alle piantagioni SRC raccolte oltre il turno programmato di produzione. I costi unitari ottenuti sono da considerarsi, soprattutto in riferimento alla piantagione F8 e, in genere, per le piante di minori dimensioni, ancora troppo elevati rispetto alla potenzialità operativa ottenibile dalla macchina, il cui utilizzo su questa particolare tipologia di piantagioni risulta quindi abbastanza penalizzato.

2.2. Risultati e Deliverable relativi alla Linea 2.

D.5.1.2. Output dell'attività della Linea 2 (10°-11°-12° quadrimestre)

È stata pubblicato un contributo divulgativo (presentazione on-line) a: "The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 – Online. Giulio Sperandio, Andrea Acampora, Vincenzo Civitarese, Sofia Bajocco and Marco Bascietto. Transport cost estimation model of the agroforestry biomass in a small-scale energy chain.

2.3. Risultati e Deliverable relativi alla Linea 3.

D.5.1.3. Output dell'attività della Linea 3 (10°-11°-12° quadrimestre)

È stata pubblicato un contributo divulgativo (presentazione on-line) a: "The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 – Online. Autori: Giulio Sperandio, Alessandro Suardi, Andrea Acampora and Vincenzo Civitarese. Titolo: Carbon footprint of thermal energy production from poplar short-rotation coppice plantations.

2. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Si ribadisce la difficoltà riscontrata negli anni precedenti per la prima linea di attività, relativamente alla costituzione di nuove piantagioni energetiche SRF e MRF. Per l'anno di riferimento, la diffusione della pandemia COVID-19 ha reso impossibile procedere ad una ulteriore realizzazione di nuovi impianti SRC. Si sospende pertanto l'attività relativa alla realizzazione di nuovi impianti SRC fino al termine del progetto. L'attività di monitoraggio continuerà ad essere effettuata sulle piantagioni sinora realizzate (2017-2019).

3. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Durante l'anno in corso è stata avviata una nuova attività di monitoraggio presso la Tenuta Presidenziale di Castelporziano di un cantiere forestale a meccanizzazione avanzata che ha avviato i lavori di abbattimento, esbosco e cippatura di aree di Pino domestico colpite da agenti patogeni. Il



monitoraggio relativo alle tempistiche di lavoro e agli aspetti economici, che si prevede possa continuare durante il 2021, permetterà di arricchire la base di informazioni da utilizzata all'interno delle attività del progetto.

4. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

- Sperandio G., Suardi A., Acampora A., Civitarese V. 2020. Carbon footprint of thermal energy production from poplar short-rotation coppice plantations. The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 (Online). <https://sciforum.net/paper/view/conference/7908> [Presentation].
- Sperandio G., Acampora A., Civitarese V., Bajocco S., Bascietto M. Transport cost estimation model of the agroforestry biomass in a small-scale energy chain. The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 (Online). <https://sciforum.net/paper/view/conference/7891> [Presentation].
- Biocca M., Gallo P., Sperandio G. 2020. Technical and economic aspects of Stone Pine (*Pinus pinea* L.) maintenance in urban environments. Partecipazione a: "The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 (Online). <https://sciforum.net/paper/view/conference/7910> [Presentation]
- Pignatti G., Facciotto G., Incollu G., Maltoni S., Marongiu M., Sperandio G., Verani S., Puxeddu M. 2020. Sustainable Forest Management in Radiata pine Plantations: Case Study in Sardinia (Italy). The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 (Online). <https://sciforum.net/paper/view/conference/7958> [Presentation].
- Partecipazione a: 28th European Biomass Conference and Exhibition (Virtual). Marsiglia, Francia, 6-13 July. Civitarese V., Acampora A., Sperandio G., Caracciolo G., Assirelli A. 2020. Pellet from 9-year-old poplar. Characterization of the raw material and the pellets produced. In Atti della Conferenza, Pp. 360-363.
- Partecipazione a: 28th European Biomass Conference and Exhibition (Virtual). Marsiglia, Francia, 6-9 July 2020. Acampora A., Civitarese V., Sperandio G., Caracciolo G., Assirelli A. 2020. Pellets from hazel and olive groves pruning residues. Characterization of the product obtained. In Atti della Conferenza, Pp. 364-367.

5. Elenco pubblicazioni

- Bascietto M., Sperandio G., Bajocco S., 2020. Efficient Estimation of Biomass from Residual Agroforestry. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 21. Doi:10.3390/ijgi9010021 www.mdpi.com/journal/ijgi



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

- Biocca M., Gallo P., Sperandio G. 2020. Technical and Economic Evaluation of Urban Trees Pruning by Climbing Arborists. In: Coppola A., Di Renzo G., Altieri G., D'Antonio P. (eds) Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production. MID-TERM AIIA 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 67, 653-660, Springer, Cham.
- 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: 37-39.
- Civitarese V., Acampora A., Sperandio G., Assirelli A., Picchio R. 2019. Production of Wood Pellets from Poplar Trees Managed as Coppices with Different Harvesting Cycles. *Energies*, 12: 2973, 16p. doi:10.3390/en12152973; www.mdpi.com/journal/energies.
- Proto A.R., Sperandio G., Costa C., Maesano M., Antonucci F., Macrì G., Scarascia Mugnozza G., Zimbalatti G. 2020. A three-step neural network artificial intelligence modelling approach for time, productivity and costs prediction: a case study in Italian forestry. *Croatian Journal of Forest Engineering (CROJFE)*, (41) 1: 35-47. DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.611>.



Task 5.2 Produzione dimostrativa di pellet su piccola scala per la valorizzazione della biomassa di diversa origine.

Task leader: Vincenzo Civitarese

Linea 2: Pellettizzazione delle biomasse di diversa origine.

Linea 3: valutazione della qualità e delle potenzialità di produzione del pellet.

Linea 4: valutazione della sostenibilità economica ed energetica.

Referente: Vincenzo Civitarese

Abstract

Le attività previste nella quarta annualità del progetto sono state svolte nell'ambito delle linee 2, 3, 4 ed hanno interessato nocciuleti a conduzione biologica, oliveti e verde urbano, coprendo le fasi di recupero, stoccaggio, disidratazione, cippatura, raffinazione e pellettizzazione. Dopo la trasformazione in pellet, è stata eseguita la relativa caratterizzazione qualitativa e valutazione tecnico/economica di filiera. I pellet prodotti soddisfano molti dei parametri richiesti dalla normativa di riferimento. Alcune criticità, tuttavia, sono state riscontrate in funzione della tipologia di biomassa. Per i residui agricoli emergono problemi relativi al contenuto in ceneri e alla bulk density per entrambe le specie oggetto di studio. Per il verde urbano si evidenziano un basso PCI per leccio e eucalipto, un eccessivo contenuto in ceneri per il platano, elevati contenuti di azoto per leccio ed eucalipto, elevati contenuti in cadmio per leccio, eucalipto, pino domestico. La possibilità di procedere a miscele, in percentuali differenti a seconda del caso, porta ad un reale miglioramento qualitativo di una determinata tipologia di pellet, ma molto dipende dal parametro da migliorare, dal numero di parametri da modificare e/o che verrebbero modificati e da quanto i valori rilevati si discostano dalla soglia indicata dalla normativa.

Attività svolta

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



1 Recupero e stoccaggio della biomassa trinciata proveniente dalle potature di nocciolo, ulivo e verde urbano [linea 2].

La raccolta dei residui di potatura di olivo e nocciolo è stata effettuata presso due aziende agricole localizzate nella provincia di Viterbo. I rilievi morfometrici hanno interessato la biomassa asportata per pianta campione, il diametro dei rami potati e la loro lunghezza, l'altezza e il diametro delle piante. Per quanto concerne il verde urbano sono state individuate quattro specie: platanus occidentalis, quercus ilex, pinus domestica ed eucaliptus camaldulensis. Il materiale è stato fornito sotto forma di cippato dalla ditta Ecoflora 2 di Roma. Per le finalità del progetto sono state impiegate piante sramate e scortecciate.

2 Disidratazione della biomassa trinciata proveniente dalle potature di nocciolo, ulivo e verde urbano [linea 2].

I residui di potatura sono stati lasciati in campo per circa un mese dalla data dell'intervento. Successivamente si è proceduto alla loro cippatura, raffinazione ed esposizione al sole per 48.

3 Raffinatura della biomassa trinciata proveniente dalle potature di nocciolo, ulivo e verde urbano [linea 2].

Tutte le tipologie di biomassa sono state sottoposte ad un processo di sminuzzatura finalizzato al raggiungimento delle dimensioni idonee a garantire la successiva fase di pellettizzazione secondo quanto già riportato nelle precedenti relazioni.

4 Pellettizzazione della biomassa trinciata proveniente dalle potature di nocciolo, ulivo e verde urbano [linea 2].

Le attività di stoccaggio, cippatura e raffinazione hanno permesso di realizzare i seguenti campioni di materiale da pellettizzare (granulometria 6 mm, umidità 10% circa):

- Residui di potatura di nocciolo,
- Residui di potatura di ulivo,
- Residui di potatura del verde urbano di leccio
- Residui di potatura del verde urbano di eucalipto
- Residui di potatura del verde urbano di pino domestico



- Residui potatura del verde urbano di platano

Le prove di pellettizzazione sono state effettuate con pellettatrice Master 380C acquisita nell'ambito del progetto.

5 Caratterizzazione qualitativa del pellet ottenuto dalle potature di nocciolo a conduzione biologica, uliveti e dalla manutenzione del verde urbano [linea 3].

La caratterizzazione dei campioni ha riguardato la determinazione del contenuto di umidità, della composizione elementare, del contenuto in ceneri, del potere calorifico, del contenuto di metalli pesanti, oltre l'analisi dimensionale e la valutazione della densità basale e della durabilità.

6 Prove di miscelazione di diverse biomasse e caratterizzazione qualitativa delle miscele prodotte [linea 3].

Le miscele hanno interessato, in diverse proporzioni, tutte le specie oggetto di studio, prevalentemente al fine di innalzare il potere calorifico e ridurre il contenuto in ceneri. La caratterizzazione qualitativa ha riguardato, pertanto, esclusivamente i parametri critici.

7 Valutazione tecnica ed economica dei processi di filiera inerenti all'utilizzo di potature residuali da nocciolati, uliveti e verde urbano nella produzione di pellet [linea 4].

L'analisi dei costi del processo di pellettizzazione è stata effettuata tenendo in considerazione quanto riscontrato in bibliografia sull'argomento, in relazione ad impianti di pellettizzazione 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 casi esaminati di produzione del cippato da nocciolati, uliveti e verde urbano.

1. Risultati e deliverable

Recupero e stoccaggio della biomassa trinciata proveniente dalle potature di nocciolo a conduzione biologica, uliveti e dalla manutenzione del verde urbano [linea 2].



Per l'olivo il diametro e la lunghezza media dei rami sono risultati pari a 14,06 mm e 127 cm. La quantità media di biomassa potata per pianta è stata di 47,25 chilogrammi (4,72 t ha⁻¹ di sostanza fresca, corrispondenti a 2,36 t ha⁻¹ anno⁻¹). Per il nocciolo il diametro e la lunghezza media dei polloni secondari risultavano pari, rispettivamente, a 16,84 mm e 104,08 cm. Dimensioni superiori sono state riscontrate nel materiale derivante dalla potatura invernale, con rami o polloni del diametro di 27,28 mm e lunghezza di 123,25 cm. La quantità media di biomassa potata per pianta è stata pari a 4,61 kg (1,52 t ha⁻¹ anno di sostanza fresca), con punte di oltre 6 kg.

Disidratazione della biomassa trinciata proveniente dalle potature di nocciolo a conduzione biologica, oliveti e dalla manutenzione del verde urbano [linea 2].

I residui di potatura del nocciolo erano caratterizzati, alla raccolta effettuata verso la fine di marzo, da un contenuto di umidità del 46,15%, sicuramente influenzato dalle abbondanti precipitazioni avute nella zona in esame pochi giorni prima della raccolta dei residui legnosi. Dopo circa un mese i residui sono stati raffinati e poi esposti per 48 ore al sole. Il contenuto di umidità rilevato sul materiale legnoso raffinato, dopo questo procedimento, era pari all'11%. Nel caso dell'olivo, alla raccolta avvenuta a fine aprile, i residui di potatura presentavano un'umidità del 27%. Dopo circa 20 giorni è stata effettuata la raffinazione e l'esposizione del materiale al sole per 48 ore. Il contenuto di umidità rilevato per il materiale raffinato era pari all'11,45%. Durante il periodo di riferimento sono caduti 51 mm di pioggia che hanno avuto una evidente ripercussione sull'umidità del materiale legnoso potato e lasciato a terra.

Caratterizzazione qualitativa del pellet ottenuto dalle potature di nocciolo a conduzione biologica e oliveti [linea 3].

Le bulk density dei due tipi di pellet non raggiungono la soglia stabilita dalla normativa, anche se i valori individuati non si discostano di molto dal limite dei 600 kg/m³. Per quanto riguarda la durabilità, invece, i due prodotti presentano valori leggermente superiori al 98% rientrando pertanto nei parametri. Il pellet di nocciolo si caratterizza per un PCI leggermente superiore all'olivo (+2,25%), anche se tale differenza non risulta significativa. Il contenuto in ceneri del nocciolo risulta superiore del 20,3% rispetto a quanto rilevato per l'olivo ma nessuno dei due



rientra nella soglia massima del 2% indicata per la classe B. Per quanto concerne la fusibilità delle ceneri, i valori rilevati superano ampiamente la soglia minima di 1200° C imposta dalla normativa. Dei 7 metalli pesanti rilevati 5 risultano presenti in maggiori concentrazioni nel pellet del nocciolo (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni) e due in quello dell'olivo (Zn e As). Nel complesso, ad ogni modo, i metalli pesanti rilevati risultano conformi a quanto indicato dalla normativa vigente. Nell'olivo risulta presente una maggiore concentrazione di azoto, superiore alla soglia dell'1%.

Caratterizzazione qualitativa del pellet ottenuto dalle potature del verde urbano [linea 3].

Relativamente al potere calorifico il leccio e l'eucalipto, attestandosi intorno ai 15 MJ/kg, non rientrano nella normativa di riferimento. Il pino supera ampiamente la soglia dei 16,5 MJ/kg mentre per il platano i valori sono di poco inferiori. Per le ceneri il pino rientrerebbe in classe A1, l'eucalipto in classe A2, il leccio in classe B mentre il platano non rientra nei limiti. Alcune criticità interessano l'azoto, con valori inferiori all'1% per il pino e il cadmio, con valori inferiori a 0,5 mg/kg solo per il platano.

Prove di miscelazione di diverse biomasse per la produzione di pellet rispondente a standard qualitativi elevati e caratterizzazione qualitativa delle diverse miscele di pellet prodotto.

Per consentire all'eucalipto MRF di incrementare il potere calorifico da 14,43 MJ/kg a 16,5 MJ/kg è necessario procedere ad una miscelazione con 61% di pioppo, 75% di nocciolo o 54% di pino domestico. Con il pino il contenuto in ceneri si ridurrebbe da 1,52% a 0,90% portando ad un miglioramento della classe da B ad A2. Per il verde urbano una miscelazione con pino al 50% garantisce sempre la soglia dei 16,5 MJ/kg mentre, per il contenuto in ceneri, il pellet di eucalipto passerebbe da A2 a A1, quello di leccio da B ad A2 e il pellet di platano, inizialmente non classificabile, rientrerebbe in B con un valore limite molto vicino ad A2. In quest'ultimo caso sarebbe sufficiente aumentare del 5% la percentuale di biomassa di pino nella miscela (55% pino e 45% platano) per far sì che il pellet di platano possa rientrare in classe A2.

Valutazione tecnica ed economica dei processi di filiera inerenti all'utilizzo di potature residuali da nocciolati, uliveti e verde urbano nella produzione di pellet.



Facendo un raffronto con i risultati evidenziati nell'attività dell'anno precedente, che per casi esaminati avevano evidenziato costi di reperimento e produzione del cippato compresi tra i 42 e i 61 €/t, per i casi ora esaminati e nell'ipotesi di acquisire la biomassa residuale a costo zero, allora il costo complessivo per unità di cippato prodotto, per tempi di percorrenza inferiore ai 55 minuti, risulta comunque sempre inferiore a quelli sopra riportati. Tali costi si riducono notevolmente con la diminuzione dei tempi di percorrenza. Qualora invece dovessimo considerare anche un costo per l'acquisto della biomassa, per esempio 10-15 €/t, allora il costo finale al massimo si collocherebbe in posizione intermedia rispetto a quelli di riferimento. Ciò significa che, considerando tali costi nel processo di produzione del pellet, l'utilizzo della biomassa residuale come materia prima in un impianto di media capacità produttiva come quello da noi preso in esame, risulta economicamente sostenibile con costi di produzione del pellet inferiori alle 150 €/t.

2. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Non sono state individuate criticità tali da ostacolare il regolare svolgimento

3. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Non si ravvisa la necessità di attività integrative.

4. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

GIORNATA DIMOSTRATIVA PROGETTO AGROENER

Innovazioni per la filiera biomasse e l'efficientamento energetico in agricoltura. 26 Giugno 2019
CREA – Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari - Monterotondo (Roma)

5. Elenco pubblicazioni

- *Civitarese V., Acampora A., Sperandio G., Caracciolo G., Assirelli A. 2020. Pellet from 9-year-old poplar. characterization of the raw material and the pellets produced. 28th European Biomass Conference and Exhibition: 360-363. 6 – 9 July 2020, Virtual.*
- *Acampora A., Civitarese V., Sperandio G., Caracciolo G., Assirelli A. 2020. Pellets from hazel and olive groves pruning residues. Characterization of the product obtained. 28th European Biomass Conference and Exhibition: 364-367. 6 – 9 July 2020, Virtual.*



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

- *Sono in fase di stesura altri tre articoli divulgativi sul processo di pellettizzazione.*



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

L'attività della Linea 1 riguarda lo studio e lo sviluppo di sistemi per la raccolta dei residui della trebbiatura, con particolare riferimento alla pula di cereali e ai tutoli di mais. I sistemi di raccolta dei residui di trebbiatura analizzati hanno mostrato un'effettiva efficacia nella raccolta dei sottoprodotti, senza influenzare negativamente la capacità operativa e, di conseguenza, i costi di raccolta del prodotto principale.

La Linea di attività 2 si focalizza invece su sistemi di raccolta di biomassa fluviale. Nell'ambito di quest'ultima, sono stati studiati i primi tentativi di meccanizzazione spinta nell'utilizzazione dei boschi ripariali in Italia. Le attività effettuate risultano ancora ad un livello preliminare e sono state incentrate prevalentemente su una pianificazione dell'intervento in ambito GIS e sullo studio delle performance di lavoro. Lo studio delle produttività del cantiere ha mostrato buoni valori anche se sono ancora presenti ampi margini di miglioramenti, legati principalmente alla necessità di ottimizzare l'organizzazione del cantiere.

L'attività della Linea 3 è proseguita analizzando ed elaborando le osservazioni morfo-fisiologiche sulla biomassa raccolta, con particolare riferimento all'apparato ipogeo. Nel complesso i dati del biennio indicano che l'*Arundo* può svolgere un'attività di fitoestrazione e/o fitostabilizzazione anche concentrazioni di rame relativamente alte.



Per quanto riguarda la Linea 4 si è proceduto ad una verifica sull'effetto dell'estrazione dei carotenoidi con solventi sulla produzione teorica di metano delle bucce esauste e sono state concepite ed elaborate le schede descrittive. Nel terzo anno è stata approntato un allevamento di pomodoro per la produzione di bucce da conferire alla dott.ssa Chiariotti per lo svolgimento delle attività previste nel task 3.1 (Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica).

1. Attività svolta

Linea 1. Le attività svolte all'interno della prima linea di ricerca, focalizzata sul recupero dei residui di trebbiatura con particolare riferimento alla pula di cereale e ai tutoli di mais, sono state realizzate analizzando diverse soluzioni meccaniche disponibili sul mercato europeo (per la pula) ed italiano (per i tutoli). Test specifici sulle produttività di lavoro dei macchinari, sui costi di raccolta dei residui e sull'efficacia delle soluzioni meccaniche sono stati effettuati in Italia (sistema Harcob per la raccolta dei tutoli di mais, testato però anche per il recupero della pula), Francia (sistema Thievin per il recupero della pula di grano mediante imballatura o raccolta su un cassone separato), Svezia (sistemi Thierart e Rekordverken per il recupero della pula).

Linea 2. Per quanto riguarda la seconda linea di ricerca, le attività svolte hanno riguardato lo studio della possibilità di applicazione di cantieri con livello di meccanizzazione avanzata per l'utilizzazione di boschi ripariali. Difatti, l'applicazione di moderne tecnologie e macchinari performanti e specifici per le utilizzazioni forestali sembra essere l'unica via per aumentare le produttività di lavoro ad un livello tale da permettere la convenienza economica degli interventi su boschi ripariali, che al contrario conducono inevitabilmente ad un macchiatico negativo. D'altra parte, l'impiego di macchinari pesanti può causare un maggiore livello di impatto al suolo, e considerando la particolare importanza dei boschi ripariali nella prevenzione di fenomeni di dissesto idrogeologico e la loro particolare rilevanza per la tutela della biodiversità, risulta ancor più importante una corretta pianificazione dell'intervento, nell'ottica di una gestione forestale sostenibile. Tenendo conto di ciò, sono stati sviluppati due specifici studi nell'ambito della linea di ricerca. Il primo riguarda l'applicazione di tecnologie della precision forestry (GIS e GNSS) per la pianificazione di interventi con cantieri a meccanizzazione spinta, con l'obiettivo di limitare gli impatti al suolo. Il secondo studio è stato invece una valutazione delle produttività di lavoro in un cantiere a meccanizzazione spinta applicato, per la prima volta, nell'utilizzazione di un bosco ripariale nel Centro Italia, in particolare lungo il Fiume Velino nel Comune di Posta (RI).

Linea 3. Sono state analizzate ed elaborate le osservazioni morfo-fisiologiche sulla biomassa raccolta, incluso l'apparato radicale. Ad integrazione delle prove previste è stato condotto uno studio per saggiare la produzione di biomassa dell'*Arundo* in condizioni di semi-idroponica (mesocosmo) con disponibilità idriche limitanti. Lo scopo era quello di verificare l'effetto sulla



morfologia della pianta, la resa e i principali parametri energetici della coltivazione di *Arundo* in condizioni marginali. I risultati di quest'ultima attività sono stati oggetto di comunicazione alla 28^a edizione dell'EUBCE.

Linea 4. Sulle bucce raccolte nel secondo anno, è stata ultimata la determinazione dei principali flavonoidi (acido clorogenico, rutina, quercetina) mediante HPLC. Sono state concepite e compilate le schede descrittive delle linee analizzate nel programma. L'attività è stata integrata con una verifica dell'effetto dell'estrazione dei carotenoidi (con solventi) sulla produzione teorica di metano delle bucce esauste. Il protocollo di estrazione, le modalità di stima del potenziale metanigeno, così come l'indicazione delle linee studiate sono stati già descritti nelle precedenti relazioni e deliverable.

Nell'ambito dell'attività di collaborazione con la dott.ssa Chiariotti (CREA-ZA) responsabile della Task 3.1 (Recupero di sottoprodotti agroindustriali per processi di valorizzazione energetica) è stata allestita una prova di coltivazione utilizzando una cv. commerciale (Rio Grande) e tre linee mutanti in grado di incrementare i pigmenti della pianta (gene *hp-2*) o i polifenoli (geni *Aft_atv* e *aft_Atv*). Tutte le linee sono state allevate in condizioni di campo con tecnica convenzionale a confronto con una tecnica a basso-input. Le bucce estratte dalla linea normale a bacca rossa sono state impiegate successivamente per le prove di metanazione.

Parte delle bucce della linea ad alto contenuto di pigmenti (SB) sono state impiegate per un'attività svolta in collaborazione con la dott.ssa Carbone (CREA-OFA) che ha previsto la sintesi di nanoparticelle d'argento assistita da microonde utilizzando bucce della linea di pomodoro iperpigmentata (SB). I risultati sono stati oggetto di comunicazione alla 28^a edizione dell'EUBCE.

2. Risultati e deliverable

Linea 1

Per quanto concerne la linea di ricerca 1 i risultati ottenuti sono stati molto interessanti. Infatti, i vari sistemi studiati sono risultati relativamente efficienti, mostrando la capacità di raccogliere i residui della trebbiatura senza compromettere le produttività di lavoro ed aumentare i costi di raccolta del prodotto principale. Particolarmente interessante sembra la possibilità, data dai sistemi Thievin e Thierart, di raccogliere la pula di cereale insieme alla biomassa da imballare (paglia). In dettaglio la prova sperimentale condotto in Francia su sistema Thievin ha mostrato come sia possibile raccogliere circa 1.79 t FM ha⁻¹ di pula di cereale, imballandola insieme alla paglia, senza ottenere differenze statisticamente significative in termini di produttività di lavoro. Per un maggiore dettaglio dei risultati ottenuti si rimanda alle pubblicazioni scientifiche inerenti le diverse attività, riportate nell'apposita sezione della presente relazione.

Linea 2



Riguardo ai risultati ottenuti nella linea di ricerca 2 lo studio di pianificazione degli interventi mediante precision forestry ha mostrato ottimi risultati. La pianificazione in ambiente GIS delle piste necessarie per l'esbosco del legname, mediante procedure semi-automatica, ha infatti permesso una diminuzione della superficie impattata dal passaggio dei mezzi meccanici fino al 70%, in confronto con l'intervento realmente realizzato senza pianificazione preventiva. I risultati ottenuti nell'ambito di questo studio sono stati pubblicati su rivista internazionale (vedi sezione 6 elenco pubblicazioni). Per quanto concerne il secondo studio, incentrato sull'analisi delle produttività di lavoro in un cantiere di utilizzazione di boschi ripariali a meccanizzazione spinta, i risultati sono ancora ad un livello preliminare. Si riporta di seguito una breve descrizione del cantiere e delle produttività di lavoro rilevate.

L'area d'intervento si trova nel Comune di Posta (RI) lungo il corso del fiume Velino, trattasi di una tipica formazione ripariale a prevalenza di pioppo (*Populus spp*) e salice (*Salix spp*). Il diametro medio del popolamento risultava pari a 10.6 cm con altezza media di 13 m per una provvigione ad ettaro pari a 330 Mg_{fm} ha⁻¹. L'intervento era volto non solo alla produzione di bioenergia ma anche alla diminuzione del rischio idraulico, di conseguenza il trattamento effettuato è consistito in un taglio raso della vegetazione arborea con diametro a petto d'uomo superiore a 8 cm.

Il sistema di lavoro utilizzato è stato la pianta intera (WTS), con abbattimento con testa feller-buncher (Westtech Woodcracker C 350, Figura 1) montata su escavatore Volvo da 85 kW ed esbosco effettuato mediante forwarder John Deere 810D (Figura 2).



Figura 1: escavatore volvo con testa feller-buncher.



Figura 2: forwarder John Deere 810D.

All'imposto avveniva la cippatura del legname mediante cippatrice Pezzolato PTH 1400/1200 M.



La produttività lorda nell'operazione di abbattimento è risultata pari a $15.78 \text{ Mg}_{\text{fm}} \text{ h}^{-1}$, con percentuale di miglioramento corrispondente al 5%. L'esbosco ha mostrato una produttività pari a $16.37 \text{ Mg}_{\text{fm}} \text{ h}^{-1}$, con percentuale di miglioramento del 28%. Infine la produttività netta nella cippatura è risultata pari a $60.69 \text{ Mg}_{\text{fm}} \text{ h}^{-1}$, con percentuale di miglioramento del 36%. Di conseguenza la produttività complessiva del cantiere è risultata corrispondente a $7.10 \text{ Mg}_{\text{fm}} \text{ h}^{-1}$, con una percentuale di miglioramento del 17%. Complessivamente la produttività raggiunta è risultata ad un buon livello, la percentuale di miglioramento è comunque sostanziale e diminuibile mediante una migliore pianificazione dell'intervento ed organizzazione del cantiere.

Linea 3

Deliverable D.5.3.9: Relazione sulla capacità produttiva dell'Arundo allevato in substrati contaminati, sulle dinamiche di assorbimento del sistema Arundo/substrato e sull'utilizzabilità della matrice.

La biomassa raccolta al termine del secondo anno ha evidenziato una differenza tra le piante sottoposte ai diversi dosaggi di rame solo per la biomassa fogliare che è risultata significativamente maggiore per le piante allevate in presenza di 200 ppm di rame ($43.1 \pm 1.5 \text{ g/pianta}$) rispetto a quelle allevate a 800 ppm ($33.2 \pm 6.3 \text{ g/pianta}$). Relativamente a steli e apparato radicale non si sono osservate differenze statisticamente significative anche se i valori più alti sono stati rilevati per il trattamento con 800 ppm per quanto riguarda gli steli ($112.4 \pm 11.5 \text{ g/pianta}$) e per la concentrazione a 200 ppm per ciò che riguarda lo sviluppo dell'apparato radicale ($232.0 \pm 52.1 \text{ g/pianta}$). Relativamente a quest'ultimo, la tabella tab. 3.1 mostra come ci sia un effetto positivo della presenza di rame al dosaggio più basso (200 ppm), mentre le concentrazioni più alte ne riducono il peso.

Tab. 3.1. Caratterizzazione degli apparati radicali

	Dose Cu (ppm)			
	0	200	400	800
<i>Apparato radicale</i>				
Peso secco rizoma (g/pianta)	155,0	174,1	145,1	135,2
Peso secco radici avventizie (g/pianta)	56,9	57,9	46,5	44,5
Rapp Riz/avv	2,7	3,5	3,1	3,0
<i>Rizoma</i>				
Volume (ml)	190,0	213,3	226,7	203,3



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Peso specifico	0,87	0,82	0,64	0,77
Lunghezza (cm)	57,8	62,0	58,5	65,0
Diametro (mm)	17,3	17,9	16,9	17,2
Gemme (n)	14	17	11	11

Benché non si siano evidenziate differenze statisticamente significative, va notato come ci sia un minor numero di gemme sui rizomi prelevati dalle piante allevate a 400 e 800 ppm, facendo ipotizzare un'influenza negativa della presenza di rame sulla capacità propagativa del rizoma.

Dai dati raccolti nei due anni di prova è emerso come l'*Arundo* risenta particolarmente della presenza del rame nel substrato durante il primo anno di allevamento, quando anche i parametri energetici hanno mostrato un peggioramento. A un anno dal trapianto si è osservato, infatti, un contenuto in ceneri più alto e una riduzione significativa del potere calorifico alle dosi di rame più alte. Da un punto di vista produttivo l'*Arundo* appare in grado, comunque, di superare lo stress e recuperare la produzione di biomassa riuscendo in qualche modo a adattarsi al substrato. La differenza nella produzione di biomassa tra il primo e il secondo anno è risultata statisticamente significativa ($F=423.7$, $p<0.0001$). Limitatamente al primo anno, inoltre, è emersa una riduzione statisticamente significativa della biomassa aerea a 800 ppm. Nel secondo anno tali differenze non si sono evidenziate, ma si è osservata una produzione maggiore di biomassa ai dosaggi più alti (400 e 800 ppm). Come accennato precedentemente, a tali concentrazioni il peso del rizoma è, invece, più basso rispetto al controllo e alla dose di 200 ppm.

È noto che il rame abbia un carattere binario nelle piante (cioè, essenziale vs. dannoso), per cui è coinvolto in un complicato sistema di assorbimento, trasporto, utilità, tossicità e detossificazione. Per contrastare gli effetti della tossicità del metallo, le piante hanno sviluppato meccanismi di tolleranza (complessazione, stoccaggio nei vacuoli, precipitazione nelle pareti cellulari, *downregulation* dei trasportatori di metallo attraverso la membrana plasmatica) alcuni dei quali osservati anche in *Arundo*. I dati riportati appaiono confermare la capacità dell'*Arundo* di attivare sistemi di adattamento a livelli di contaminazione da rame nel suolo anche a livelli elevati. La sperimentazione del primo anno ha, infatti, permesso di chiarire alcune dinamiche di assorbimento e di distribuzione dell'elemento nel sistema *Arundo*-suolo. Il rame viene traslocato in maniera proporzionalmente maggiore con l'aumentare della sua concentrazione nel suolo. Tale traslocazione è risultata particolarmente elevata nella foglia rispetto al fusto con particolare riferimento ai dosaggi più alti. Il *tolerance index* (superiore all'unità per i trattamenti 200 e 400 ppm e pari a 0.77 per 800 ppm) indica che la presenza di rame nel terreno può esercitare un effetto stimolante sulla vegetazione fino a soglie piuttosto elevate. In base anche agli indici di accumulo e

bioconcentrazione (riportati nel precedente deliverable) l'*Arundo* appare una specie idonea ad espletare un'attività di fitoestrazione a livelli molto alti di concentrazione del metallo e di fitostabilizzazione a concentrazioni minori.

Linea 4

Per quanto riguarda l'attività integrativa, l'effetto dell'estrazione dei carotenoidi sulla produzione teorica di metano (TBMP) dalle bucce esauste è stato condotto su un controllo e cinque linee mutanti per il colore della bacca (fig. 4.1).

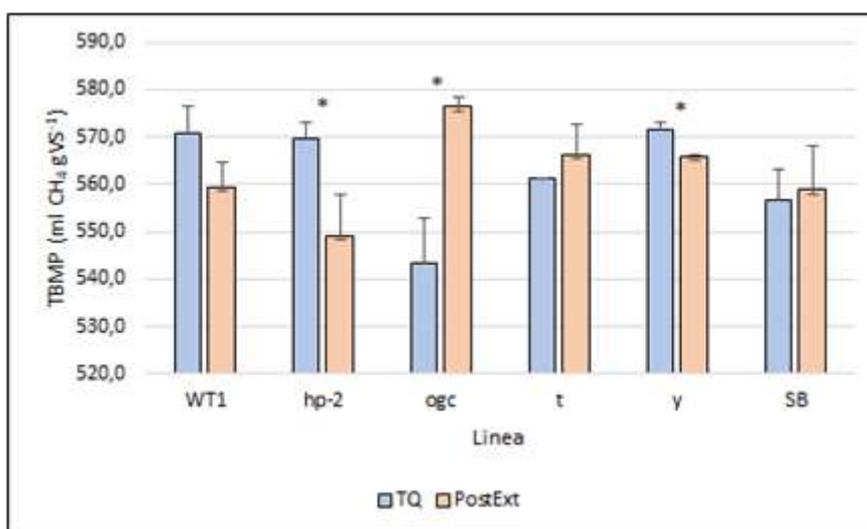


Fig. 4.1. Stima del potenziale metanigeno teorico (TBMP) di bucce di pomodoro tal quali (TQ) e dopo estrazione dei carotenoidi con solventi (PostExt). *Differenza significativa per $p < 0.05$ dopo t-test di Student.

Le bucce esauste dopo estrazione con solventi (Shi et al., 1999; Khachik et al., 1988) hanno mostrato un comportamento diversificato (fig. 4.1). In alcune c'è stata una riduzione (WT1) anche statisticamente significativa (*hp-2*, *y*) del TBMP, mentre altre non hanno mostrato differenze (*t*, *SB*) o hanno presentato un valore di TBMP significativamente maggiore (*ogc*) dopo l'estrazione. Ciò fa ritenere che, per alcune linee, la possibilità di una doppia utilizzazione del residuo (estrazione di sostanze funzionali e successivo recupero delle bucce esauste) possa essere un'ipotesi di lavoro da approfondire.

Deliverable D.5.3.11: Produzione di schede informative sulla potenzialità delle matrici analizzate per la produzione di molecole funzionali.



Sulla base dell'attività svolta e dei risultati ottenuti, sono state concepite e strutturate le schede descrittive di nove genotipi con esclusione dei controlli. Le informazioni riportate nelle schede si riferiscono a caratteristiche generali e specifiche. Queste ultime riguardano parametri energetici e biochimici.

- Informazioni generali: gene del colore, simbolo genico, via biosintetica modificata, funzione interessata, riferimenti bibliografici, presenza del gene in varietà commerciali.
- Dati morfologici: altezza della pianta, peso medio della bacca, resa in buccia. I dati costituiscono il valore medio di due anni.
- Parametri energetici: PCI, ceneri, contenuto in CHNSO, TBMP buccette. Le metodologie utilizzate per la determinazione del potere calorifico inferiore (PCI), delle ceneri e del contenuto in C, H, N, S, O sono state già descritte nel deliverable precedente. Va ricordato che la produzione potenziale di biogas o biometano (TBMP) è stata stimata a partire dalla composizione elementare (CHNSO) utilizzando la formula di Buswell (Achinas and Euverink, 2016; Buswell and Hatfield, 1936; Roati et al., 2012). Anche in questo caso, la discussione su limiti e pregi dell'approccio empirico è stata affrontata nel deliverable 5.3.10.
- Contenuto in macro e microelementi: Na, K, Mg, Ca espressi in g kg^{-1} , Fe, Zn, Mn, Cu espressi in mg kg^{-1} . Il dato è riferito al primo anno di allevamento. Il protocollo per la determinazione è riportato nel precedente deliverable.
- Contenuto di sostanze bioattive: carotenoidi ($\text{mg kg}^{-1}_{\text{tq}}$), polifenoli ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}_{\text{tq}}$) e i flavonoidi acido clorogenico, rutina, quercetina ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}_{\text{tq}}$). I valori analitici riportati nelle schede sono relativi a due anni di prova, con l'eccezione del mutante *og^c*, inserito solo nei test del secondo anno. Nel primo anno la determinazione di carotenoidi e polifenoli totali è stata effettuata mediante metodo spettrofotometrico. Nel secondo anno il contenuto in carotenoidi (licopene e β -carotene) e flavonoidi (acido clorogenico, rutina, quercetina) è stato determinato mediante analisi HPLC.

Le schede sono corredate da un grafico in cui viene riportato l'incremento o il decremento percentuale determinato dalla mutazione descritta rispetto alle due linee di controllo normali. Fatti uguali a cento i valori medi dei due anni dei due controlli, è stata calcolata la variazione percentuale del contenuto di carotenoidi, di polifenoli e del BMP stimato sulle bucce tal quali e sulle bucce sottoposte a estrazione dei carotenoidi (quest'ultimo solo per le sei linee indicate precedentemente) rispetto ai valori delle linee di riferimento.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Le attività risultano in piena linea con quanto riportato nella proposta progettuale.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive



Non si prevedono per questa task attività aggiuntive rispetto a quanto riportato nel progetto.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Presentazioni oral e poster al “28th European Biomass Conference and Exhibition. 6-9 July 2020, e-Conference”.

6. Elenco pubblicazioni

Linea 1

Suardi A., Saia S., Stefanoni W., Gunnarsson C., Sundberg M., Pari L. Admixing Chaff with Straw Increased the Residues Collected without Compromising Machinery Efficiencies. *Energies* 2020, 13, 1766; doi:10.3390/en13071766

Bergonzoli S., Suardi A., Rezaie N., Alfano V., Pari L. An Innovative System for Maize Cob and Wheat Chaff Harvesting: Simultaneous Grain and Residues Collection. *Energies* 2020, 13, 1265; doi:10.3390/en13051265

Suardi A., Stefanoni W., Alfano V., Bergonzoli S., Pari L. Equipping a Combine Harvester with Turbine Technology Increases the Recovery of Residual Biomass from Cereal Crops via the Collection of Chaff. *Energies* 2020, 13, 1572; doi:10.3390/en13071572

Suardi A., Stefanoni W., Bergonzoli S., Latterini F., Jonsson N., Pari L. Comparison between Two Strategies for the Collection of Wheat Residue after Mechanical Harvesting: Performance and Cost Analysis. *Sustainability* 2020, 12, 4936; doi:10.3390/su12124936

Linea 2

Picchio R., Latterini F., Mederski P.S., Tocci D., Venanzi R., Stefanoni W., Pari L. Applications of GIS-based Software to Improve the Sustainability of a Forwarding Operation in Central Italy. *Sustainability* 2020, 12, 5716; doi:10.3390/su12145716.

Linea 3

Pietrini, F., Carnevale, M., Beni, C., Zacchini, M., Gallucci, F., Santangelo, E., 2019. Effect of different copper levels on growth and morpho-physiological parameters in giant reed (*Arundo donax*, L.) in semi-hydroponic mesocosm experiment. *Water* 11, 1–19.

Coppa, E., Astolfi, S., Beni, C., Carnevale, M., Colarossi, D., Gallucci, F., Santangelo, E., 2020. Evaluating the potential use of Cu-contaminated soils for giant reed (*Arundo donax*, L.) cultivation as a biomass crop. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27(8), 8662-8672.



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Santangelo, E., Beni, C., Paris, E., Del Giudice, A., Zacchini, M., Pietrini, F., Gallucci, F., 2020. Effect of groundwater level on giant reed (*Arundo donax*, L.) plants grown in mesocosms, in: Proceedings of the 28th European Biomass Conference and Exhibition. Virtual, pp. 212–215.

Linea 4

Dono, G., Picarella, M.E., Pons, C., Santangelo, E., Monforte, A., Granell, A., Mazzucato, A., 2020. Characterization of a repertoire of tomato fruit genetic variants in the San Marzano genetic background. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 261, Published online. doi:10.1016/j.scienta.2019.108927

Santangelo, E., Carnevale, M., Migliori, C.A., Picarella, M.E., Dono, G., Mazzucato, A., Gallucci, F., 2020. Evaluation of tomato introgression lines diversified for peel color as a source of functional biocompounds and biomass for energy recovery. *Biomass and Bioenergy* 141, 105735. doi:10.1016/j.biombioe.2020.105735

Carbone, K., Santangelo, E., De Angelis, A., Micheli, L., Frosinini, R., Gargani, E., Migliori, C.A., Mazzucato, A., 2020. Green synthesis of silver nanoparticles from hyperpigmented tomato skins and preliminary evaluation of the insecticidal activity, in: Proceedings of the 28th European Biomass Conference and Exhibition. Virtual, pp. 656–659.



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

Linea 2: Studio delle caratteristiche fisiche dei liquami e dei digestati.

Referenti: Mirco Garuti, Claudio Fabbri - CRPA

Abstract

I digestati di impianti di biogas sono “fluidi di processo” molto particolari in quanto le loro caratteristiche reologiche sono influenzate da una molteplicità di fattori (contenuto di sostanza secca, dimensioni e tipologia di solidi presenti, viscosità, lo stato di degradazione della sostanza organica, la temperatura, etc.). L'applicazione di tecnologie di separazione solido/liquido e la caratterizzazione chimico-fisica sono gli elementi fondamentali da correlare per valutare la compatibilità idraulica dell'utilizzo di tali fluidi in sede di distribuzione agronomica. Lo studio permette di comprendere meglio quali siano le caratteristiche di pompe utilizzate per la movimentazione di liquami e digestati. L'attività prevede di valutare le prestazioni di tre tipologie di pompe (pompe a lobi, a vite e centrifughe) in diverse condizioni operative al fine di associare a



condizioni di funzionamento anche i parametri reologici. Al fine di valutare come varia la viscosità apparente dei digestati chiarificati, parametro ritenuto fondamentale nel dimensionamento delle condotte e delle manichette, viene effettuata una serie di diluizioni progressive su digestato chiarificato con acqua di irrigazione.

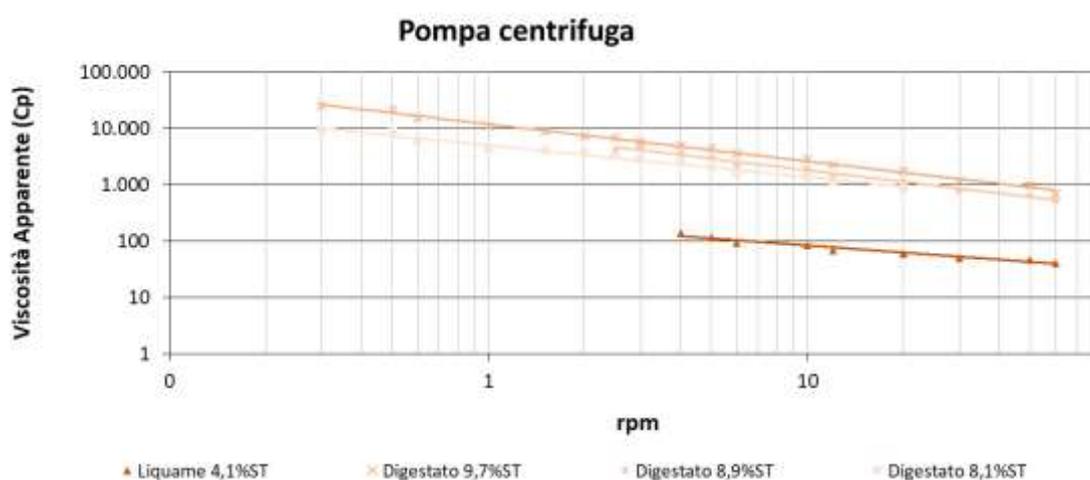
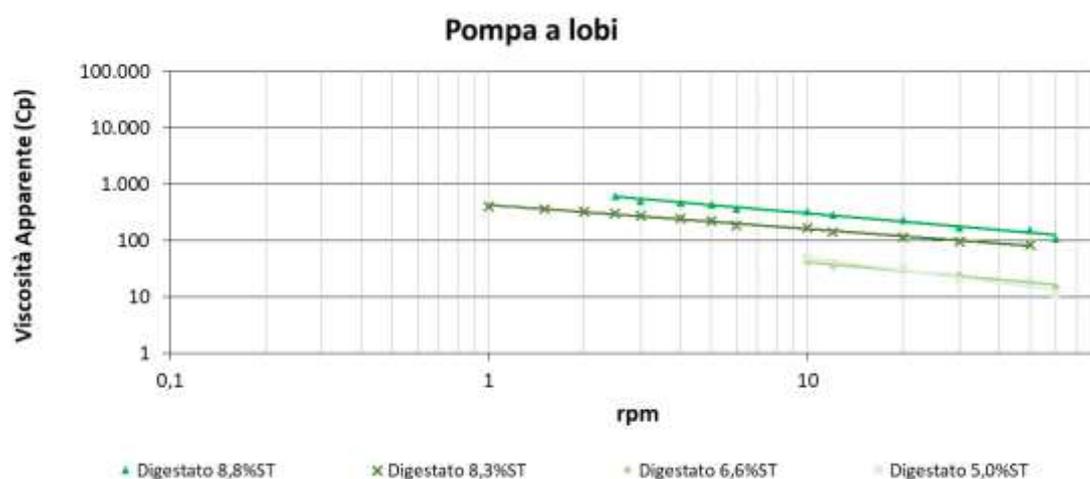
1. Attività svolta

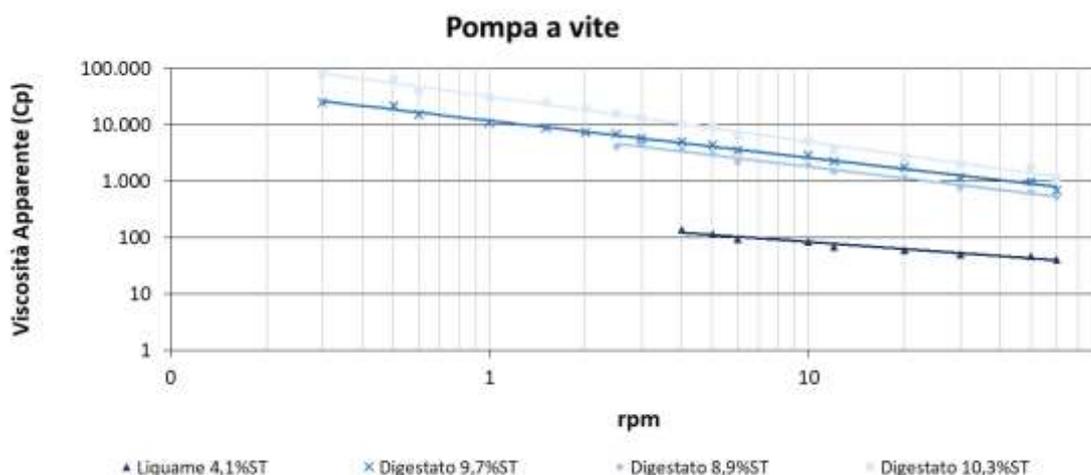
L'attività ha monitorato le prestazioni di tre tipologie di pompe (pompa a lobi, pompa centrifuga, pompa a vite) in diverse condizioni operative. I campionamenti dei fluidi sono stati effettuati su quattro diversi impianti di biogas di tipo agro-zootecnico; la tabella di alimentazione di ciascun impianto di biogas è risultata essere particolarmente stabile durante l'annualità e per questo motivo per valutare diverse tipologie di fluido sono stati campionati digestati caratterizzati da un diverso grado di degradazione anaerobica piuttosto che campionare la medesima tipologia di digestato in diversi momenti dell'anno. Le prestazioni delle pompe in termini di portata volumetrica e consumo elettrico sono state registrate al momento del campionamento utilizzando il sistema informatico della sala controllo dell'impianto di biogas. Le misurazioni sono state effettuate durante un funzionamento "a regime" per ogni tipologia di pompa e la temperatura del fluido è stata misurata on-site con un termometro da campo. L'analisi granulometrica dei fluidi è effettuata mediante setacciatura ad umido mediante vibrosetacciatore. La viscosità apparente dei fluidi oggetto dello studio viene misurata mediante un viscosimetro rotazionale. Al fine di valutare come varia la viscosità apparente dei digestati chiarificati, sono state effettuate una serie di diluizioni progressive di campioni di digestato chiarificato con acqua di irrigazione. Per queste prove, la viscosità è stata misurata a 25°C e le diluizioni successive espresse come rapporto v/v sono state le seguenti: 1:2,5 , 1:5 , 1:10 , 1:20.

2. Risultati e deliverable

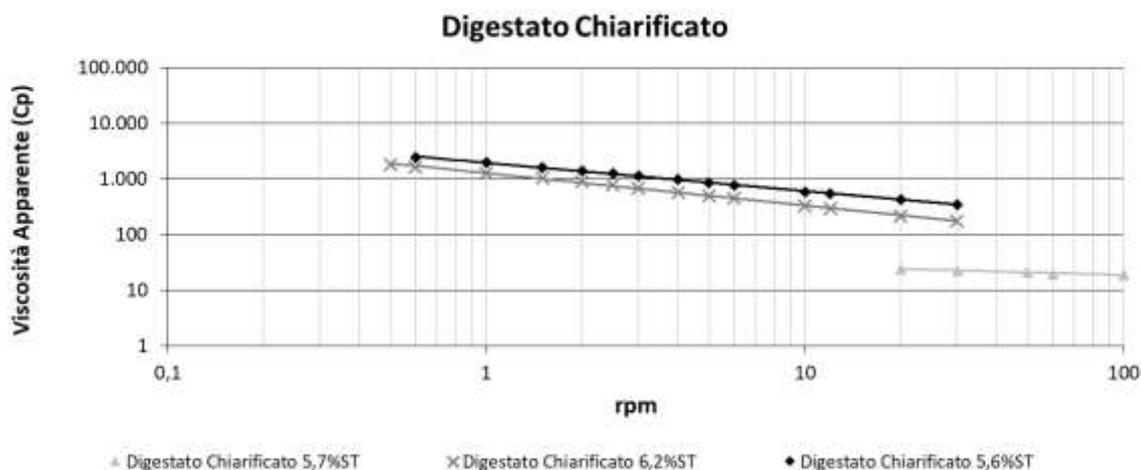
L'attività ha avuto come obiettivo principale l'esecuzione di misure di parametri innovativi (viscosità apparente e distribuzione granulometrica dei solidi) atti a caratterizzare gli aspetti reologici del digestato. Sono state monitorate le prestazioni di tre tipologie di pompe (pompe a lobi, centrifuga, a vite) in diverse condizioni operative al fine di associare a condizioni di funzionamento anche i parametri reologici dei fluidi movimentati. I digestati e il liquame bovino presentano un comportamento di fluido non-Newtoniano pseudoplastico (shear-thinning); il modello di potenza è stato applicato per descrivere la viscosità dei fluidi. Le biomasse utilizzate nell'impianto di biogas hanno un ruolo determinante nel comportamento reologico del digestato in uscita; da un punto di vista pratico la distribuzione granulometrica dei solidi può essere spiegata calcolando l'area di superficie specifica (Specific Surface Area – SSA) dei solidi presenti nel fluido. In particolare, all'aumentare dell'area di superficie specifica diminuisce anche la viscosità in quanto ad un più elevato valore di area di superficie specifica corrisponde anche una riduzione del diametro medio

dei solidi e di conseguenza un minore attrito tra le particelle che favorisce lo scorrimento del fluido. Durante la sperimentazione sono state confermate evidenze riportate anche in altri studi quali l'importanza del contenuto idrico nel fluido (diminuzione della viscosità del digestato al diminuire del contenuto di solidi totali presenti nel fluido). Nella presente attività è stato osservato un comportamento analogo anche per quanto riguarda il contenuto di solidi volatili confermando come la digestione anaerobica determina un'idrolisi della sostanza organica in fermentazione e di sostanze pectiche e colloidali portando ad una riduzione della viscosità del digestato (diminuzione della viscosità del digestato al diminuire del contenuto di solidi volatili presenti nel fluido).





Viene mostrata la viscosità apparente su tre digestati chiarificati non soggetti ad alcuna diluizione.



Nonostante la sostanza secca dei digestati chiarificati analizzati sia compresa tra 5-6%, la viscosità può essere in alcuni casi anche molto diversa e tali differenze probabilmente sono da ricercare nella tipologia di biomasse utilizzate e nel sistema di separazione solido/liquido usato. A valori di velocità della girante del viscosimetro maggiori di 10 rpm, la viscosità apparente dei digestati chiarificati è risultata essere compresa tra 10-1.000 Cp. Sono state effettuate una serie di diluizioni progressive di campioni di digestato chiarificato con acqua di irrigazione per capire come la diluizione con acqua possa influire sulla viscosità del fluido, in quanto proprio la viscosità è considerata uno dei parametri fondamentali nel



dimensionamento delle condotte e delle manichette. La viscosità apparente dei digestati chiarificati campionati nella presente attività è risultata essere compresa tra 10-1.000 Cp; diluizioni progressive di tali campioni di digestato chiarificato con acqua di irrigazione hanno mostrato come la diluzione digestato:acqua 1:5 v/v sia sufficiente per ottenere una viscosità del fluido inferiore a 10 cP.

L'attività ha portato alla stesura del deliverable

D.5.4.2 Rapporto sugli effetti delle caratteristiche reologiche dei digestati

LINEA 3

Il successo dell'uso del digestato in fertirrigazione dipende da molteplici fattori. Questi includono, la quantità di solidi nel liquido o nella sua frazione filtrata, la capacità delle particelle sospese di creare un biofilm, la pressione dell'acqua, il tipo di filtro e i gocciolatori. In caso di pressioni basse (60 kPa), in accordo con le attuali tendenze, e basse portate (0.9 e 1.4 L h⁻¹ per gocciolatore), si sono verificate riduzioni dell'uniformità di distribuzione a seconda del liquido utilizzato ma nella media del 5 %. Pertanto, è pratica comune effettuare un controlavaggio delle manichette al termine del turno irriguo per ridurre l'occlusione dei gocciolatori, normalmente i prodotti utilizzati sono a base di cloro. Tali prodotti però, rappresentano un costo aggiuntivo e la loro applicazione nel suolo potrebbe avere effetti negativi anche sulle piante, considerando che le esperienze che hanno utilizzato solo aria compressa per limitare l'occlusione delle manichette non hanno avuto successo. L'uso del digestato è in forte aumento e la sua frazione liquida viene considerata come potenzialmente utilizzabile per la fertirrigazione in manichetta. È da sottolineare come le informazioni su tale uso sono ancora limitate a poche esperienze e dati relativi alla sua composizione non sono affidabili vista la grande variabilità di tale prodotto. La sua composizione, considerando la frazione solida, potrebbe facilmente occludere i gocciolatori, di contro però la sua composizione Azotata potrebbe avere riscontri positivi sullo sviluppo delle piante. Attualmente poche informazioni sono disponibili sull'efficienza dei gocciolatori quando soggetti a irrigazione di digestato liquido che contiene una grande quantità di materia organica. L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di favorire l'uso del digestato liquido in fertirrigazione in manichetta limitando lo spargimento del digestato con carribotti che sono responsabili di volatizzazione dell'ammoniaca, lisciviazione dell'azoto e compattamento del suolo. In particolare, l'obiettivo dello studio è stato



quello di valutare gli effetti del filtro a idrociclone come unico sistema di filtraggio del digestato liquido e senza sistemi di lavaggio delle manichette. Pertanto, il digestato, separato liquido, è stato sottoposto a filtraggio con idrociclone e pompato in un differente container. Successivamente il prodotto filtrato è stato diluito in tre differenti percentuali, con valore sempre crescente per poi essere testato in una prova di irrigazione a confronto con l'acqua.

1. controllo con acqua
2. digestato al 10%
3. digestato al 25%
4. digestato al 50%

Il sistema di irrigazione è stato realizzato presso i laboratori del CREA-IT della sede di Treviglio (BG) ed era organizzato da tre tubi gocciolatori, ciascuno della lunghezza di 1 metro e con tre gocciolatori autocompensanti distanziati di 0.33 m l'uno dall'altro. Ciascun ciclo di irrigazione ha avuto una durata complessiva di 8 ore, durante la quale la pompa dell'acqua utilizzata era stata impostata a 0,2 MPa di pressione.

Il serbatoio contenente prima solo acqua e poi le rispettive diluizioni aveva sempre 400 litri di volume finale.

Per ogni trattamento, l'acqua diluita con il digestato è stata raccolta all'interno di contenitori di plastica rispettivamente numerati, che ogni ora sono stati pesati al fine di calcolare il flusso d'acqua espresso in $l\ h^{-1}$.

Ai fini delle analisi, prima di ogni singolo test e successivamente per ogni ora, sono stati raccolti i campioni dal serbatoio di irrigazione e dai contenitori di plastica per misurare la sostanza secca, il pH della soluzione e la torbidità. Il contenuto di sostanza secca dei rispettivi campioni è stato determinato dopo la misurazione del contenuto di umidità, secondo la norma ISO 18134-1: 2015 "Biocombustibili solidi - Determinazione del contenuto di umidità - Metodo di essiccamento del forno Umidità totale - Metodo di riferimento". Il pH è stato misurato mediante un semplice pHmetro CRISON e la torbidità mediante sensori che misuravano la conducibilità elettrica espressa in mV. Pertanto un elevato valore riscontrato indica una bassa torbidità.

L'obiettivo della prova è stato quello di valutare la diluizione ottimale di digestato, affinché l'impianto non fosse compromesso per via della presenza di sostanze in grado di ostruire i gocciolatori dell'impianto a goccia. D'altro canto, tentare di trasformare l'onere dello smaltimento del digestato in risorsa per la fertirrigazione, che attualmente rappresenta il punto critico del sistema, l'uso del digestato potrebbe soddisfare le condizioni di bilancio energetico e il carbon foot print, oltre a ridurre i costi di fertilizzazione.

2. Risultati e deliverable

I principali risultati emersi dalla sperimentazione condotta possono essere sintetizzati secondo due differenti effetti, che vengono di seguito riportati:

1. Effetto derivante dal processo di filtrazione effettuato mediante l'impiego di idrociclone
2. Efficienza del sistema di irrigazione sulla base della concentrazione di digestato impiegato.

Nel primo caso, il pre-trattamento del digestato e quindi la filtrazione mediante idrociclone della frazione liquida ha causato in primo luogo una variazione del pH, rispetto al valore iniziale del digestato non ancora filtrato che mostrava un valore superiore a 8.2. Il confronto tra il valore del pH della frazione di digestato iniziale, subito dopo il filtraggio mostrava valori nettamente superiori rispetto alla frazione scartata dal filtro e dell'acqua utilizzata come controllo.

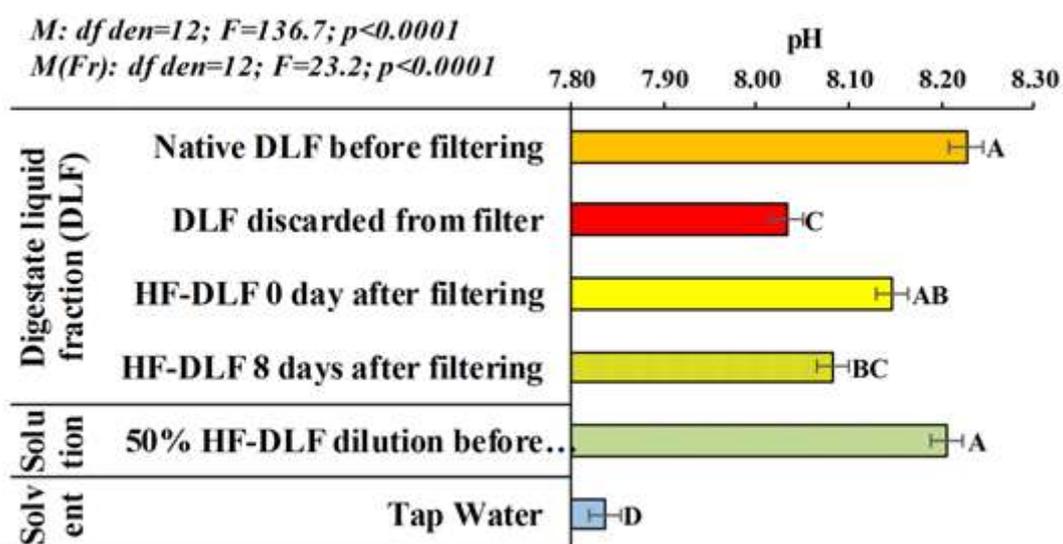




Figura 1. Confronto dei valori del pH dell'acqua e del digestato.

Per quanto concerne i valori relativi a di sostanza secca e torbidità, il filtraggio non ha avuto effetti significativi sulla matrice, mostrando valori simili prima e dopo il filtraggio.

D'altro canto, anche l'importante valore rappresentato dalla torbidità ha mostrato valori differenti tra l'acqua ed il filtrato. In tabella 1 si riportano valori di torbidità monitorati nel tempo (per l'intero ciclo di irrigazione pari ad 8 ore) mediante appositi sensori immersi all'interno della soluzione e dunque e il contenuto di sostanza secca, espresso in percentuale.

Il secondo effetto valutato durante lo studio, in termini di performance del sistema di irrigazione in funzione dei diversi trattamenti di digestato ha mostrato variazioni. In particolar modo, la torbidità variava nel tempo in base al trattamento.

Importante è stato vedere come le differenti diluizioni influenzavano la quantità della soluzione rilasciata dai gocciolatori. In tabella 1, vengono riportati i valori in termini di portata espressa in $l \cdot h^{-1}$ per ciascuna linea corrispondente alle rispettive diluizioni applicate.

Portata del sistema di irrigazione			
Trattamento	Linea	Litri complessivi	$l \cdot h^{-1}$ (media)
Acqua	1	79	3.3
	2	77.6	3.2
	3	78.7	3.3
10%	1	83.5	3.5
	2	80.4	3.4
	3	82.3	3.4



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

25%	1	84.0	3.5
	2	82.7	3.4
	3	83.4	3.5
50%	1	75.0	3.1
	2	75.6	3.2
	3	79.0	3.3

Tabella 1. Portata del sistema di irrigazione alimentato a diverse diluizioni di digestato.

In particolare, le diluizioni più basse, quella del 10% e del 25%, hanno mostrato maggiori rilasci rispetto all'acqua. Il 50% ha mostrato invece una quantità totale rilasciata leggermente inferiore rispetto agli altri trattamenti. Al fine di verificare eventuali occlusioni dei gocciolatori dell'impianto, è stata effettuata una ispezione della serpentina utilizzata durante la prova con digestato diluito al 50%, che nonostante fosse la concentrazione più alta non ha provocato nessun intasamento al sistema di irrigazione.

Durante le prove di irrigazione sono state monitorate così come la portata dei gocciolatori, anche la torbidità e la sostanza secca (%), i risultati sono riportati in tabella 2.

Treatmento	Tempo (h)	S.S. (%)	Torbidità (mV)
10%	1	0.22	393.33
	2	0.15	387.89
	3	0.15	389.11
	4	0.16	389.11
	5	0.23	383.11



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

	6	0.08	387.56
	7	0.18	381.89
	8	0.16	381.33
25%	1	0.36	166.11
	2	0.35	155.22
	3	0.35	161.22
	4	0.32	162.33
	5	0.34	157.33
	6	0.34	155.78
	7	0.35	160.00
	8	0.35	158.89
50%	1	0.65	57.33
	2	0.68	58.33
	3	0.71	53.56
	4	0.71	58.11
	5	0.68	62.22
	6	0.71	55.22
	7	0.72	56.44
	8	0.75	55.67

Tabella 2. Valori di sostanza secca determinata ad ogni ora e misura della torbidità di ogni singolo trattamento.



I risultati hanno evidenziato come la torbidità della matrice è aumentata con l'aumentare della concentrazione di digestato così come la percentuale di sostanza secca.

Infine, nella tabella 3 si riporta la composizione del digestato utilizzato durante la prova sperimentale.

Trait	Value	Unit	Method
Dry matter content at 105°C	4.91±0.03	%	
Ashes (dry matter content at 600°C)	1.42±0.02	%	IRSA CNR Q 64 Vol 2 1985
Chemical Oxygen demand (COD)	51.0±1.8	g O ₂ kg ⁻¹	APAT IRSA CNR 5130 Man 29 2003
Total N	3.55±0.02	g N kg ⁻¹	
NH ₄ ⁺ -N	1.848±0.025	g N kg ⁻¹	IRSA CNR Q 64 Vol 3 1985
Phosphorus	0.843±0.051	g P kg ⁻¹	
Potassium	4.96±0.25	g K kg ⁻¹	UNI EN 16174:2012 and 16170:2015

Tabella 3. Composizione del digestato.

I risultati della prova sperimentale hanno dimostrato che utilizzando un digestato liquido, separato fisicamente dalla frazione solida, con le caratteristiche riportate in tabella 3 è possibile fertirrigare utilizzando delle manichette autocompensanti fino ad una percentuale del 25 % di digestato, senza riscontrare variazioni significative nella portata dei gocciolatori. Chiaramente sarà necessario valutare dei turni irrigui superiori alle 8 ore, per studiare eventuali occlusioni dovute alla flocculazione delle particelle rimaste nelle manichette a fine irrigazione, così come valutare diverse tipologie di digestato.

I risultati sono stati esposti nel deliverable 5.4.3.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Non si prevede nessun ostacolo



4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Nel corso della primavera-estate 2020 saranno eseguiti ulteriori test con il digestato liquido.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

Non è stata eseguita nessuna attività di formazione, divulgazione e disseminazione

6. Elenco pubblicazioni

Bergonzoli, S., Brambilla, M., Romano, E., Saia, S., Cetera, P., Cutini, M., Toscano, T., Bisaglia, C., Pari, L. (2020). Feeding Emitters for Microirrigation with a Digestate Liquid Fraction up to 25% Dilution Did Not Reduce Their Performance. *Agronomy*, 10(8), 1150.



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 4 lavori su riviste internazionali e altri due sono in fase di submission.

1. Attività svolta

Linea 1 di attività: Sviluppo e/o valutazione di metodi indiretti di stima delle proprietà chimico-fisiche delle materie prime e pellet da esse derivati

In collaborazione con ENAMA sono stati collezionati circa 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, ma è stata pubblicata una review generale sull'argomento (Antonucci et al., 2019).

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 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 3 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.makerfairerome.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 n corso di scrittura. Una participation come poster al XXXVII CIOSTA & CIGR Section V Conference - Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems - 13-15 June, Palermo, Italy (<http://www.aidic.it/ciosta2017/>). E' stata condotta una visita presso gli impianti di produzione di pellet in Calabria. Partecipazione al Maker Faire 2016 (<http://www.makerfairerome.eu/it/>) per presentare il progetto Agroener ed un prototipo di qualificazione rapida del pellet. Sono stati inoltre condotte attività dimostrative in diverse regioni



(Calabria, Veneto, Lazio). Il prototipo di valutazione è stato presentato alla giornata dimostrativa svolta presso il CREA-IT di Monterotondo il 26 Giugno 2019.

6. Elenco pubblicazioni

Antonucci F, Figorilli S, Costa C, Pallottino F, Raso L, Menesatti P, 2019. A Review on blockchain applications in the agri-food sector. *JOURNAL OF THE SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE*, 99: 6129–6138.

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

Le attività svolte nel quarto anno riguardano la prosecuzione e l'implementazione delle attività di ricerca relativa alle linee 1, 2, 4 e 5. In particolare, sono stati condotti studi di simulazione dei



processi termochimici, tramite analisi termogravimetrica, studi di monitoraggio e analisi delle emissioni da processi di conversione termochimica e biochimica di biomasse residuali, con maggior attenzione verso l'utilizzo di biomasse residuali e/o di scarto. Durante le attività di ricerca, è stato possibile introdurre nuove tipologie di combustibili, come il pellet da fondi di caffè, per i quali oltre alla caratterizzazione, svolta analogamente agli anni precedenti, si è reso necessario uno studio approfondito delle emissioni di macro e microinquinanti organici e inorganici. Pertanto, si è ritenuto fondamentale approfondire le attività di ricerca con analisi di VOC, IPA, PCB, Diossine, Aldeidi e marcatori caratteristici della combustione della biomassa come gli zuccheri dovuti alla combustione della cellulosa, tra i quali rivestono un ruolo predominante il Levoglucosano, Galattosano e Mannosano. In aggiunta, sono stati sviluppati nuovi sistemi di campionamento di composti inquinanti in emissione e marcatori della combustione delle biomasse.

1. Attività svolta

Le attività svolte nel quarto 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 sia in condizioni incontrollate (*open burning*) mediante l'impiego di una caldaia senza alcun sistema di abbattimento delle emissioni, sia in condizioni controllate tramite l'utilizzo di una caldaia dotata di filtro multiciclonico. 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. L'attività si è focalizzata sullo studio di emissioni gassose in atmosfera e l'analisi di VOC, Idrocarburi Aromatici, Aldeidi, Levoglucosano, sulla caratterizzazione di biomasse residuali, materiali di scarto, sullo sviluppo di nuove tecniche di campionamento per le analisi di inquinanti e marcatori in emissione e sull'indagine delle tecnologie e sistemi di ottimizzazione dei processi di conversione energetica. È stato inoltre sviluppato un metodo di campionamento e analisi in grado di determinare simultaneamente microinquinanti volatili organici e inorganici con la prospettiva di ridurre ed ottimizzare tempi e costi di campionamento e di analisi. In quest'ottica, si è scelto di utilizzare tubi e trappole monostrato basate su fibra di carbonio attivato (ACF) come materiale adsorbente per il campionamento, il termodesorbimento e la successiva analisi in GC/MS QQQ (7000 Agilent), di una classe di composti rappresentativi dei microinquinanti organici, i VOC (Composti Organici Volatili).

Linea 1

- Caratterizzazione di cippato di biomasse agricole residuali provenienti dal sud Italia

Diverse potature di colture ampiamente diffuse nel sud Italia sono state valutate ai fini della produzione di energia. Sono state condotte misurazioni sulla composizione della biomassa e sul potenziale energetico, e successivamente sono state valutate le emissioni di monossido di carbonio



(CO), anidride carbonica (CO₂), ossigeno (O₂), ossidi di azoto (NO_x), biossido di zolfo (SO₂), carbonio organico totale (TOC) e di particolato (PM), durante la combustione in una caldaia da 30 kW_{th} dotata di filtro multiciclonico per l'abbattimento delle polveri più grossolane. Lo scopo di questo studio è stato quello di ottenere una chiara descrizione di diverse biomasse e del loro comportamento durante la combustione, dando una risposta sul miglior materiale disponibile da coltivare diffuse in Italia, sia dal punto di vista energetico che di sostenibilità ambientale. L'attività di ricerca ha riguardato la caratterizzazione di biomassa residuale proveniente da potature, effettuate in campi sperimentali dell'ARSAC (Azienda Regionale per lo sviluppo dell'Agricoltura Calabrese). Sono state individuate le principali colture arboree da frutto presenti nel territorio calabrese rappresentate principalmente da olivo, agrumi, vite e drupacee. A seguito della caratterizzazione chimico-fisica, l'analisi elementare ha rivelato differenze significative per il contenuto in Azoto tra le biomasse: vite e susino hanno valori maggiori valutando il possibile effetto positivo della dispersione della potatura della vite come fertilizzante, con la possibilità di ridurre gli input chimici e aumentare la sostenibilità degli agroecosistemi. Olivo e susino mostrano inoltre la migliore efficienza energetica, con valori di potere calorifico inferiore significativamente maggiori rispetto a vite ed agrumi.

- **Sviluppo di un innovativo sistema mediante TGA per il campionamento delle emissioni dalla pirolisi della biomassa usata nel fitorimedio per la bonifica di suoli contaminati**

La strumentazione di cui è dotato il laboratorio LASER-B, ha reso possibile una serie di studi sull'analisi termogravimetrica (TGA). Nello specifico è stata intrapresa una sperimentazione sull'utilizzo di un innovativo sistema accoppiato alla TGA per il campionamento dei metalli nelle emissioni generate dalla pirolisi di biomassa contaminata, al fine di ampliare le indagini sul riutilizzo di piante usate nel fitorimedio. Il biorisanamento assistito da piante rappresenta una tecnica ecologica per il recupero e la bonifica dei suoli contaminati e la biomassa prodotta da queste colture è considerata un prodotto di scarto potenzialmente dannoso. Perciò si è pensato di studiarne le caratteristiche chimico-fisiche ed energetiche allo scopo di capire se possano essere trattate come biomasse tradizionali, ad esempio nei processi di conversione energetica (pirolisi, gassificazione, ecc.). Il processo di gassificazione è stato simulato attraverso una TGA/DSC 1 STAR[®] System (Mettler Toledo) utilizzando pioppo contaminato, successivamente, le emissioni sono state caratterizzate per valutare la presenza di eventuali contaminanti. Il sistema TGA-DTA è interfacciato con un filtro e un sistema di gorgogliamento per raccogliere in soluzione i metalli emessi. Tali valutazioni sono state fatte in piccola scala e facilmente ripetibili per prevedere i principali aspetti della gassificazione, confrontando poi i risultati dell'esperimento con quelli ottenuti utilizzando la stessa biomassa in un impianto di gassificazione a letto fluido. I metalli sono stati quantificati attraverso il sistema ICP-MS (7700 Agilent) e tutte le analisi sono state eseguite in triplicato. Per validare i risultati del nuovo sistema è stato utilizzato un gassificatore a letto fluido, presente presso La Sapienza Università di Roma. Le potature hanno mostrato alte concentrazioni di macroelementi (Na, Mg, K, ecc.)



comunemente presenti in tutte le biomasse, ma anche importanti quantità di metalli pesanti come Stronzio, Zinco, Cadmio e Rame. Hanno mostrato invece scarsa presenza di particolato. I metalli, inoltre in parte sono stati identificati nei gorgogliatori e altri nelle ceneri (*Bottom ash*). Questo studio ha confermato che l'apparato strumentale proposto rappresenta uno strumento predittivo interessante per determinare il destino dei metalli contenuti nella biomassa.

- **Impiego di frumento e prodotti derivati contaminati da micotossine da utilizzare come substrato per l'immissione in processi di sfruttamento energetico.**

Sulla base dei risultati ottenuti, è stato approvato un programma di ricerca che si pone come un approfondimento sulla gestione di substrati vegetali a base cerealicola contaminanti e potenzialmente utilizzabili per lo sfruttamento energetico. In particolare, gli aspetti di maggiore interesse riguardano sia indagini analitiche mirate ad una migliore caratterizzazione della matrice impiegabile come risorsa energetica attraverso indagini di tipo spettroscopico e microscopico, sia la valutazione dell'impiego dei substrati stessi in processi termochimici e/o biochimici. I principali obiettivi riguardano la caratterizzazione della materia prima a base di frumento contaminato da *Alternaria* spp. attraverso analisi speditive di tipo spettroscopico (Infratec-NIT) come strumento di screening in ingresso nella filiera di trasformazione e la valutazione dell'utilizzazione, ai fini dello sfruttamento energetico, di materie prime a base di frumento contaminate da micotossine che non sono utilizzabili ai fini dell'alimentazione umana o animale in quanto non conformi alla normativa vigente (es.: fusariotossine) o all'attenzione della Commissione europea per la valutazione del rischio di esposizione a micotossine emergenti (es.: tossine dell'*Alternaria* spp.). Nell'insieme, dai risultati finora ottenuti sembra delinearsi un quadro di possibile interesse verso lo sfruttamento energetico di substrati vegetali di tipo cerealicolo contaminati da micotossine, che quindi potrebbero essere utilizzati per un recupero parziale ma efficace e sostenibile di risorse naturali altrimenti destinate allo smaltimento come rifiuto. Tuttavia, le informazioni finora acquisite costituiscono soltanto un approccio sperimentale preliminare, e di conseguenza ancora incompleto, allo studio che è ancora in corso di svolgimento e approfondimento. L'analisi morfologico-strutturale della granella di frumento duro ha permesso di acquisire immagini della presenza di *Alternaria* spp. all'interno della cariosside che, seppur in condizioni di infezione artificiale, forniscono informazioni aggiuntive sulla capacità invasiva del fungo nel superare le barriere tegumentali esterne per raggiungere le strutture interne (endosperma) ricche in amido e proteine situate nella parte più interna della cariosside stessa.

Linea 2

Linea 2.1

Swot analysis sistemi di upgrading biometano

I nuovi schemi di incentivazione della produzione di biometano, definiti dal DM 5 dicembre 2013, hanno reindirizzato l'attenzione degli operatori di settore verso questa nuova opportunità



imprenditoriale. La normativa di incentivo del biometano è stata successivamente revisionata, ed è regolamentata dal decreto interministeriale del 2 Marzo 2018 sulla promozione e uso del biometano e degli altri biocarburanti avanzati a cui è seguita, a metà del 2018, la pubblicazione delle procedure applicative da parte del GSE. In aggiunta, la norma UNI/TS 11567 regola la qualificazione degli operatori economici della filiera di produzione del biometano ai fini della tracciabilità e del bilancio di massa. Le caratteristiche operative dei diversi sistemi di upgrading e la loro compatibilità con gli impianti di produzione di biogas esistenti o nuovi in relazione all'utilizzo del biometano stesso (immissione in rete o vendita diretta), sono i principali elementi che indirizzeranno la scelta dell'imprenditore su una tecnologia piuttosto che su un'altra. L'attività si pone l'obiettivo di fare un'analisi dettagliata dell'applicazione delle diverse tecnologie (Swot analysis: punti di forza "Strengths", debolezza "Weaknesses", opportunità "Opportunities" e le minacce "Threats") in due casi di studio relativi ad un impianto esistente che amplia la sua capacità produttiva e di un impianto nuovo dedicato con l'obiettivo di valorizzare il biometano sia immesso in rete che ceduto come biocombustibile. Gli aspetti tecnici, operativi ed economici saranno gli elementi di valutazione principali dei due studi di fattibilità che verranno analizzati. Nell'attività sono stati analizzati scenari che simulano la conversione di due impianti di biogas in impianti di biometano. Nei due casi di studio la potenza elettrica installata in partenza è pari a 999 kW, uno è pensato per un'installazione localizzata nel nord Italia mentre l'altro ubicato nel sud Italia. La dieta dei due impianti, per la produzione di biometano, è stata pensata in modo da produrre biometano avanzato, quindi basata sull'alimentazione di "materie di cui alle parti A e B dell'Allegato 3 del decreto del Ministro dello sviluppo economico 10 ottobre 2014 e successive modifiche". In questo studio si è scelta la tecnologia di separazione a membrana come sistema di upgrade per la facilità di installazione, lo scarso ingombro e la semplicità gestionale.

Linea 2.2

- **Valutazione degli effetti dei pretrattamenti meccanici sulla composizione del biogas e del digestato**

Il processo di digestione anaerobica consiste nella degradazione della sostanza organica in composti semplici e nella loro successiva conversione in biogas, una miscela composta da metano, anidride carbonica e altri gas in tracce. Ogni fase del processo è influenzata da molti parametri chimici, fisici e delicati equilibri microbiologici. A seconda della complessità delle molecole delle matrici organiche caricate nei digestori, il processo può essere più o meno veloce: composti come gli acidi organici e gli zuccheri semplici si degradano molto rapidamente; quelli più complessi come gli aminoacidi, le frazioni fibrose e i lipidi richiedono invece tempi più lunghi. La velocità di degradazione rappresenta uno dei parametri più importanti nel dimensionamento della volumetria dei digestori e/o nella scelta delle tecnologie impiantistiche. Al fine di sfruttare al meglio il potenziale energetico delle biomasse è importante dimensionare i digestori in modo tale da garantire un tempo di ritenzione



idraulica sufficiente ai batteri per degradare le molecole organiche: nel caso degli effluenti suinicoli, ad esempio, si dimensionano i digestori con tempi di ritenzione di 20-25 giorni, che diventano 35-40 per quelli bovini e almeno 50-70 giorni per le biomasse dedicate. Per aumentare la flessibilità impiantistica da un punto di vista di dieta, allargando le possibilità di approvvigionamento, sul mercato sono disponibili diverse tecniche di pretrattamento delle matrici, tutte con lo scopo di aumentare ed accelerare il processo di degradazione della sostanza organica, ovvero velocizzare la fase idrolitica in modo da rendere maggiormente disponibili determinati composti organici. Queste tecniche possono essere di diverso tipo: termiche, chimiche, biologico-enzimatiche, fisico-meccaniche. L'obiettivo della linea di lavoro è quello di valutare gli effetti di diversi pretrattamenti meccanici su svariate matrici lignocellulosiche, con lo scopo di incrementare la produzione di biogas e di ottimizzare le caratteristiche idrauliche degli impianti di digestione anaerobica.

Linea 4

- **Confronto tra VOC emessi dall'arancia con e senza buccia e sviluppo di un sistema di abbattimento delle emissioni**

Una delle attività sperimentali relativa alla linea 4 ha riguardato la valutazione della capacità di assorbimento ed abbattimento dei VOC emessi durante processi di combustione, al fine di migliorare l'efficienza e la sostenibilità di processi di conversione energetica. Nello specifico, il caso in esame, ha riguardato lo studio delle bucce di arancia che appartengono ad un importante settore economico agroindustriale, che di conseguenza gestisce una grande quantità di rifiuti. L'attività di ricerca ha previsto una prima fase di valutazione dei VOC emessi dall'arancia con e senza buccia, campionando attraverso la tecnica dello spazio di testa, a cui è seguita una simulazione del processo di combustione dei trucioli di pioppo provenienti dalle colture del CREA-IT di Monterotondo per valutare l'effetto di abbattimento dovuto alla presenza del filtro costituito dalla buccia d'arancia. Tutti i test e le analisi sono stati condotti presso il LASER-B (laboratorio per l'attività sperimentale sulle energie rinnovabili da biomassa) del CREA-IT. È stata creata una camera di vetro con un cappuccio sigillabile meccanicamente per evitare l'uso di siliconi e colle. La camera è stata mantenuta a 30°C per stimolare la produzione di VOC. Il campionamento dei VOC per determinare il profilo aromatico è stato condotto con un tubo adsorbente ACF autoprodotta utilizzando un'aspirazione a flusso costante (50 ml/min) per campionare lo stesso volume d'aria (1L). È stato effettuato un primo campionamento con la camera del termostato completamente vuota per ottenere il bianco del sistema. Successivamente i campionamenti sono avvenuti in triplicato inserendo nella camera arance con e senza buccia. Un campione di biomassa (pioppo), è stato collocato all'interno del sistema TGA (analisi termogravimetrica) (TGA/DCS 1 STAR[®] System Mettler Toledo) simulando un processo di combustione usando aria con velocità di riscaldamento (90°C/min) da 25°C a 900°C. Alla fine del sistema è stato posizionato un tubo ACF per campionare i gas generati dal processo, in assenza di filtri di abbattimento. Lo stesso test è stato eseguito



inserendo la buccia d'arancia essiccata triturata (0,1858 g) in un apposito filtro posizionandola nel sistema TGA-Tube. Tutti i prodotti sono stati analizzati con un desorbitore termico (TD 100-xr, Markes) accoppiato a un sistema GC/MS (7000 Agilent). In particolare, si è scoperto che il profilo aromatico dell'intera arancia è composto da 42 VOC, mentre nelle stesse condizioni l'arancia senza buccia produceva 101 VOC. L'arancia senza buccia e semi aperta mostra un gran numero di composti, oltre a quelli già identificati nell'arancia intatta. È stato dedotto che la buccia risulta essere una membrana difficilmente permeabile che trattiene la maggior parte dei composti organici e che quindi potrebbe essere sfruttata per un effetto attenuante degli inquinanti volatili. L'uso dell'apparato strumentale TGA ha permesso di simulare la combustione su piccola scala della biomassa di pioppo e di tracciare un profilo dei VOC generati durante questo processo. L'uso di un filtro composto da buccia d'arancia ha mostrato una riduzione significativa dei VOC. L'analisi qualitativa delle emissioni generate dalla simulazione della combustione del pioppo ha permesso di identificare 165 composti. Questo numero è ridotto a 85 composti usando il filtro creato. È chiaro che la maggior parte dei VOC generati dal processo di combustione sono ridotti o addirittura inferiori al LOD dall'effetto filtro.

- Caratterizzazione chimica e fisica del pellet composto da biomassa di diverse essenze

Lo studio sulla gestione dei residui di potatura è stato condotto nell'ottica di un approccio sempre più sostenibile e ha riguardato la caratterizzazione chimico-fisica di pellet composto da biomasse residuali derivanti da potature di alberi da frutto. La produzione di pellet dalla potatura degli alberi da frutto è un'importante risorsa energetica che permette il riutilizzo di un prodotto di scarto che altrimenti rischia di essere destinato alla combustione all'aperto (*open burning*). Tali fenomeni di combustione rappresentano sorgenti emissive di inquinanti atmosferici come NO_x, SO₂, CO₂, PM, VOC e altri. L'utilizzo di tali biomasse per la produzione di pellet risulta essere un'ottima alternativa per evitare combustioni incontrollate e per ricavare energia da fonti rinnovabili. Durante l'attività sono stati valutati non solo le singole essenze, ma anche delle miscele di esse. Infatti, unire insieme diversi residui di potatura agricola può rivelarsi un'opzione interessante per aumentare alcune proprietà dei pellet che difficilmente soddisferebbero i requisiti di qualità stabiliti. Lo scopo di questa linea di ricerca è stato analizzare le proprietà chimiche e fisiche dei pellet prodotti dalle potature di kiwi e agrumi e la loro miscela al 100% e 50%. Sono stati analizzati sei tipi di pellet composti da tre diverse essenze come kiwi, agrumi e olive (3 con le essenze pure e 3 con le combinazioni al 50% delle 3 essenze), al fine di valutare le loro caratteristiche energetiche mediante determinazione del contenuto di umidità, ceneri, potere calorifico e composizione elementare. Da questa ricerca si può concludere che la caratterizzazione chimica e fisica del pellet è un utile strumento preliminare volto a valutare l'effettiva efficienza di questo biocarburante e ci aiuta a valutare e sviluppare la giusta composizione da utilizzare sia in ambienti industriali che domestici.



- **Miscela di pellet ottenute da fondi di caffè, caratterizzazione energetica e studio delle emissioni a seguito della combustione.**

La valorizzazione termica dei fondi di caffè ha riguardato miscele di diverse percentuali di fondi di caffè e segatura attraverso un approccio multivariato, con l'obiettivo di capire come la composizione e i parametri energetici possano cambiare con il rapporto fondi di caffè/segatura. I fondi di caffè sono stati essiccati in un forno Memmert UFP800 e sono stati miscelati con diverse percentuali di segatura 0% (A), 15% (B), 25% (C) e 66% (D). Sono stati realizzati 4 tipi di pellet utilizzando una pellettatrice (Master 380C). I parametri energetici analizzati sono stati potere calorifico, contenuto di ceneri e composizione elementare. Dallo studio è emersa l'altissima prestazione energetica dei fondi di caffè, infatti quando non viene utilizzata segatura per la miscela di pellet otteniamo un potere calorifico decisamente elevato. Anche l'aggiunta di una minima quantità di segatura (15%), corrisponde ad una drastica diminuzione del potere calorifico inferiore. Il caffè si rivela come una biomassa completamente diversa da quelle legnose; le sue caratteristiche intrinseche gli conferiscono elevate rese energetiche e una grande produzione di ceneri durante la combustione. Data la natura polverosa dei fondi di caffè, si è scelto di utilizzare la segatura al fine di evitare problemi strutturali in fase di pellettizzazione. Il pellet prodotto è stato utilizzato in una caldaia a GSA/80 (D'Alessandro Termomeccanica GSA 80 kW_{th} Series) e le emissioni prodotte dal processo di combustione sono state monitorate. L'analisi del TOC è stata condotta con un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) Ratfisch RS-53T, mentre l'analisi online di NO_x, CO, CO₂, SO₂ e O₂ è stata effettuata con un rilevatore multiparametrico Horiba PG-250, in conformità con i principali metodi di campionamento. Il campionamento di particolato, metalli e VOC è stato effettuato tramite l'utilizzo della sonda Dadolab HP5 inserita nel camino, accoppiata a una pompa Dadolab ST5 che consente il campionamento isocinetico. Il particolato viene raccolto su un filtro in fibra di quarzo (Ø 47 mm) opportunamente pretrattato e pre-pesato. Questo filtro è collocato all'interno della camera riscaldata a 125±5°C. I metalli sono stati campionati isocineticamente con lo stesso sistema, posizionando a valle del filtro tre gorgogliatori mantenuti in un bagno termostato a 5°C. Ogni gorgogliatore contiene una soluzione in parti uguali di HNO₃ + H₂O₂ diluita in 9 parti di acqua milli-Q. I VOC sono stati campionati mediante trappole adsorbenti ACF (Activated Fiber Carbon) autoprodotte adatte per il successivo desorbimento termico. Parte della soluzione sviluppata, i filtri pretrattati e i tubi adsorbenti sono stati tenuti da parte e considerati come bianchi analitici. Il PM è stato successivamente determinato sul filtro di quarzo per analisi gravimetrica in relazione al volume di gas che lo attraversava. I metalli sono stati determinati con l'ICP-MS (7700 Agilent), analizzando il filtro di quarzo e le soluzioni gorgogliate. I VOC sono stati determinati con un desorbitore termico (TD 100xr, Markes) accoppiato a un sistema gas cromatografo e spettrometro di massa (GC/MS-QQQ 7000 Agilent).

- **Analisi termogravimetrica delle potature di olivo come feedstock per la pirolisi**



Relativamente alla linea 4 è stato condotto uno studio sul comportamento termico delle potature di olivo mediante analisi termogravimetrica (TGA). Tale studio ha permesso di indagare le proprietà chimico-fisiche ed energetiche dell'olivo come materia prima potenzialmente valida per la conversione termochimica tramite il processo di pirolisi. Analogamente alle altre biomasse studiate, è stata condotta la caratterizzazione chimico fisica. Successivamente sono state eseguite le prove in TGA con un flusso di gas carrier a 60 ml/min di azoto e una rampa di temperatura da 25°C a 800°C, simulando un processo di pirolisi. I test sono stati condotti a differenti gradienti termici. In particolare sono state svolte prove di pirolisi con gradiente termico di 10°C/min, 15°C/min e 20°C/min. Dall'analisi termogravimetrica è stato possibile stimare tramite le curve della perdita di peso e del flusso di calore, che la biomassa ha subito principalmente tre cambiamenti di fase, il primo intorno ai 100°C in cui si ha la perdita di acqua, il secondo a partire dai 300/400°C fino ai 600°C in cui si ha la maggior parte della sostanza secca in termini di emissioni di composti volatili, ed infine da 600°C a 800°C in cui l'andamento delle curve è rimasto costante in corrispondenza della matrice restante, composta da incombusti e cenere. Dalle curve termogravimetriche si evince che in corrispondenza dei picchi a 300, 400 e 600°C si ha la degradazione delle fibre, rispettivamente emicellulosa, cellulosa e lignina. L'andamento di tali curve è stato analogo per tutti e tre i gradienti termici, si è manifestata una leggera differenza nella curva corrispondente al test svolto a 30 °C/min a causa della maggiore velocità di reazione. La reazione si è sviluppata prevalentemente tra 400 e 600°C, e tale intervallo è stato considerato come la fase attiva della pirolisi in quanto entro queste temperature, la biomassa ha subito la maggiore perdita di sostanza. La perdita rappresenta circa l'80% della biomassa, la parte restante costituisce il biochar, gli incombusti e le ceneri.

Linea 5

- **Digestione anaerobica di grano contaminato da micotossine: effetti sul rendimento del metano e livello di contaminazione**

Relativamente alla linea 5, è stato condotto un primo studio sulla produzione di biogas e biometano durante la digestione anaerobica mesofila dei substrati di grano provenienti da colture nazionali e naturalmente contaminate da tossine deossinivalenolo (DON) e/o T-2/ HT-2. Sono stati condotti test per il calcolo del potere metanigeno sia sulla farina integrale che sulle principali frazioni di macinazione per valutare l'effetto delle micotossine sul processo biologico anaerobico e il loro residuo nel digestato finale. La buona produzione media di metano raggiunta ($337,0 \pm 24,5$ NL CH₄/kg VS) è stata sostanzialmente comparabile con i rendimenti ottenuti da biomasse simili in condizioni mesofile. Inoltre, si è avuta la riduzione (60,7–100%) della concentrazione di DON in tutti i substrati testati mentre la somma dei livelli di tossina T-2 e HT-2 nei digestati restava <LOQ in tutti i substrati analizzati. I risultati hanno incoraggiato l'utilizzo alternativo di cereali contaminati da non poter destinare al consumo umano e/o ai mangimi.



- Sviluppo di un metodo per il campionamento del levoglucosano dalle emissioni da sorgente fissa

Tra le attività svolte, vi è lo sviluppo di un nuovo metodo per il campionamento del levoglucosano da sorgente fissa. Il levoglucosano ($C_6H_{10}O_5$) è un composto organico con una struttura ad anello a sei atomi di carbonio formata dalla combustione e dalla pirolisi dei carboidrati, come l'amido e la cellulosa. Questo composto viene spesso utilizzato come tracciante chimico in atmosfera della combustione di biomassa. Il metodo di misurazione dell'analita recuperando il totale durante l'estrazione non è stato ancora convalidato e ciò rappresenta una limitazione significativa che influenza i risultati all'atto delle misurazioni e delle analisi del levoglucosano. La sperimentazione è stata condotta su paglia di grano della varietà *Triticum aestivum* prodotta dalla CREA di Monterotondo e su paglia di riso basmati. Il nuovo metodo è stato sviluppato per il campionamento di anidrozuccheri (Levoglucosano, Mannosano e Galattosano) emessi dalla conseguente pirolisi di carboidrati, come amido e cellulosa. A tale scopo, è stato utilizzato il sistema isocinetico utilizzato per il campionamento dei metalli in emissione, con acqua milli-Q in sostituzione delle soluzioni composte da acido nitrico e perossido di idrogeno per i metalli. Gli anidrozuccheri sono stati determinati nelle soluzioni gorgogliate poste a valle del filtro, e dalla soluzione ottenuta dall'estrazione degli analiti dal filtro tramite bagno ad ultrasuoni. Dai risultati, è stato osservato che il contenuto di levoglucosano rappresenta lo 0,8% nell'ultimo gorgogliatore, il 54% nei primi due gorgogliatori per quanto riguarda la combustione della paglia di riso; il 2,8% nell'ultimo gorgogliatore e il 31% negli ultimi due gorgogliatori relativi alla combustione della paglia di grano. Tali risultati dimostrano l'efficienza del metodo poiché il contenuto di levoglucosano raccolto nei gorgogliatori, rappresenta una percentuale considerevole e di ordine di grandezza comparabile con quello ottenuto dal filtro. L'analisi gravimetrica dei filtri raccolti ha portato alla determinazione del PM emesso dal processo di combustione. I risultati sono rispettivamente 31,10 mg/Nm³ per paglia di grano e 58,67 mg/Nm³ per paglia di riso. Questa differenza è probabilmente legata alla maggiore percentuale di ceneri nella paglia di riso che determinano una maggiore quantità di materiali incombusti e una peggiore qualità della combustione.

- Campionamento delle frazioni di particolato dalla combustione della biomassa mediante un dispositivo prototipo

Una corretta e dettagliata quantificazione del particolato (PM) prodotto dalla combustione di biomasse è fondamentale per sviluppare impianti in grado di sfruttare residui lignocellulosici a scopi energetici. Tale risorsa spesso viene bruciata, per fini di smaltimento, in condizioni incontrollate (*open burning*) con una notevole emissione di particolato in atmosfera. L'obiettivo del lavoro è stato quello di valutare il PM emesso nelle sue frazioni, simulando un processo di *open burning*, utilizzando un dispositivo prototipo prodotto da DADO LAB srl, in grado di campionare separatamente tre diverse frazioni di PM: PM 10, PM 2.5 e la frazione intermedia.

2. Risultati e deliverable

In merito alle linee 1, 2, 4 e 5, i risultati dei diversi studi sono di seguito riportati.

Linea 1

- Caratterizzazione di cippato di biomasse agricole residuali provenienti dal sud Italia

Sono state condotte misurazioni sulla composizione della biomassa costituita da potature ampiamente diffuse nel sud Italia, sul potenziale energetico in laboratorio, e successivamente sono state valutate le emissioni di monossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO₂), ossigeno (O₂), ossidi di azoto (NO_x), biossido di zolfo (SO₂), composti organici totali (TOC) e di particolato (PM), durante la combustione in caldaia dotata di filtro multi ciclone. L'analisi elementare rivela differenze significative per il contenuto in Azoto tra le biomasse: vite e susino hanno valori maggiori valutando il possibile effetto positivo della dispersione della potatura della vite come fertilizzante, con la possibilità di ridurre gli input chimici e aumentare la sostenibilità degli agroecosistemi. La composizione elementare non sembra influenzare il potere calorifico inferiore (PCI). Olivo e susino mostrano la migliore efficienza energetica, con PCI significativamente maggiori rispetto a Vite ed Agrumi.

Tabella 1: Caratterizzazione biomasse

Biomassa	Umidità %	PCI MJ/kg	C%	H%	N%	S%	Cenere %
Vite	12.08	18.39	50.34	6.36	0.57	<LO Q	2.72
Olivo	12.15	18.68	49.58	5.00	0.21	<LO Q	0.90
Agrumi	12.31	17.96	48.86	5.75	0.35	<LO Q	1.80
Susino	23.88	18.69	51.09	3.35	2.90	<LO Q	1.03

Tramite analisi multivariata applicata solamente su vite, olivo e agrumi, è possibile apprezzare come le biomasse si distinguano in tre diversi gruppi, in funzione dei parametri di caratterizzazione. In Figura 1 si riscontra come l'azoto, le ceneri e l'idrogeno influenzino la PC1 sull'asse delle ascisse e rendano la vite così diversa dall'olivo e dall'agrumi che mostrano valori più bassi di queste tre variabili. Gli agrumi mostrano la più grande variabilità per PC2 principalmente guidata dal contenuto di carbonio e umidità. L'olivo rappresenta la migliore biomassa da un punto di vista energetico, con i più alti valori di PCI e il più basso contenuto di ceneri e umidità. Una classificazione preliminare di questo tipo aiuta a raggruppare facilmente diverse biomasse destinate a essere bruciate e offre un primo importante screening delle potenzialità dal punto di vista sia economico sia energetico. Di

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

seguito, è riportato il grafico delle componenti principali.

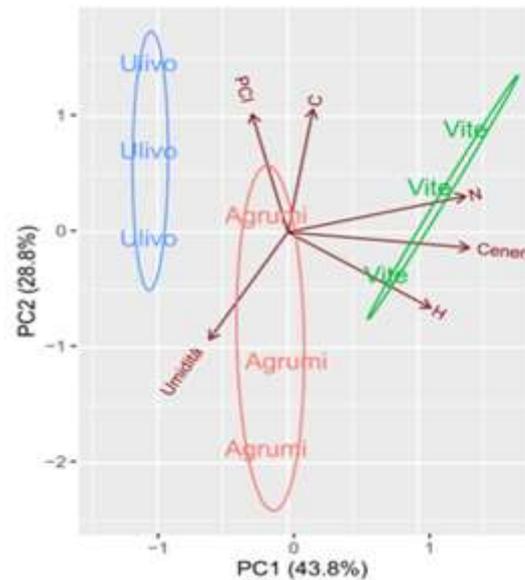


Figura 1: grafico dell'analisi delle componenti principali ottenuto da tutti i parametri di caratterizzazione

Nella tabella e figura seguenti sono riportate le emissioni di macroinquinanti delle tre specie combuste. Le emissioni confermano olivo come la specie più idonea allo sfruttamento in caldaia con valori di emissioni minori rispetto agrumi e vite.

Tabella 2: Emissioni di CO, SO₂ e TOC delle tre specie utilizzate. Sono riportate sia le emissioni tal quali che quelle riportate ad un tenore di ossigeno del 6%.

Emissioni	Agrumi	Vite	Olivo
Tal quali			
CO (mg/m ³)	627.76 ± 324.00	1852.13 ± 398.30	733.03 ± 422.54
SO ₂ (mg/m ³)	13.30 ± 4.16	31.91 ± 7.35	1.08 ± 3.26
TOC (mg/m ³)	1.25 ± 0.52	1.21 ± 0.44	1.77 ± 1.18
6% O ₂			
CO (mg/m ³)	1351.16 ± 744.47	10402.84 ± 3571.97	2396.22 ± 1183.67
SO ₂ (mg/m ³)	28.15 ± 7.67	188.36 ± 107.75	2.75 ± 11.11
TOC (mg/m ³)	2.72 ± 1.22	7.09 ± 4.51	6.51 ± 5.67

Per quanto riguarda le emissioni di NO_x si vede che l'olivo ha valori ben al di sotto delle soglie imposte dalla normativa sia per impianti antecedenti al 20/12/18 che successivi, mentre agrumi e olivo, rispettano limiti normativi solo per impianti antecedenti a tale data.

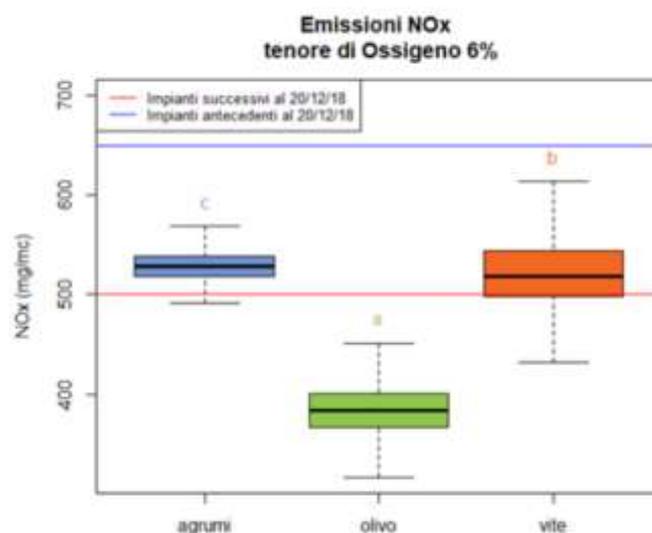


Figura 2: Emissioni di NOx per le tre specie combuste. Le linee in rosso e blu rappresentano i limiti normativi relativi alla data dell'impianto

- **Sviluppo di un innovativo sistema mediante TGA per il campionamento delle emissioni dalla pirolisi della biomassa usata nel fitorimedio per la bonifica di suoli contaminati**

In merito all'utilizzo dell'apparato TGA per il campionamento delle emissioni generate dalla pirolisi della biomassa da fitorimedio, l'analisi dei metalli nelle potature del pioppo ha evidenziato un'alta concentrazione di macroelementi quali Sodio, Magnesio e Potassio (fenomeno, questo, comune a tutte le biomasse) ma anche da importanti quantità di metalli pesanti come Stronzio, Zinco, Cadmio e Rame.

Tabella 3: Metalli presenti nelle biomasse

Metalli	mg/kg
Na	10.35
Mg	46.11
Al	19.07
K	458.03
Cr	8.82
Mn	38.77
Fe	4.74
Cu	4.78
Zn	44.74



As	0.17
Sr	206.92
Cd	8.68
Ba	8.08

Successivamente, è stato valutato il destino dei metalli in emissione considerando due categorie: quelle identificate nei gorgogliatori (ceneri volanti e fuggitive) e quelle lasciate nelle ceneri all'interno del crogiolo nella fornace della TGA (*bottom ash*). I primi sono riportati in mg/m³, poiché, per essere quantificati, è necessario che siano correlati al volume di aria che passa attraverso i gorgogliatori, mentre i secondi sono riportati in mg/kg poiché sono correlati a una matrice solida (cenere).

Tabella 4: Destino dei metalli e loro concentrazione dopo la simulazione della gassificazione nel processo in TGA

	Na	Mg	Al	K	Cr	Mn
Flying ash mg/m ³	6.70	6.31	6.11	6.85	1.40	6.82
Bottom Ash mg/kg	258.90	772.30	322.65	330.64	414.98	106.32
	Fe	Cu	Zn	Sr	Cd	Ba
Flying ash mg/m ³	16.90	8.55	23.15	6.10	<LOQ	5.52
Bottom Ash mg/kg	1890.7	290.22	94.94	77.05	41.32	<LOQ

- **Impiego di frumento e prodotti derivati contaminati da micotossine da utilizzare come substrato per l'immissione in processi di sfruttamento energetico.**

Sono state studiate alcune proprietà spettrali, nel vicino infrarosso (NIT), di materie prime contaminate artificialmente da conidi fungini di *Alternaria* spp., specie potenzialmente produttrici di micotossine e largamente presenti nelle derrate cerealicole.

Lo scopo è stato quello di valutare la possibilità di discernere, in un intervallo di lunghezze d'onda definito, tra granella contaminata e non contaminata dalla micotossina e/o dal fungo produttore attraverso un sistema speditivo di screening spettroscopico in ingresso effettuato con l'impiego dell'Infratec –NIT (FOSS). I risultati finora acquisiti sono incoraggianti riguardo alla possibilità di discernere, in un intervallo di lunghezze d'onda definito e tramite la misura del parametro Log (1/R), tra granella contaminata dalla micotossina e/o dal fungo produttore e quella non contaminata. Lo studio è proseguito con la valutazione del frumento duro contaminato con deossinivalenolo (DON)



e/o alternariolo (AOH) ai fini dello sfruttamento energetico. È stata effettuata la valutazione delle caratteristiche energetiche del frumento contaminato da micotossine attraverso la determinazione del potere calorifero superiore (PCS) e inferiore (PCI), l'analisi elementale e l'analisi termogravimetrica (TGA). L'analisi elementale (CHNS), riferita ai medesimi campioni precedentemente sottoposti ad analisi calorimetrica, ha evidenziato valori di concentrazione percentuale di ciascuno dei quattro elementi ricadenti nei seguenti intervalli: C%: 37,71-62,44; H%: 11,44-15,81; N%: 2,23-3,96; S%: <LOQ. In via preliminare è stata effettuata l'analisi termogravimetrica su alcuni dei campioni in esame (n=6), che ha evidenziato un andamento sostanzialmente analogo, in merito sia al decadimento ponderale sia al flusso di calore, rilevato sia in campioni con alta contaminazione da DON che con contaminazione pressoché trascurabile. Dai risultati finora ottenuti dell'analisi preliminare, sia termochimica che elementale (CHNS), sembra delinearsi un quadro di possibile interesse verso lo sfruttamento energetico di questo tipo di substrati contaminati che, quindi, potrebbero essere utilizzati per un recupero parziale ma efficace e sostenibile di risorse naturali altrimenti destinate allo smaltimento come rifiuto.

Linea 2

- Swot analysis sistemi di upgrading biometano

L'attività ha descritto un'analisi tecnica delle varie tecnologie presenti sul mercato per l'upgrading del biogas a biometano. L'analisi SWOT è stata usata come strumento di pianificazione strategica per valutare i punti di forza (Strengths), le debolezze (Weaknesses), le opportunità (Opportunities) e le minacce (Threats) del progetto di riconversione con aumento della capacità produttiva di un impianto di biogas ad un impianto di biometano.

Sono stati analizzati due casi di studio, uno rappresentativo per un'installazione localizzata nel Nord Italia mentre l'altro per una realizzazione ubicata nel Sud Italia. Per entrambi i casi di studio esaminati la riconversione alla produzione di biometano appare una buona opportunità per continuare l'attività aziendale nel settore delle energie rinnovabili.

Un aspetto fondamentale del progetto di investimento riguarda la scelta delle matrici in ingresso che devono portare alla produzione del cosiddetto biometano avanzato. Una virtuosa produzione di biometano basata sulla pratica delle doppie colture e la valorizzazione energetica di effluenti zootecnici e sottoprodotti-agroindustriali, unita all'innovazione agro-ecologica e alla concimazione organica, appare una soluzione sostenibile ed efficace per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra (GHG), la protezione della biodiversità e il ripristino della qualità del suolo.

- Valutazione degli effetti dei pretrattamenti meccanici sulla composizione del biogas e del digestato.

Molte delle biomasse utilizzabili ai fini della produzione di biometano avanzato sono costituite da biomasse lignocellulosiche e da residui agricoli. La biomassa lignocellulosica è prettamente

composta da cellulosa, emicellulosa, lignina e composti organici e inorganici. Prese singolarmente, sia la frazione cellulosica sia quella emicellulosica vengono degradate in monosaccaridi e convertite in biogas rapidamente. Tuttavia, le proprietà intrinseche e la struttura composita della lignina, fortemente legata alle altre componenti tramite legami covalenti e legami a idrogeno, la rendono fortemente resistente all'attacco enzimatico. La cristallinità, il grado di polimerizzazione e il grado di acetilazione della cellulosa, l'area superficiale di esposizione, la protezione da parte di lignina ed emicellulosa, sono i principali fattori che influenzano il grado di digeribilità di questi materiali compositi. La lignina non è degradabile da parte dei batteri anaerobi e può addirittura inibire la degradazione di altre sostanze; la rottura dei complessi lignocellulosici è quindi la chiave per la produzione di biogas. Per aumentare la flessibilità impiantistica da un punto di vista di dieta, allargando le possibilità di approvvigionamento, sul mercato sono disponibili diverse tecniche di pretrattamento delle matrici, tutte con lo scopo di aumentare ed accelerare il processo di degradazione della sostanza organica, ovvero velocizzare la fase idrolitica in modo da rendere maggiormente disponibili determinati composti organici. Queste tecniche possono essere di diverso tipo: termiche, chimiche, biologico-enzimatiche, fisico-meccaniche. L'obiettivo della linea di lavoro è quello di valutare gli effetti di diversi pretrattamenti meccanici su svariate matrici lignocellulosiche, con lo scopo di incrementare la produzione di biogas e di ottimizzare le caratteristiche idrauliche degli impianti di digestione anaerobica. In questo studio, sono state indagate quattro tecnologie commerciali di pretrattamento meccanico: mulino a coltelli, mulino a martelli, estrusore e tritratore a umido con cavitatore idrodinamico. Questi sistemi di pretrattamento sono stati testati su campioni prelevati direttamente tra le matrici in uso in quattro impianti di biogas nel territorio italiano, ognuno dei quali applica una delle tipologie di pretrattamento meccanico precedentemente elencate. I campioni sono stati collezionati prima e dopo il pretrattamento meccanico. I campioni trattati e non trattati sono stati conservati a 4 °C ed analizzati nel giro di pochi giorni. Le caratteristiche chimiche delle biomasse agricole prima e dopo il pretrattamento meccanico specifico applicato sono riassunte nella seguente Tabella.

Tabella 5: Caratteristiche chimico-fisiche dei campioni non trattati e trattati (ST = Solidi Totali; VS = Solidi vVlatili; COD = Domanda chimica di ossigeno; sCOD = Domanda chimica di ossigeno disciolto; CE = Conducibilità elettrica; SSA = Area di Superficie Specifica; BMP = Potenziale Biochimico di Metano; R_{max} = Massima Velocità di Produzione Metano)

Parametro	Unità di misura	Mulino a Coltelli		Mulino a martelli		Estrusione		Triturazione + cavitazione	
		non trattato	trattato	non trattato	trattato	non trattato	trattato	non trattato	trattato
ST	g kg ⁻¹	881,5 ± 4,3	889,5 ± 0,6	432,3 ± 12,8	378,0 ± 4,8	378,7 ± 3,3	364,9 ± 9,5	107,8 ± 0,7	106,2 ± 0,7
SV	g kg ⁻¹	737,1 ± 17,6	731,5 ± 2,0	385,1 ± 11,3	346,1 ± 4,8	329,7 ± 8,9	314,0 ± 8,9	82,8 ± 0,8	81,2 ± 1,7
SV	%ST	83,6% ± 2,2%	82,2% ± 0,2%	89,1% ± 0,1%	91,5% ± 0,1%	87,0% ± 1,6%	86,0% ± 0,2%	76,8% ± 0,3%	76,5% ± 1,1%
COD	gO ₂ kg ⁻¹	1155,3 ± 46,8	1195,0 ± 50,1	532,3 ± 22,8	473,0 ± 19,3	455,2 ± 27,1	418,0 ± 1,9	122,9 ± 3,2	127,2 ± 1,2
COD	gO ₂ kgSV ⁻¹	1567,2 ± 63,5	1633,7 ± 68,5	1382,4 ± 59,2	1366,8 ± 55,7	1380,7 ± 82,3	1331,4 ± 6,1	1483,7 ± 38,8	1566,4 ± 14,7
sCOD	gO ₂ kg ⁻¹	5,9 ± 0,2	11,2 ± 0,5	75,8 ± 2,1	85,9 ± 0,6	74,0 ± 2,3	69,9 ± 1,1	11,9 ± 0,5	11,7 ± 0,5
CE	mS cm ⁻¹	3,10 ± 0,15	4,28 ± 0,53	5,85 ± 0,47	4,38 ± 0,26	5,99 ± 1,29	5,04 ± 0,18	23,93 ± 0,12	23,83 ± 0,21
BMP	NI CH ₄ kg _{VS} ⁻¹	265,46 ± 10,84	300,35 ± 10,26	279,54 ± 15,70	309,37 ± 1,29	308,48 ± 11,07	317,81 ± 14,11	122,72 ± 9,75	124,10 ± 7,04
R_{max}	NI CH ₄ kg _{VS} ⁻¹ giorno ⁻¹	25,13 ± 1,59	37,15 ± 2,89	37,57 ± 1,76	41,36 ± 1,95	46,82 ± 2,00	59,55 ± 3,50	7,93 ± 0,83	8,28 ± 0,46

La distribuzione granulometrica dei substrati prima e dopo ciascun pretrattamento sono riassunte nella Figura seguente.

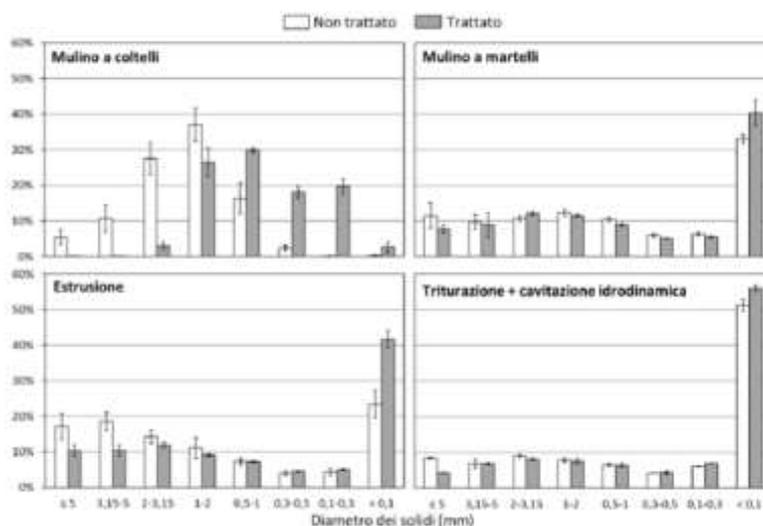


Figura 3: Distribuzione granulometrica delle particelle di ciascuna biomassa prima e dopo il pretrattamento meccanico specifico

Il potenziale biochimico di metano (BMP) e la massima velocità specifica di produzione di metano (Rmax) sono stati valutati ed analizzati al fine di comprendere gli effetti dei pretrattamenti. Le curve cinetiche di produzione di metano sono riportate in dettaglio nella Figura seguente.

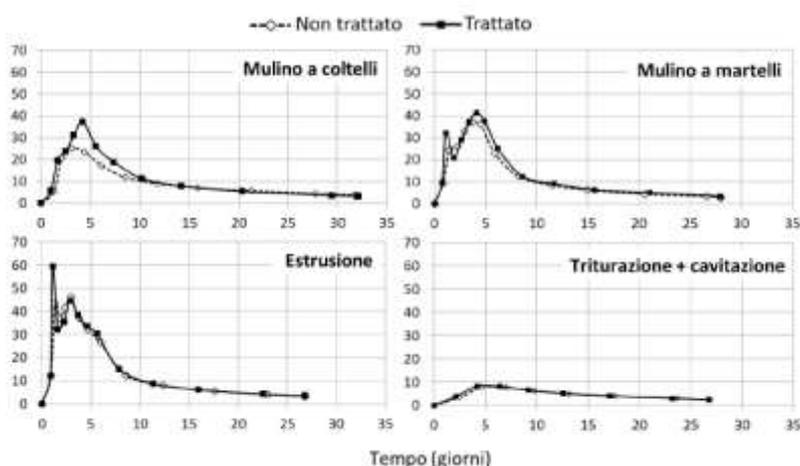


Figura 4: Velocità di produzione di metano prima e dopo il pretrattamento meccanico

L'applicazione di pretrattamenti meccanici ha mostrato un aumento nell'area di superficie specifica in un range compreso tra il 9% ed il 189% e un aumento nella resa specifica di metano (BMP) dall'1% al 13%. L'aumento relativo alla massima produzione specifica di metano è strettamente correlato all'aumento dell'area di superficie specifica (SSA), in maniera apparentemente indipendente dalla tecnologia di pretrattamento utilizzata e alla composizione stessa del substrato.

Linea 4

- Confronto tra VOC emessi dall'arancia con e senza buccia e sviluppo di un sistema di abbattimento delle emissioni

In riferimento alla linea 4, in particolare, per l'analisi dei VOC emessi dalle bucce di arancia sono stati ottenuti i seguenti risultati:

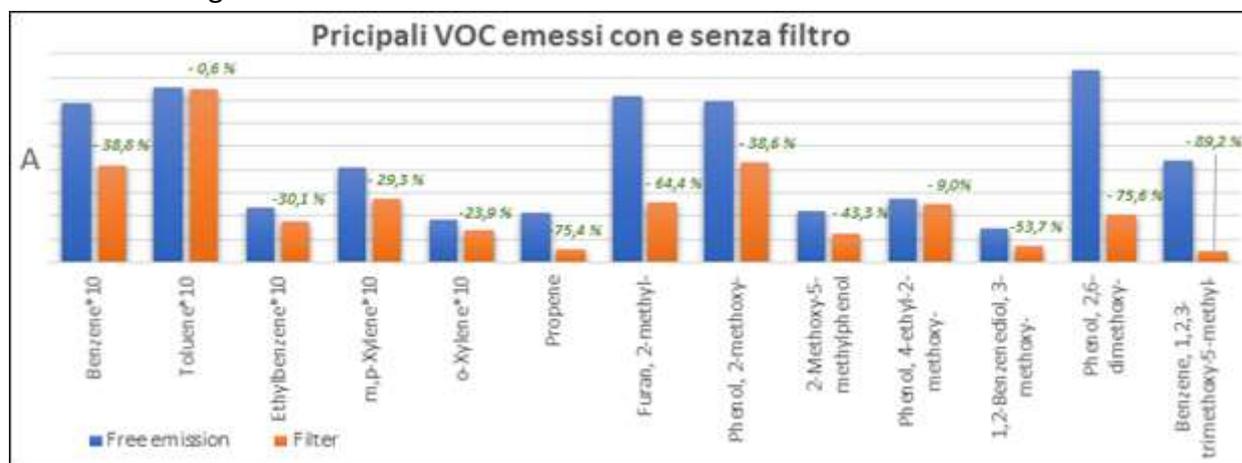


Figura 5: Confronto delle aree (%) dei VOC emessi dalle arance con e senza filtro

I test condotti nella camera per il campionamento dello spazio di testa dei VOC generati dall'arancia con e senza buccia hanno fornito risultati interessanti. In particolare, il profilo aromatico dell'arancia è composto da 42 VOC, mentre nelle stesse condizioni l'arancia sbucciata ha prodotto 101 VOC. È stato dedotto che la buccia risulta essere una membrana difficilmente permeabile che trattiene la maggior parte dei composti organici e che quindi potrebbe essere sfruttata per un effetto attenuante degli inquinanti volatili.

- Caratterizzazione chimica e fisica del pellet composto da biomassa di diverse essenze

In questo studio sono state analizzate sei tipologie di pellet composte da tre differenti essenze quali kiwi, agrumi e olivo al fine di valutarne le caratteristiche energetiche mediante misure fisiche (contenuto di umidità, contenuto di ceneri) e chimiche (composizione elementare). La caratterizzazione chimico-fisica di pellet costituito da combinazioni di essenze diverse, ha mostrato i seguenti risultati:

Tabella 6: Caratterizzazione Chimico-Fisica dei pellet ottenuti

Pellet	Umidità %	Ceneri %	C (%)	H (%)	N (%)
Olivo 100%	8.06	2.47	38.15	4.24	0.83
Kiwi 100%	5.36	1.44	39.1	4.22	0.53
Agrumi 100%	8.17	3.89	41.92	3.81	0.64
Olivo 50% Kiwi 50%	5.88	2.60	47.81	4.83	0.56
Olivo 50% Agrumi 50%	8.65	5.59	40.12	5.61	0.57
Agrumi 50% Kiwi 50%	6.76	2.49	37.72	5.28	0.77

Il contenuto di umidità è di gran lunga uno dei parametri più importanti nella valutazione energetica



della biomassa, e in particolare del pellet. Dal punto di vista delle prestazioni energetiche, il pellet non deve contenere più del 10-20% di contenuto di umidità. Dall'analisi condotta è emerso che i pellet composti da diverse tipologie di essenze hanno un contenuto di umidità che va dal 5,36% per il pellet di kiwi all'8,65% per il pellet di agrumi e di oliva. La cenere è la parte inorganica del carburante rimasta dopo la combustione completa. Ad alte temperature possono essere fuse producendo depositi di scorie nell'impianto di combustione e come dimostrato in diversi studi piccole quantità di materiale inorganico possono alterare il comportamento delle reazioni di combustione e pirolisi e influenzare il processo di gassificazione. Le stesse conclusioni fatte per il contenuto di umidità possono essere evidenziate nel contenuto di ceneri: se il range delle diverse essenze oscilla tra 1,44% e 5,59%, il pellet di kiwi 100% mostra nuovamente i migliori risultati, e di conseguenza anche il pellet mescolati con esso. Dall'analisi elementare emerge che il contenuto di carbonio varia tra il 37% e il 47%, il contenuto di azoto è in media 0,6% e il contenuto di idrogeno varia tra il 3% e il 5%. Poiché il contenuto di zolfo è inferiore al LOQ, può essere considerato trascurabile. Da questa ricerca si può concludere che la caratterizzazione chimico fisica del pellet è un utile strumento preliminare volto a valutare l'effettiva efficienza di questo biocarburante, e ci aiuta a valutare e sviluppare la giusta composizione da utilizzare sia in ambienti industriali che domestici. Inoltre, lo studio è uno strumento utile per confrontare le materie prime utilizzate per la produzione di pellet di essenze diverse, combinandole con l'obiettivo di produrre pellet con le migliori caratteristiche possibili e mostrando soprattutto la possibilità di beneficiare di scarti agricoli e forestali come risorse di energia alternativa.

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

- **Miscela di pellet ottenute da fondi di caffè esauriti, caratterizzazione energetica e studio delle emissioni a seguito della combustione.**

La caratterizzazione dei fondi di caffè ha portato ai seguenti risultati ed è stata ampliata con un'analisi dei boxplot per un più approfondito esame delle diverse variabili.

Tabella 7: Caratterizzazione Chimico-Fisica dei fondi di caffè

	Umidità %	Ceneri %	P. Calorifico Superiore	P. Calorifico Inferiore	C (%)	H (%)	N (%)
Fondi di Caffè	42.31	0.90	22.24	19.97	68.5 2	11.0 4	2.40

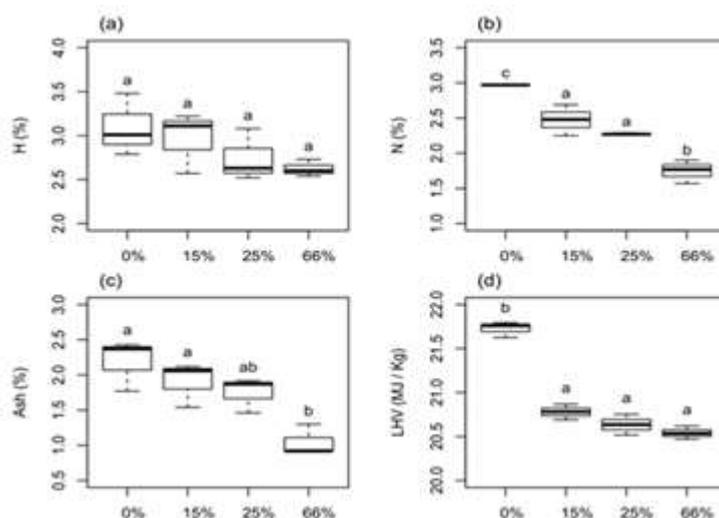


Figura 6: Boxplot della caratterizzazione in termini di: Idrogeno (a), Azoto (b), Ceneri (c) e Potere Calorifico Inferiore (PCI) (d)

Da una prima analisi, è subito evidente l'altissima prestazione energetica dei fondi di caffè. Infatti, nel caso in cui non venga utilizzata segatura per la miscela di pellet, si ottiene un potere calorifico decisamente elevato, mentre l'aggiunta di una minima quantità di segatura (15%) corrisponde ad una drastica diminuzione del potere calorifico inferiore. Pertanto, il contenuto d'acqua della matrice di partenza è stato ottimizzato al fine di eliminare la segatura e utilizzare l'acqua come ammendante durante la fase di pellettizzazione. Il processo di ottimizzazione ha portato alla creazione di pellet costituito da un 90% di SGC secco e 10% in peso di acqua. In seguito, si è proceduto con le prove di combustione che, relativamente alle emissioni in atmosfera, ha riguardato la determinazione di CO, NO_x, SO₂, CO₂, e TOC.

Tabella 8: Macroinquinanti ottenuti dalla combustione di pellet di caffè espressi in mg/m³ e riferiti ad un tenore di O₂ del 6%

Ore	CO ₂ (%)	CO	NO _x	SO ₂	TOC
1	9.22	3077.53	959.90	4.00	144.2 0



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

2	8.40	2129.25	1121.8 0	11.4 0	142.8 0
3	7.71	2153.74	1078.3 0	1.70	140.1 0

Sono stati identificati 41 VOC principali analizzando i tubi in ACF per il desorbimento termico. L'analisi dei BTEX (benzene, toluene, etilbenzene, xileni) è considerata altamente indicativa per valutare la qualità e le emissioni di un processo di conversione energetica. Sono infatti i composti generalmente più monitorati in quanto sono i principali idrocarburi aromatici volatili che si sviluppano seguendo tutti i processi di combustione. In tabella sono riportate le concentrazioni dei BTEX insieme agli altri composti più presenti:

Tabella 9: VOC principalmente presenti nelle emissioni

VOC	Concentrazione (mg/Nm ³)
2-Butene, 2-methyl-	4.99
Acetonitrile	1.51
Hexane	4.73
Benzene	3.74
Toluene	0.52
Ethylbenzene	0.26
m,p-Xylene	0.31
o - Xylene	0,23
Benzene, 1,2,4- trimethyl-	3.16

La quantificazione dei metalli emessi, essendone la biomassa di partenza naturalmente povera, ha mostrato concentrazioni notevolmente basse:

Tabella 10: Contenuto dei metalli nelle emissioni

	B	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti
mg/Nm ³	18.20	0.78	0.31	0.78	0.55	0.75	0.35
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
mg/Nm ³	0.02	0.01	0.23	<LOQ	0.02	0.01	0.10
	Ga	Se	Sr	Cd	Ba	Sc	
mg/Nm ³	<LOQ	0.45	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.22	

In conclusione, le caratteristiche chimico-fisiche dei fondi di caffè hanno confermato l'ottima qualità della materia prima, mostrando eccellenti valori di potere calorifico e valori trascurabili di metalli inquinanti. Nell'ottica della *circular economy*, rappresenta un ottimo risultato aver ricavato un combustibile con un così alto rendimento energetico da quello che è un prodotto di scarto.

- Analisi termogravimetrica delle potature di olivo come feedstock per la pirolisi

La caratterizzazione effettuata in TGA delle potature di olivo ha fornito risultati promettenti nella pirolisi di questo materiale, che può essere considerato una matrice eco-friendly nell'ottica di un loro utilizzo come bio-combustibili. In particolare, sono state ottenute le curve dell'andamento termogravimetrico della potatura di olivo a diverse velocità di riscaldamento, rispettivamente a 10, 15 e 30°C/min, in funzione della temperatura. Si evince da tali curve anche che le componenti della biomassa, emicellulosa, cellulosa e lignina completano la loro decomposizione ad intervalli di temperatura rispettivamente di 100-300°C (essiccamento mediante evaporazione), 300-400°C (volatilizzazione della biomassa e produzione di materia volatile da decomposizione della cellulosa) e 400-600°C (ossidazione del carbone e combustione dei residui carboniosi). Per la prova effettuata a una velocità di riscaldamento di 10°C/min, la prima fase inizia a 25°C e termina a 100°C, la seconda fase inizia a 100°C e termina a circa 370°C. La terza fase inizia a 370°C e finisce a 750°C. Tra i test effettuati a velocità di riscaldamento di 10°C/min e 15°C/min, non vi è alcuna differenza rilevante nelle fasi di degrado.

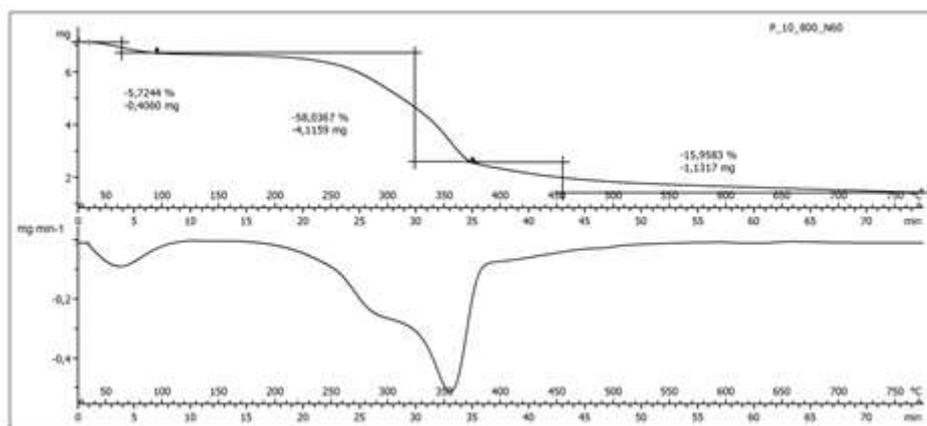


Figura 7: Curva TGA effettuata a velocità di riscaldamento pari a 10°C

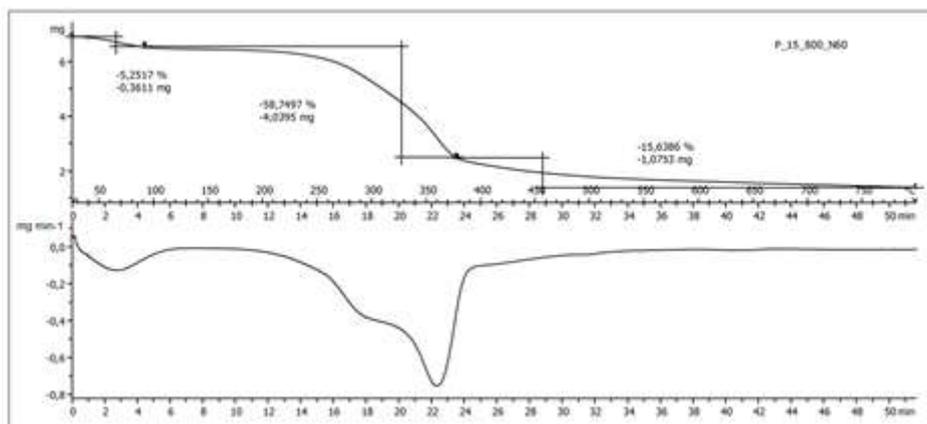


Figura 8: Curva TGA effettuata a velocità di riscaldamento pari a 15°C

Per il test eseguito a una velocità di riscaldamento di 30°C/min, la curva TGA mostra la stessa differenza, non per la prima fase ma per la seconda che inizia a 100°C e termina a 400°C, a causa del riscaldamento maggiore. Gran parte della perdita di massa (60%) si era verificata nella seconda zona tra 200°C e 400°C, che rappresenta una zona di pirolisi attiva. In questa zona, un aumento delle velocità di riscaldamento corrisponde a una resa maggiore in termini di emissioni volatili, rispettivamente 58,03%, 58,74% e 58,80% per le tre diverse velocità di riscaldamento.

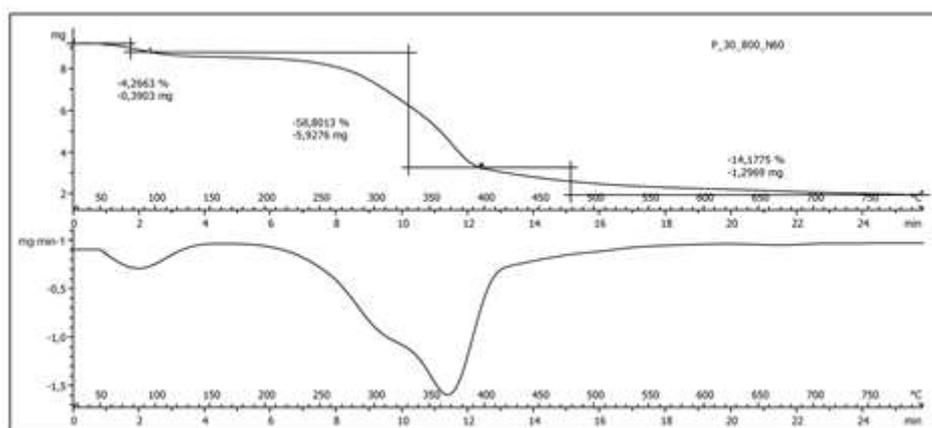


Figura 9: Curva TGA effettuata a velocità di riscaldamento pari a 30°C

L'ultima fase inizia a circa 400°C e continua a 800°C, questa fase viene definita zona di pirolisi passiva. Questi comportamenti termici possono essere spiegati dai componenti della potatura dell'olivo che è principalmente caratterizzata da emicellulosa, cellulosa e lignina come tutti gli altri materiali lignocellulosici. La perdita di massa media è stata determinata all'80% circa, identificata dalla degradazione di emicellulosa, cellulosa e lignina (75%) e il 5% può essere attribuito all'umidità. Alla fine del processo di degrado termico complessivo, la massa residua è stata determinata come carbone residuo e cenere (20%). Sulla base di questo risultato, la potatura degli olivi è una potenziale materia prima per i processi di pirolisi.

Linea 5

- **Digestione anaerobica di grano contaminato da micotossine: effetti sul rendimento del metano e livello di contaminazione**

L'intervallo dei livelli di abbattimento calcolato in campioni contaminati sottoposti a digestione anaerobica era del 60,7–100,0% per DON (28 replicati) e del 100,0% per la somma delle tossine T-2 e HT-2 (16 replicati). Il valore atteso deve essere inteso come la concentrazione di micotossine nel flacone/nel reattore all'inizio del test BMP. Nella figura seguente è riportata la curva specifica di produzione di metano dalle prove BMP, nell'ambito dello studio sulla digestione anaerobica di grano contaminato da micotossine: la forma delle curve BMP è suggerita come un criterio per verificare la qualità dei risultati delle prove. Pertanto, sulla base dei criteri di valutazione adottati, la tendenza delle curve SMP è stata considerata accettabile.

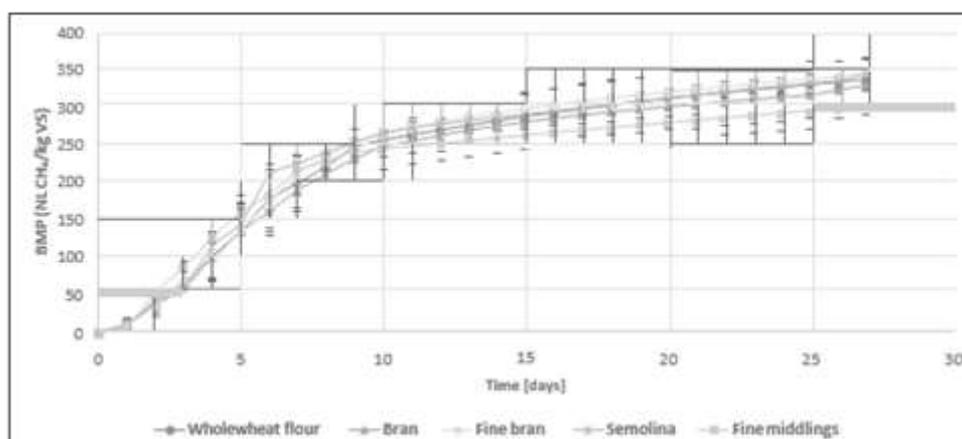


Figura 10: produzione specifica di metano (SMP) da prove di BMP

In particolare, l'intervallo dei livelli di abbattimento calcolato in campioni contaminati sottoposti a digestione anaerobica è stato del 60,7–100,0% per DON (28 replicati) e del 100,0% per la somma delle tossine T-2 e HT-2 (16 replicati).

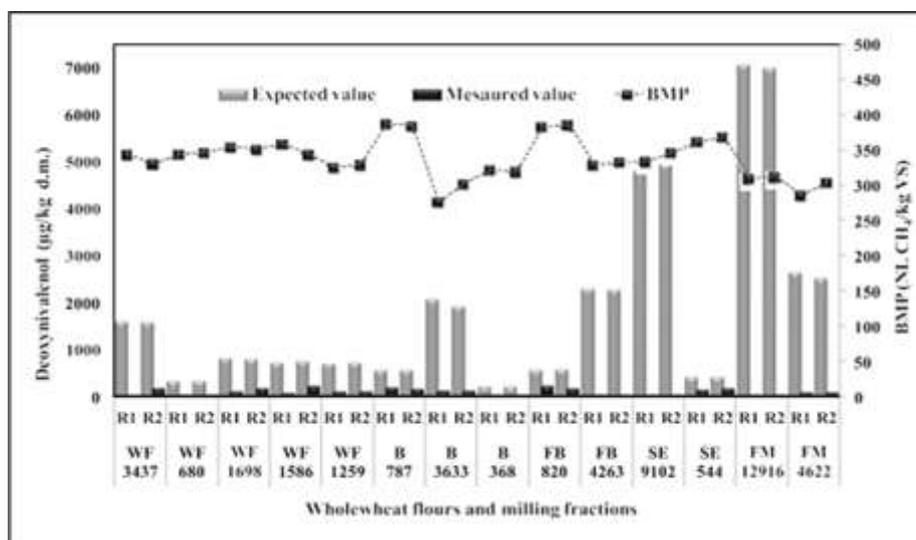


Figura 11: Valori attesi e misurati (analisi GC-MS) della concentrazione di DON nei digestati riferiti ai solidi totali del digestato (d.m.) e BMP

I risultati mostrano che con questa tecnologia è possibile ottenere una fuga del metano inferiore allo 0,1%, e 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.

- Sviluppo di un metodo per il campionamento del levoglucosano dalle emissioni da sorgente fissa

Per quanto riguarda il lavoro di indagine sulle emissioni di levoglucosano prodotte dalle biomasse paglia di riso e grano, una prima caratterizzazione del materiale ha evidenziato alti contenuti di metalli alcalini e alcalini terrosi. Le biomasse sono solitamente ricche di questi metalli che si trovano in grandi quantità nell'acqua che consente la crescita delle piante. Il potassio stesso è anche usato come marker per il PM generato dalla combustione della biomassa. La paglia di riso ha concentrazioni significativamente più elevate di metalli, ciò è in parte dovuto al contenuto di umidità e al maggiore contenuto di ceneri. Una maggiore umidità, infatti, implica una maggiore quantità di acqua e di conseguenza dei metalli disciolti in essa, un contenuto di ceneri più elevato si traduce invece in un maggiore contenuto di frazione inorganica (compresi i metalli). Per lo stesso motivo, la paglia di riso ha anche dimostrato di essere particolarmente ricca in termini di metalli pesanti rispetto alla paglia di grano. I valori sono di seguito riportati:

Tabella 11: Metalli in emissione presenti nelle due tipologie di biomasse

Metalli in emissione µg/Nm ³										
Li	Na	Mg	Al	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

Paglia riso	1499.6	1452.2	541.2	77.7	51723.3	405.8	3.8	27.2	98.8	9.1
Paglia grano	3.8	1524.7	48.0	35.0	724.4	63.8	5.5	1.7	84.7	4.4
	Cu	Zn	Sr	Ag	Cd	Ba	Tl	Pb	Bi	
Paglia riso	34.7	105.2	14.6	0.1	0.7	3.4	0.1	14.1	6.7	
Paglia grano	10.6	39.5	2.0	0.5	0.6	<LOQ	0.4	4.0	5.4	

Dall'analisi delle concentrazioni di levoglucosano emesso, invece, i valori che ne derivano sono riportati di seguito:

Tabella 12: Levoglucosano totale nei campioni

Concentrazioni Levoglucosano		
	Paglia di riso mg/Nm ³	Paglia di grano mg/Nm ³
Filtro quarzo	3.19	5.52
A+B	3.83	2.58
C	0.06	0.23
Totale	7.08	8.33

Il nuovo metodo sviluppato per campionare il levoglucosano nelle emissioni da biomassa ha permesso di ottenere il levoglucosano totale nelle due tipologie di campioni. È anche importante valutare il contenuto totale di levoglucosano nei gorgogliatori e sui filtri per apprezzare la pertinenza del metodo proposto. I risultati ottenuti dimostrano l'efficienza del metodo in quanto il contenuto di levoglucosano raccolto nel gorgogliatore rappresenta una percentuale comparabile con il contenuto di levoglucosano sul filtro e quindi non trascurabile.

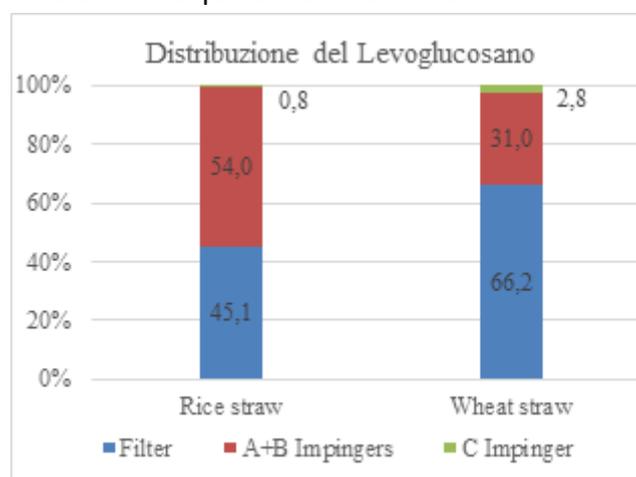


Figura 12: Distribuzioni percentuali di Levoglucosano in tutti gli apparati

- **Campionamento delle frazioni di particolato dalla combustione della biomassa mediante un dispositivo prototipo**

Il metodo di campionamento è basato sul principio dell'impatto inerziale e quindi strettamente correlato al diametro aerodinamico delle particelle e alle curve di frazionamento del PM utilizzate anche in campo ambientale (EN12341:2014). L'impattore utilizzato consente di separare il campione particellare prelevato, in frazioni con diametro aerodinamico maggiore di 10 μ m, compreso fra 10 e 2,5 μ m e inferiore a 2,5 μ m. L'esecuzione del campionamento e le caratteristiche della strumentazione da utilizzare fanno riferimento alle norme EN15259, EN16911-1 e 13284-1. Nello studio eseguito, l'impattore a cascata, realizzato in Titanio, è stato dotato di una speciale camicia riscaldante termoregolata a 125°C per poterne consentire l'utilizzo out-stack. Tale soluzione tecnica si è resa necessaria al fine di rispettare le prescrizioni relative all'ingombro massimo della sezione di campionamento e di evitare la formazione di condense sui filtri e sul dispositivo.



Figura 13: Schema dell'impattore multistadio (sinistra). Prototipo dell'impattore multistadio con contenitore riscaldato (destra). La biomassa (cippato di agrumi) è stata bruciata in una caldaia (80 kW_{th}) e il particolato è stato campionato con il dispositivo prototipo per raccogliere contemporaneamente le frazioni di PM_{2.5}, 2.5<PM<10 e PM₁₀ su filtri in fibra di vetro. Dai primi risultati ottenuti (Tabella) si evince che la componente maggiormente emessa è quella di dimensioni minori (PM_{2.5}) e potenzialmente più pericolosa per la salute umana. Tale risultato conferma da un lato la pericolosità della combustione incontrollata di biomassa e dall'altro la necessità dell'applicazione di metodi e dispositivi per l'abbattimento di PM, negli impianti che impiegano residui lignocellulosici per la produzione di energia.

Tabella 13: Concentrazione e percentuale delle frazioni di PM nei fumi del camino

Frazioni	mg N/m ³	%
PM 10	5.3	2.5



2.5<PM<1 0	38.5	18.0
PM 2.5	170.2	79.5

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

La principale problematica riscontrata nello svolgimento delle attività previste nel quarto 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 quarto anno e i relativi risultati, sono state presentate ai seguenti eventi:

- Conferenza Internazionale: Ecomondo, online 3-15 novembre 2020.
- Conferenza Internazionale: European Biomass Conference and Exhibition – 28th e-EUBCE, Online, 6-9 luglio 2020.

6. Elenco pubblicazioni

Le pubblicazioni prodotte relative ai risultati ottenuti durante il quarto anno sono di seguito elencate:

1. M. Garuti, F. Verzellesi, C. Fabbri, F. Gallucci. **Sedimenti e stratificazioni negli impianti di digestione anaerobica**, ECOMONDO 2019 - Designing a better world
2. F. Gallucci, E. Paris, A. Palma, M. Carnevale, B. Vincenti, A. Colantoni, L. Bianchini. **Energetic characterization of spent coe grounds pellet for combustion processes**, ECOMONDO 2020 – Digital Edition.
3. F. Gallucci, E. Paris, M. Carnevale, A. Palma, B. Vincenti, V. Ciambottini, E. Guerriero, A. Tonolo. **Sampling of particulate matter fractions from biomass burning by a prototype device**. ECOMONDO 2020 – Digital Edition.
4. F. Gallucci, R. Liberatore, L. Sapegno, E. Volponi, P. Venturini, F. Rispoli, E. Paris, M.



- Carnevale, A. Colantoni. **Influence of oxidant agent on syngas composition: gasification of hazelnut shells through an updraft reactor**, *Energies*, 13(1), 2020, <https://doi.org/10.3390/en13010102>
5. M. Soldano, A. Pietri, T. Bertuzzi, C. Fabbri, S. Piccinini, F. Gallucci, G. Aureli. **Anaerobic Digestion of Mycotoxin-Contaminated Wheat: Effects on Methane Yield and Contamination Level**, *BioEnergy Research*, DOI 10.1007/s12155-020-10161-4
 6. D. Borello, B. de Caprariis, V. Ancona, E. Paris, P. Plescia, F. Gallucci. **Use of an innovative TGA apparatus for sampling the emissions generated by pyrolysis of Plant Assisted Bio-Remediation biomass**, 28th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
 7. E. Paris, M. Carnevale, A. Palma, B. Vincenti, A. Assirelli, V. Paolini, E. Guerriero, P. Plescia, A. Tonolo, V. Di Stefano, F. Gallucci. **Comparison between VOCs emitted from orange with and without peel and development of an emission abatement system**, 28th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
 8. B. Vincenti, A.R. Proto, E. Paris, A. Palma, M. Carnevale, E. Guerriero, F. Petracchini, M. Salerno, A. Tonolo, V. Di Stefano, F. Gallucci. **Chemical and physical characterization of pellet composed of biomass of different essences**, 28th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
 9. A. Colantoni, L. Bianchini, E. Paris, A. Palma, B. Vincenti, M. Carnevale, A. Scarfone, A. Del Giudice, V. Civitaresse, V. Di Stefano, A. Tonolo, F. Gallucci. **Different pellet mixtures obtained from spent coffee grounds: energetic characterization**, 28th European Biomass Conference Exhibition EUBCE
 10. M. Carnevale, E. Santangelo, A. Colantoni, E. Paris, A. Palma, B. Vincenti, V. Paolini, F. Petracchini, M. Salerno, V. Di Stefano, F. Gallucci. **Thermogravimetric analysis of olive tree pruning as pyrolysis feedstock**, 28th European Biomass Conference Exhibition EUBCE
 11. A.R. Proto, A. Palma, E. Paris, S.F. Papandrea, B. Vincenti, M. Carnevale, E. Guerriero R. Bonofiglio, F. Gallucci. **Assessment of wood chip combustion and emission behavior of different agricultural biomasses**, *Fuel*, 289 (2021), p. 119758, 10.1016/j.fuel.2020.119758.
 12. A. Colantoni, E. Paris, L. Bianchini, S. Ferri, V. Marcantonio, M. Carnevale, A. Palma, V. Civitaresse, F. Gallucci. **Spent coffee ground characterization, pelletization test and emissions assessment in the combustion process**, *Scientific Reports*, 11(1), 2021, 10.1038/s41598-021-84772-y.
 13. M. Carnevale, E. Guerriero, E. Paris, A. Palma, B. Vincenti, A. Del Giudice, E. Rantica, A. Khalid, A. Tonolo, F. Gallucci. **Development of a method for sampling levoglucosan from stack emissions**, (in fase di stesura)
 14. F. Gallucci, M. Carnevale, E. Paris, P. Plescia, V. Ancona, B. de Caprariis, D. Borello. **Fluidized bed gasification of biomass from plant-assisted bioremediation: characterization of products** (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 - CRPA

Linea 3 di attività: Clostridi e digestione anaerobica

Referente: dott.ssa Mariangela Soldano - CRPA

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 quarta annualità si sono concluse le attività previste nella linea 1. Le attività relative alle altre linee di ricerca risultano essere concluse.

1. Attività svolta

Le attività della linea 1 sono state suddivise in due aree tematiche:

- caratterizzazione dei sedimenti
- caratterizzazione degli strati flottanti

Caratterizzazione dei sedimenti

Scopo dell'attività sperimentale è stato quello di indagare che tipologia di sedimento si può originare in impianti di digestione anaerobica su scala reale alimentati prevalentemente con biomasse di origine agro-zootecnica e agro-industriale: effluenti zootecnici, colture energetiche dedicate e sottoprodotti.

Sono stati effettuati dei sopralluoghi presso impianti di biogas soggetti a problematiche di sedimentazione ed è stato effettuato un campionamento del materiale sedimentato da sottoporre



ad una caratterizzazione chimico-fisica. L'indagine è stata completata mediante la raccolta dati riguardanti la tabella di alimentazione, il dimensionamento dell'impianto, la geometria e la volumetria dei fermentatori, le informazioni inerenti la tipologia di valorizzazione del biogas.

La caratterizzazione chimico-fisica è stata condotta presso CRPA Lab, Sezione Ambiente ed Energia, determinando il contenuto di solidi totali di ogni campione di sedimento e sottoponendolo ad un'analisi granulometrica.

A seguito dell'analisi granulometrica, ogni frazione viene integralmente raccolta, fotografata e conservata. Un sub-campione del sedimento rappresentante ciascuna classe granulometrica viene sottoposto ad osservazione microscopica e fotografato mediante sistema di acquisizione di immagine dedicato in modo tale da documentare che tipologia di materiale è maggiormente impattante sulla formazione del sedimento.

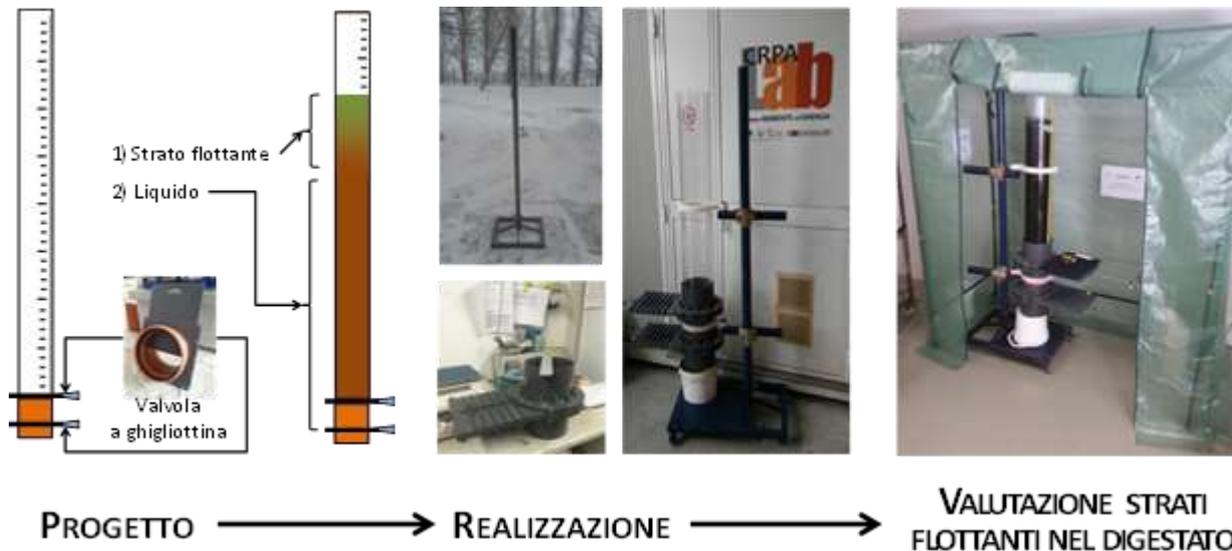
La metodica sviluppata in questa attività sperimentale permette di poter associare al valore numerico ottenuto dall'analisi granulometrica anche una descrizione del materiale presente nel sedimento. Tali informazioni risultano infatti di fondamentale importanza, per gli operatori degli impianti di biogas, nella gestione operativa di problematiche associate a fenomeni di sedimentazione.

Caratterizzazione di strati flottanti

In questa linea sperimentale è stato realizzato un dispositivo da laboratorio per lo studio dei fenomeni di stratificazione con particolare riferimento allo studio degli strati flottanti e delle croste galleggianti.

Il dispositivo per le prove di stratificazione è costituito da un cilindro di plexiglas trasparente atto a contenere fino a 25 kg di digestato. Il cilindro viene riempito con il digestato da caratterizzare che è poi lasciato a temperatura controllata a 39°C in assenza di miscelazione per un determinato periodo di tempo, a seconda del tipo di digestato, in modo da identificare lo strato flottante. Il plexiglas trasparente permette di effettuare le misurazioni utili a quantificare lo strato flottante e a monitorare eventuali formazioni di schiume o aumenti di volume nel fluido (rigonfiamenti); la coppia di valvole a ghigliottina poste sulla parte bassa del cilindro permette di prelevare in sequenza diversi strati della colonna di digestato stratificato. In questa attività si è voluto studiare lo strato flottante e quella sottostante ad esso denominata "liquido". La quantificazione dei solidi totali, dei solidi volatili, l'analisi granulometrica e il calcolo dell'area specifica di superficie (SSA) permettono una caratterizzazione delle frazioni recuperate d'interesse per la sperimentazione.

La possibilità di lavorare con un elevato quantitativo di digestato di tipo agro-zootecnico a temperatura controllata e poter prelevare diversi strati di materiale conferisce un carattere di innovatività del sistema realizzato rispetto ad altri descritti in letteratura.



Dispositivo per studiare la sedimentazione e la flottazione nei digestati.

Sono stati effettuati dei sopralluoghi presso impianti di biogas interessati ad approfondire le problematiche di stratificazione del digestato ed è stato effettuato un campionamento del digestato prelevato da uno o più dei digestori anaerobici dell'impianto. L'indagine è stata completata mediante la raccolta dati riguardanti la tabella di alimentazione, il dimensionamento dell'impianto, la geometria e la volumetria dei fermentatori, le informazioni inerenti la tipologia di valorizzazione del biogas.

Il digestato campionato dall'impianto di biogas in scala reale è stato sottoposto ad una prova di stratificazione utilizzando l'apparato sperimentale progettato e costruito presso CRPA Lab.

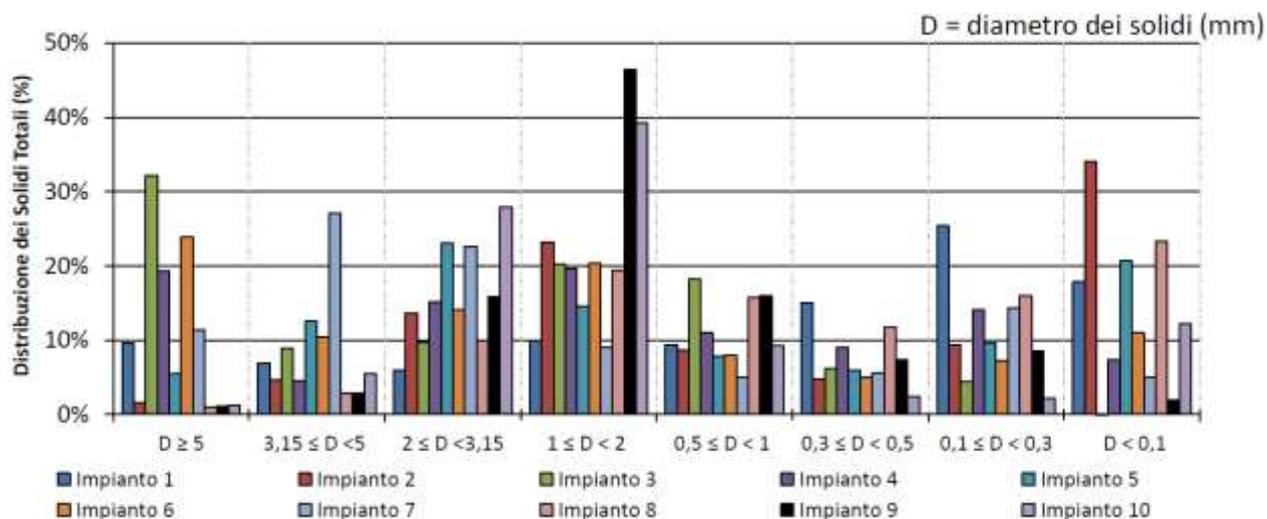
L'osservazione visiva ha permesso di classificare, in modo qualitativo, le stratificazioni del digestato in tre tipologie di comportamento: a) limitato rigonfiamento e limitata stratificazione; b) evidente rigonfiamento e limitata stratificazione; c) evidente rigonfiamento ed evidente stratificazione.

2. Risultati e deliverable

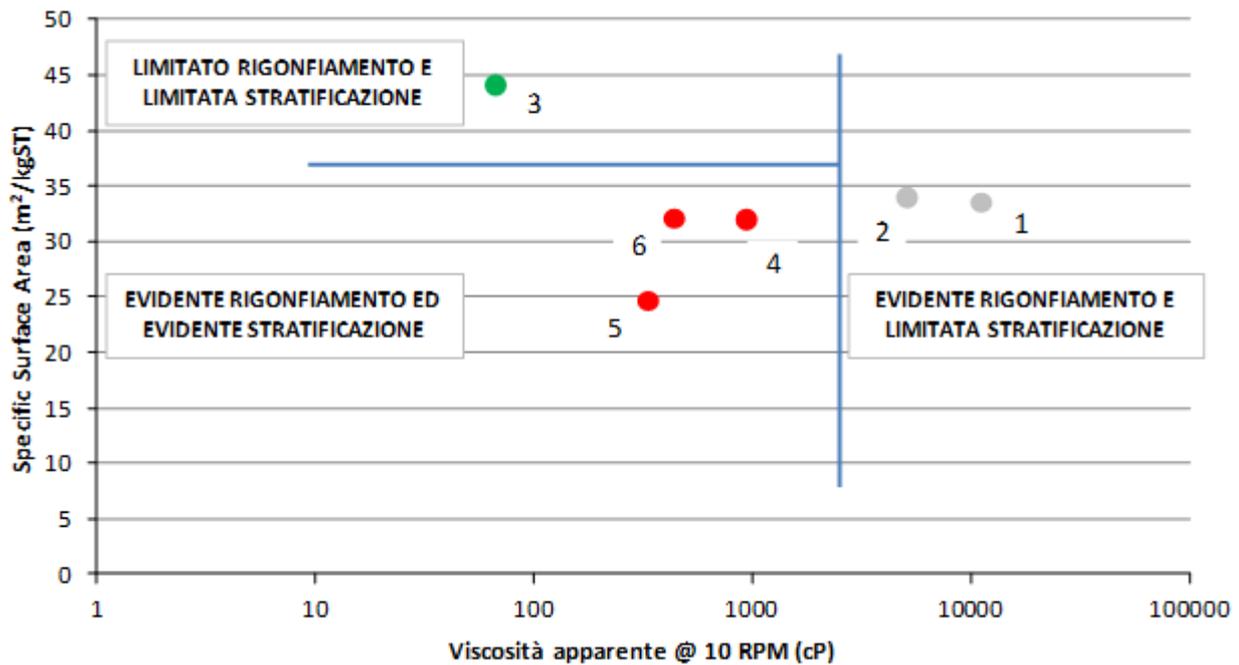
L'attività sperimentale ha contribuito a indagare sui fenomeni di formazione di stratificazione e sedimentazione in diverse tipologie di digestato, a realizzare un sistema da laboratorio per identificare e caratterizzare sedimenti e strati flottanti nel digestato, a definire indicazioni utili agli operatori degli impianti di biogas per una corretta gestione dei fluidi sia per la sezione di

fermentazione che per la sezione di stoccaggio del digestato chiarificato finalizzato all'utilizzo agronomico.

Di seguito viene riportata la distribuzione granulometrica dei sedimenti ritrovati nelle vasche di 10 impianti di biogas.



Nonostante il comportamento fluidodinamico del digestato in impianti di digestione anaerobica sia soggetto a numerose variabili e non sia semplice modellarne il comportamento, con la presente attività sperimentale è stato possibile mettere in relazione la viscosità, la granulometria dei solidi nel digestato e la tendenza del digestato a formare stratificazioni e croste galleggianti. I risultati di questa correlazione effettuata sul digestato di sei impianti di biogas sono riportati di seguito.



3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate
4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive
5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione
6. Elenco pubblicazioni

M. Garuti, F. Verzellesi, C. Fabbri, F. Gallucci. **Sedimenti e stratificazioni negli impianti di digestione anaerobica.** In *Green and circular economy: ricerca, innovazione e nuove opportunità - Atti Ecomondo 2019*, 269-274 Maggioli Editore (2019).



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).

Attività svolta e risultati

E' stato individuato ed acquistato tutto il materiale necessario alla realizzazione del prototipo di gruppo elettrogeno alimentato con miscela metano/idrogeno e del sistema per il monitoraggio



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

MiPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

delle prestazioni derivanti dal variare, nella miscela, delle concentrazioni dei due componenti. E' iniziata la fase di realizzazione comprendente:

- sensorizzazione degli elementi del gruppo elettrogeno - installazione del sensore di pressione (Kistler) sulla testata del motore; encoder incrementale per misura regime motore; sonde di temperature per vari elementi; trasduttore posizione valvola a farfalla; sonda umidità relativa aria;
- allestimento del sistema di simulazione del carico controllato da applicare al motore del gruppo elettrogeno per valutarne le prestazioni con le diverse miscele metano/idrogeno, basato su una serie di filtro.
- realizzazione del sistema di acquisizione con caratteristiche specifiche per rilievi di tipo motoristico (elevata frequenza di acquisizione)



Task 5.9 Organizzazione e archiviazione risultati trasferibili. Formazione, trasferimento partecipato delle conoscenze. Focus group.

Task leader: Dott.ssa Francesca Antonucci

Linea 1 di attività: Organizzazione e implementazione della banca dati in ragione dei requisiti dell'intero progetto.

Referenti: Dott.ssa Francesca Antonucci, Dott. Daniele Lolletti.

Linea 2 di attività: Definizione dei requisiti e gestione di una piattaforma e-learning e di interazione 2.0

Referenti: Dott.ssa Francesca Antonucci, Dott. Daniele Lolletti, Dott. Alessandro Piscicelli, Dott. Corrado Lamoglie, Dott.ssa Letizia Pompili.

Linea 3 di attività: Approfondimenti in presenza (Focus Group).

Referenti: Dott.ssa Francesca Antonucci, Dott. Daniele Lolletti.

Abstract

Il quarto anno ha previsto due tipi di attività in parallelo: una prettamente organizzativa ed una di carattere tecnico-scientifico. Per quanto riguarda la gestione delle attività organizzative a novembre 2019 è stata trasferita la leadership del task dal Dott. Daniele Lolletti del CREA-OFA di Roma alla Dott.ssa Francesca Antonucci del CREA-IT di Monterotondo. Questo ha comportato anche un trasferimento dei fondi tra le due U.O. di appartenenza. È in fase di predisposizione la procedura tecnica e negoziale per la pubblicazione di uno special issue su una rivista a divulgazione nazionale di settore che tratti tematiche nell'ambito del comparto agricolo, forestale ed ambientale. Da un punto di vista tecnico-scientifico, le attività hanno riguardato il continuo monitoraggio e la continua acquisizione dei risultati dei diversi WP e task sulle due piattaforme web interne CREA (i.e., Monitor e SharePoint). Inoltre, la gestione del sito web del progetto (<https://agroener.crea.gov.it/>) sarà potenziata dal nuovo personale tecnico-scientifico neoassunto al fine di aumentare le informazioni di divulgazione ottenute da tutti i task. Tutti i risultati prodotti nei vari WP del progetto verranno divulgati, oltre che sulle piattaforme interne CREA anche sul sito di progetto, anche nell'ottica di trasferire i loro contenuti nello special issue della rivista a divulgazione nazionale di settore in fase negoziale.

1. Attività svolta

Linea 1 di attività: Organizzazione e implementazione della banca dati in ragione dei requisiti dell'intero progetto.



Per quanto riguarda la progettazione e realizzazione della banca dati che accoglie i risultati del progetto [i.e., divulgazione sul sito di progetto (<https://agroener.crea.gov.it/>) e gestione delle piattaforme interne CREA], sono state raccolte numerose “schede risultato” sulla piattaforma SharePoint e numerosi “risultati prodotti” nella piattaforma Monitor, relative ai risultati ottenuti nei vari task del progetto. Le schede sono state predisposte anche in forma cartacea e distribuite durante la giornata dimostrativa del progetto, organizzata il 26/06/2019 presso la sede del CREA-IT di Monterotondo. Mentre per quanto riguarda i risultati prodotti, ad oggi sulla piattaforma Monitor risultano archiviati i seguenti:

Anno 2019

- Titolo risultato: Produzione di pellet di piantagioni da pioppo (Ref. Vincenzo Civitarese – CREA-IT)
- Titolo risultato: Caratteristiche qualitative del pellet di pioppo da Short Rotation (SFR) (Ref. Vincenzo Civitarese – CREA-IT)
- Titolo risultato: Fertilizzazione con biodigestato: prova in ambiente confinato su Lolium (Ref. Gabriella Rossi – CREA-AA)
- Titolo risultato: La canna comune può essere trasformata in olio (microbico) (Ref. Stefania Galletti – CREA-AA)
- Titolo risultato: La raccolta unica dell'Arundo a fine settembre è strategia ottimale dal punto di vista produttivo ed ambientale (Ref. Enrico Ceotto – CREA-AA)
- Titolo risultato: Microfiliera energetica di autoconsumo: sostenibilità economica ed energetica (Ref. Giulio Sperandio – CREA-IT)
- Titolo risultato: Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve (Ref. Giuseppe Pignatti – CREA-FL)
- Titolo risultato: Short Rotation Forestry (SRF) di pioppo per produzione di pellet (Ref. Vincenzo Civitarese – CREA-IT)
- Titolo risultato: Strumento innovativo per la stima del consumo di carburante, costi, consumi ed emissioni delle principali operazioni agricole e forestali (Ref. Corrado Costa – CREA-IT)
- Titolo risultato: Un nuovo approccio nell'ottica di un diserbo meccanico sottofila intelligente (Ref. Alberto Assirelli – CREA-IT)

Anno 2020

- Titolo risultato: Energia dell'agricoltura: innovazioni sostenibili per la bioeconomia (Ref. Paolo Menesatti – CREA-IT)
- Titolo risultato: Motori bi-fuel a metano/gasolio come fonti di potenza per trattori agricoli: attività di sviluppo e prove (Ref. Carlo Bisaglia – CREA-IT)



- Titolo risultato: Valorizzazione residui manutenzione verde urbano (Ref. Vincenzo Civitarese – CREA-IT)
- Titolo risultato: Valutazione di pompa di calore come sorgente di calore alternativa per coltivazione di vegetali a foglia in ambiente protetto (Ref. Marco Fedrizzi – CREA-IT)
- Titolo risultato: Effetti di diversi digestati zootecnici sulla lisciviazione dell'azoto nel suolo (Ref. Gabriella Rossi – CREA-AA)
- Titolo risultato: Selvicoltura a copertura continua per piantagioni di pino insigne (Ref. Giuseppe Pignatti – CREA-FL).

Linea 2 di attività: Definizione dei requisiti e gestione di una piattaforma e-learning e di interazione 2.0

Tutti i risultati archiviati sulle piattaforme interne CREA, non consultabili dall'intera comunità web, per sopperire a tale mancanza, saranno divulgati anche sul sito di progetto.

In generale, la piattaforma SharePoint è interamente consultabile e modificabile dal personale autorizzato dal coordinatore del progetto (i.e., tutti i partecipanti).

Questa funzionalità permette con l'ausilio del personale tecnico-scientifico neoassunto della sede del CREA-IT di Monterotondo, il monitoraggio del repository documentale e l'organizzazione della rete intranet aziendale, implementando gli ambienti web aggiornandoli continuamente. Sia la piattaforma Monitor che SharePoint si configurano con una rete intranet dedicata al personale scientifico CREA.

Per la divulgazione esterna anche ai fini del coinvolgimento di una Comunità di Pratiche, i nuovi risultati e le informazioni progettuali, strutturate in modalità divulgativa appropriata, saranno, come prima menzionato, inseriti nel sito del progetto all'indirizzo <https://agroener.crea.gov.it/>. Per potenziare le attività di divulgazione, disseminazione e trasferimento tecnologico, pur considerando le restrizioni dovute al perdurare delle condizioni emergenziali dovute alla pandemia da COVID-19, saranno predisposte anche delle attività di e-learning e divulgazione attraverso eventi webinar e/o seminari organizzati sulla piattaforma Teams resa disponibili negli ultimi periodi dal CREA.

In merito, è stato già effettuato un seminario dal titolo: "L'innovazione tecnica dei mezzi pesanti da trasporto per trattoristica e la logistica agroalimentare", tenuto dal Dott. Fabrizio Taverna, docente formazione avanzata, fisico, esperto di automotive heavy vehicle e organizzato dal CREA-IT per il giorno 10/03/2021 alle ore 15.00, sulla piattaforma Teams al link <https://www.crea.gov.it/web/ingegneria-e-trasformazioni-agroalimentari/-/l-innovazione-tecnica-dei-mezzi-pesanti-da-trasporto-per-trattoristica-e-la-logistica-agroalimentare?inheritRedirect=true&redirect=%2Fricerca%3Fq%3Dtaverna> che ha visto una buona partecipazione di personale anche esterno al CREA.



Linea 3 di attività: Approfondimenti in presenza (Focus Group).

L'emergenza COVID-19 che ha colpito l'Italia nell'anno 2020 e tutt'ora in essere, ha reso necessario rimodulare profondamente le attività da realizzare. In tale ottica, tutte le riunioni organizzative degli eventi si sono svolte in modalità telematica. Si prevede comunque per i mesi di maggio-giugno 2022, se possibile, l'organizzazione di un convegno finale in presenza da parte del coordinamento del progetto e con l'ausilio del personale del task 5.9 il quale, come detto sopra, si occuperà della divulgazione dei risultati tramite la presentazione dello special issue su rivista nazionale di divulgazione che tratti tematiche nell'ambito del comparto agricolo, forestale ed ambientale.

2. Risultati e deliverable

Per questo anno di attività i risultati hanno riguardato due diverse aspetti: uno prettamente organizzativo ed uno di carattere tecnico-scientifico. Per la parte organizzativa sono stati predisposti:

- Cambio di task leader (dal Dott. Lolletti alla Dott.ssa Antonucci) e trasferimento dei fondi dall'U.O. CREA-OFA all'U.O. CREA-IT;
- Richiesta proroga di n.2 collaboratori tecnici VI livello a tempo determinato part time al 66.66%, già impegnati nel progetto AGROENER ma in un altro task;
- Predisposizione della procedura negoziale per l'acquisto di uno special issue su una rivista a divulgazione nazionale di settore.

I risultati di carattere tecnico-scientifico hanno riguardato:

- Monitoraggio e acquisizione dei risultati dei diversi WP e task sulle due piattaforme web interne (i.e., Monitor e SharePoint) e futuro miglioramento della gestione del sito di progetto (<https://agroener.crea.gov.it/>) per il trasferimento tecnologico dei risultati ottenuti dai partecipanti;
- Coordinamento della divulgazione delle attività dei partecipanti nella presentazione dei risultati ottenuti anche nell'ottica di pubblicare i loro contenuti nello special issue della rivista a divulgazione nazionale di settore.

3. Ostacoli prevedibili e soluzioni adottate o ipotizzate

Sia la piattaforma Monitor che SharePoint si configurano con una rete intranet dedicata al personale scientifico CREA, e non come strumento aperto anche ad altre Strutture, Ditte o Enti scientifici esterni all'Ente. La realizzazione della pagina web dedicata alle attività del CREA-IT del sito dell'Ente (<https://www.crea.gov.it/web/ingegneria-e-trasformazioni-agroalimentari>), nella quale sono continuamente inseriti news, eventi e comunicati stampa (divulgati anche sui social network), potrebbe sopperire alla mancanza di una divulgazione del progetto a soggetti non appartenenti al



CREA. Inoltre, le figure neoassunte tecnico-scientifiche nel task 5.9 gestiranno il sito, già predisposto dal coordinamento a inizio progetto che è visitabile dall'intera comunità web.

Come specificato sopra, rispetto alla realizzazione di una Comunità di Pratiche specifica del progetto, risulta evidente che tali strumenti interni si discostino in modo piuttosto determinato. A tal proposito, i siti di progetto possono sopperire alla costituzione di tali Comunità di Pratiche così come anche la predisposizione di attività di e-learning è facilmente sostituibili da webinar, seminari e/o corsi on line sulla piattaforma Teams, resa disponibili negli ultimi periodi dal CREA.

4. Proposta di eventuali attività integrative o aggiuntive

Passaggio dalle Comunità di Pratiche e dai corsi in e-learning ai nuovi canali web ora resi disponibili dal CREA per facilitare i contatti tra i vari stakeholder (i.e., sito di progetto, webinar e/o seminari on line tramite piattaforma Teams, ecc.). Di tutti questi canali web se ne occuperanno le figure tecnico-scientifiche neoassunte nel task 5.9.

5. Attività di formazione, divulgazione e disseminazione

In data 19/02/2020 il coordinatore invia la richiesta di variante e proroga al 31/12/2022 del progetto (protocollo CREA N. 11580) al Dipartimento responsabile del Mipaaf nella quale sono state inserite diverse richieste per quanto riguarda il task 5.9. In particolare, è stato richiesto che i risparmi di spesa ottenuti a seguito della rimodulazione del costo del personale, possano essere attribuiti al capitolo materiale di consumo al fine di consentire la pubblicazione su una importante rivista del settore, che tratti tematiche nell'ambito del comparto agricolo, forestale ed ambientale, di un inserto speciale divulgativo dei risultati progettuali e pienamente in linea con gli obiettivi del task 5.9. Lo special issue in questione potrebbe essere costituito da circa 30 articoli suddivisi per esempio in:

- 1 articolo introduttivo del coordinamento;
- 5 articoli per ogni WP;
- 24 articoli (circa 5 articoli per WP) da richiedere ai partecipanti.

Infine, tali special issue saranno divulgati al prossimo convegno finale che si terrà alcuni mesi prima della fine del progetto.

6. Elenco pubblicazioni

Non sono state fatte pubblicazioni.



Elenco completo delle pubblicazioni effettuate sul progetto

Internazionali peer-reviewed, n. totale: 102

Divulgative, n. totale: 31

Atti convegni e congressi, n. totale: 110

1° e 2° anno

Internazionali peer-reviewed

1. Assirelli A., Caracciolo G., Cacchi M., Sirri S., Pallottino F., Costa C., 2018 "Evaluation of the Detachment Force Needed for Mechanical Thinning of Green Peach Fruits". *Sustainability* 2018, 10, 2291 10(7)
2. Assirelli A., Santangelo E., 2018 "An extractor for unloading the wet biomass stored in silo-bag" *Industrial Crop and Product* 123. 128-134.
3. Bardi L., 2018. "Production of bio-oils from microbial biomasses". In: R. Prasad (ed.), *Mycoremediation and Environmental sustainability, Fungal Biology*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018, 61-89
4. Bisaglia C., Brambilla M., Cutini M., Fiorati S., Howell M., 2018. "Methane/gasoline bi-fuel engines as a power source for standard agriculture tractors: development and testing activities". Accepted by *Applied Engineering in Agriculture* 34(2)365-375ISSN:0883-8542
5. Chiariotti A., Crisà A., 2018 "Bio-Hydrogen Production From Buffalo Waste With Rumen Inoculum and Metagenomic Characterization of Bacterial and Archaeal Community. *Front. Sustain. Food Syst.*"
6. Cianchetta S., Bregoli L., Galletti S., 2017. "Microplate-Based Evaluation of the Sugar Yield from Giant Reed, Giant Miscanthus and Switchgrass after Mild Chemical Pre-Treatments and Hydrolysis with Tailored Trichoderma Enzymatic Blends". *Applied biochemistry and biotechnology*, 183(3), 876-892. ISSN: 0273-2289
7. Colantoni A., Longo L., Gallucci F., Monarca D., 2016. "Pyro-gasification of hazelnut pruning using a downdraft gasifier for concurrent production of syngas and biochar". *Contemporary Engineering Sciences*, 9(27), 1339-1348.
8. Costa C., Biocca M., Pallottino F., Nardi P., Figorilli S., 2017. "Structure of the precision agriculture research in Italy from 2000 to 2016: a term mapping approach". *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 58: 643-648. ISSN: 2283-9216
9. Costa C., Figorilli S., Proto A.R., Colle G., Sperandio G., Gallo P., Antonucci F., Pallottino F., Menesatti.P., 2018 "Digital stereovision system for dendrometry, georeferencing and data management" *Biosystems Engineering*. ISSN: 1537-5110 (IF2017=2.132, Q2) 174, 126-133



10. Costa C., Taiti C., Zanetti M., Proto A., D'Andrea S., Greco R., Demattè L., Mancuso S., Cavalli R., 2017. "Assessing VOC emission by wood pellets using the PTR-ToF-MS technology". CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, 58: 445-450. ISSN: 2283-9216
11. Faugno S., Cacchi M., Sirri A., Caracciolo G., Giovannini D., Quacquarelli I., Civitarese V., Assirelli A., 2017. "Mechanical thinnings of Apricots Fruitlets". CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, 58, 259-264. ISSN:2283-9216
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., Mastroianni 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 prospective 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., Zamboni 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



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 Aalmo G., 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

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.



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

39. Assirelli A., Quacquarelli I., Caracciolo G., Dal Re L., 2017. "Innovative system for industrial hemp harvesting". 25th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden, pp. 294-297.
40. Assirelli A., Santangelo E., Caracciolo G., Brambilla M., Bisaglia C., Spinelli R., 2018. "TECHNIQUES FOR WHOLE-PLANT REMOVAL IN PEACH ORCHARD FOR ENERGY PURPOSE". Proceedings 26th European Biomass conference and Exhibition 14-17 may 2018 Copenhagen Denmark.
41. Brambilla M., Romano E., Cutini M., Fedrizzi M., Pagano M., Burchi G., Cacini S., Massa D., Terrosi C., Bisaglia C., 2018. "Effect of Bench Heating on Growing Medium Temperature and Heat Loss From a Greenhouse in Wintertime" AgEng conference July 8–12, 2018, Wageningen, the Netherlands.
42. Brambilla M., Romano E., Cutini M., Fedrizzi M., Pagano M., Burchi G., Cacini S., Massa D., Terrosi C., Bisaglia C., 2018. "Sensitivity Analysis of a Modified Equation for Greenhouse Energy Demand Assessment" AgEng conference July 8–12, 2018, Wageningen, the Netherlands.
43. Campi P., Navarro A., Modugno F., Mastroianni M., 2017. "Energy yield of BioMAss in Sorghum grown under deficit irrigation". Atti del XX Convegno AIAM e XLVI Convegno SIA Milano 12 - 14 settembre 2017. 52-54
44. Ceotto E., Castelli F., 2017. "Response of the Energy Grass Giant Reed to Three Harvest Strategies: Crop Growth Rate and Dry Matter Yield". Proceedings at 25th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden, pagg 283 - 285. ISBN 978-88-89407-17-2, ISSN 2282-5819
45. Ceotto E., Cianchetta S., Galletti S., In stampa. "Summer harvests Greatly Increase the Nitrogen Uptake of the Energy Grass Giant Reed". (Proceedings of 26th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE 2018)
46. Chiariotti A., Cali 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., Cali 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).
48. Chiariotti A., M. Cali., 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 REDUCTION". 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT – ICEEM09 6 - 9 SEPTEMBER 2017 BOLOGNA, ITALY.
51. Cianchetta S., Galletti S., 2017. "Alkali pretreatment and enzymatic hydrolysis of Arundo donax for single cell oil production" Bologna, 6-9 settembre 2017. Pp. 371-372. [Atti del 9th International Conference on Environmental Engineering and Management \(ICEEM\)](#).
52. Cianchetta S., Nota M., Galletti S., 2017. "Biological activity of alkali pre-treated Arundo donax extract towards different filamentous fungi". Poster al XXII Convegno nazionale Società Italiana di Patologia Vegetale - SIPaV. Piacenza 4-6 ottobre. Rivista di patologia vegetale Vol 99 S43-S44, Ottobre 2017.
53. Cianchetta S., Vasmara C., Galletti S., Orsi A., Marchetti R., 2018. "Effect of alkaline pre-treatment of giant reed biomass on biogas production". ELB 2018, Reims 26-29 giugno 2018.



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

MIPAAF DD n. 26329 del 1 aprile 2016

Relazione progettuale 4° anno – giugno 2019 – dicembre 2020

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".
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 organic micropollutants (PCDD/Fs and PCBs) from biomass combustion in a small chp facility" European Biomass Conference and Exhibition Proceedings, (26th EUBCE)
62. Gallucci F., Salerno M., Guerriero E., Amalfi M., Palmieri F., 2017. "Research facility assessment for biomass combustion in moving grate furnace". 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-fed thermal power plant of wheat and rice straw".
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., Paolini V., 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.
 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 PELLET 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., Cappellozza 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), 1693-1701. doi:10.30638/eemj.2019.159



81. 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>.
82. Civitarese 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 Trigereneration 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 revision*. (2020)
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)
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., Giacopini 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. (2020). "Vegetable-based oil as UTTO fluid for agricultural tractors applications". - *Applied Engineering in Agriculture*, manoscritto ASABE MS-13488-2019 Vol. 36(1): 79-88, © 2020 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542 <https://doi.org/10.13031/aea.13488>
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



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
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 microfiera energetica. Box 3 di approfondimento. In: *Biomasse legnose. Microfriere 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 AIIA "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 EUBC
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 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., Bellasi 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 EUBC



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., Pareti 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
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 aflatoossine 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 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

4° anno

Internazionali peer-reviewed

146. Pietrini F., Carnevale M., Beni C., Zacchini M., Gallucci F., Santangelo E., 2019. "Effect of Different Copper Levels on Growth and Morpho-Physiological Parameters in Giant Reed (*Arundo donax* L.) in Semi-Hydroponic Mesocosm Experiment" – *Water* 11, 1–19.
147. Coppa E., Astolfi S., Beni C., Carnevale M., Colarossi D., Gallucci F., Santangelo E., 2020. "Evaluating the potential use of Cu-contaminated soils for giant reed (*Arundo donax*, L.) cultivation as a biomass crop" - *Environmental Science and Pollution Research* 27(8), 8662-8672 <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07503-x>
148. Dono G., Picarella M.E., Pons C., Santangelo E., Monforte A., Granell A., Mazzucato A., 2020. "Characterization of a repertoire of tomato fruit genetic variants in the San marzano genetic background" - *Scientia Horticulturae* 261, Published online. doi:10.1016/j.scienta.2019.108927
149. Cecchini F., Serra M.C., Bevilacqua N., Costa C., Valori R., Pallottino F., Casadei G., Menesatti P., Antonucci F., 2020. "Advanced Modeling for the Identification of Different Pathogen Tolerant Vines to Reduce Fungicides and Energy Consumption". *Sustainability*, 12 (5): 1900.
150. Rossi G., Neri U., Felici B. And Benedetti A., 2020 "Effects Of Different Zootechnical Digestates On Fertilization And Nitrogen Leaching". *AGROCHIMICA* Vol. 64, No. 3 (July - September issue, 2020). ISSN 0002-1857 (IF 20018=0.750).
151. Santangelo E., Carnevale M., Migliori C.A., Picarella M.E., Dono G., A. Mazzucato A. - 2020 "Evaluation of tomato introgression lines diversified for peel color as a source of functional biocompounds and biomass for energy recovery". *Biomass and Bioenergy* 141 pag 1-9
152. Manfredini A., Chiariotti A., Santangelo E., Rossi E., Renzi G. & Dell'Abate M.T.* (2020) "Assessing the Biological Value of Soluble Organic Fractions from Tomato Pomace Digestates." - *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* pag 1-14 0718-9508
153. Ceotto E., Vasmara C., Marchetti R., Cianchetta S., Galletti S., 9 Dicembre 2020 pubblicato online "Biomass and methane yield of giant reed (*Arundo donax* L.) as affected by single and double annual harvest" - *GCB-Bioenergy Bioproducts for Sustainable Bio* Pag 1-39 <https://doi.org/10.1111/gcbb.12790>
154. Manici L.M., Caputo F., Cappelli G.A., Ceotto E. (2020) "Can repeated soil amendment with biogas digestates increase soil suppressiveness toward non-specific soil-borne pathogens in agricultural lands?" - *Renewable Agriculture and Food Systems* pag 1-12
155. Vasmara C., Cianchetta S., Marchetti R., Ceotto E., Galletti S. (2021) "Potassium Hydroxyde Pre-Treatment Enhances Methane Yield from Giant Reed (*Arundo donax* L.)" - *Energies* 14, 630 - p 1-13
156. Carnevale M., Longo L., Gallucci F., Santangelo E. (2021) "Influence of the harvest time and the airflow rate on the characteristics of the *Arundo* biochar produced in a pilot updraft reactor" - *Biomass Conversion and Biorefinery* - p 1-15 - <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01241-8>
157. Assirelli A., Dal Re L., Esposito S., Cocchi A., Santangelo E. (2020) "The Mechanical Harvesting of Hemp Using In-Field Stand-Retting: A Simpler Approach Converted to the Production of Fibers for Industrial Use" - *Sustainability* 12, 8795 - p 1-12 doi:10.3390/su12218795
158. Manfredini A., Chiariotti A., Santangelo E., Rossi E., Renzi G., Dell'Abate M.T. (2020) "Assessing the Biological Value of Soluble Organic Fractions from tomato Pomace Digestates" - *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* p 1 –16 0718-9508
159. Soppelsa S., Manici M.L., Caputo F., Zago M., Kelderer M. (2021) "Locally Available OrganicWaste for Counteracting Strawberry Decline in a Mountain Specialized Cropping Area" - *Sustainability* 13(7), 3964 p 1-15 - <https://doi.org/10.3390/su13073964>



160. Valenti F., Porto S.M.C., Selvaggi R., Pecorino B. (2020). "Co-digestion of by-products and agricultural residues: A bioeconomy perspective for a Mediterranean feedstock mixture." *Science of The Total Environment*, 700, 134440.
161. Manetto G., Cerruto E., Papa R., Selvaggi R., Pecorino B. (2020). "Performance evaluation of digestate spreading machines in vineyards and citrus orchards: preliminary trials", *Heliyon*, 6, e04257.
162. Torrisi B., Allegra M., Amenta M., Gentile F., Rapisarda P., Fabroni S., Ferlito F. (2021). "Physico-chemical and multielemental traits of anaerobic digestate from Mediterranean agro-industrial wastes and assessment as fertiliser for citrus nurseries." *In progress*
163. Fanigliulo R., Pochi D., Bondioli P., Grilli R., Fornaciari L., Folegatti L., Malaguti L., Matteo R., Ugolini L., Lazzeri L. (2021) "Semi-refined *Crambe abyssinica* (Hochst. EX R.E.Fr.) oil as a biobased hydraulic fluid for agricultural applications". - *Biomass Conversion and Biorefinery* - <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01213-y>
164. Bianchini L., Cecchini M., Gallo P., Biocca M. (2021). "A Survey on Rope-Based Ascending Techniques and Materials of Professional Arborists in Italy". *Environ. Sci. Proc.* 2021, 3, 23. doi: 10.3390/IECF2020-07881
165. Biocca, M., Gallo, P., Sperandio G. (2021). "Technical and Economic Aspects of Stone Pine (*Pinus pinea* L.) Maintenance in Urban Environments". *Environ. Sci. Proc.* 2021, 3, 16. doi: 10.3390/IECF2020-07910
166. Terrosi C., Cacini S., Burchi G., Cutini M., Brambilla M., Bisaglia C., Massa D., Fedrizzi M. (2020). "Evaluation of Compressor Heat Pump for Root Zone Heating as an Alternative Heating Source for Leafy Vegetable Cultivation" *Energies* 2020; 13(3):745 (15 pag.) <https://doi.org/10.3390/en13030745>
167. Martinelli T. (2020) "PLANT MORPHOLOGY, VEGETATIVE BIOMASS COMPOSITION AND ENERGY CONTENT OF THREE DIFFERENT *Silybum marianum* ACCESSIONS" *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 19(6), 71-78. DOI: 10.24326/asphc.2020.6.6
168. Pari L., Bergonzoli S., Cetera P., Mattei P., Alfano V., Rezaie N., Suardi A., Toscano G. Scarfone A. (2020) "Storage of Fine Woodchips from a Medium Rotation Coppice Eucalyptus Plantation in Central Italy". *Energies* 2020, 13, 2355; doi:10.3390/en13092355
169. Pari L., Rezaie N., Suardi A., Cetera P., Scarfone A., Bergonzoli S. (2020) "Medium Rotation Eucalyptus Plant: A Comparison of Storage Systems". *Energies* 2020, 13, 2915; doi:10.3390/en13112915
170. Palmieri N., Suardi A., Pari L. (2020) "Italian Consumers' Willingness to Pay for Eucalyptus Firewood". *Sustainability* 2020, 12, 2629; doi:10.3390/su12072629
171. Palmieri N., Suardi A., Latterini F., Pari L. (2020) "The Eucalyptus Firewood: Understanding Consumers' Behaviour and Motivations". *Agriculture* 2020, 10, 512; doi:10.3390/agriculture10110512
172. Pignatti G., Facciotto G., Incollu G., Maltoni S., Marongiu M., Sperandio G., Verani S., Puxeddu M. (2021) "Sustainable Forest Management in Radiata pine Plantations: A Case Study in Sardinia (Italy)". *Environ. Sci. Proc.* 2021, 3, 51. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-07958>
173. Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Pignatti G. (2021) "GreenBook for the Innovation in Fast Growing Trees. Prerequisites and new developments for Southern European short-rotation forestry". *International Poplar Commission 2021* (in stampa).
174. Garofalo P., Mastrorilli M., Ventrella D., Vonella A.V., Campi P. (2020). "Modelling the suitability of energy crops through a fuzzy-based system approach: The case of sugar beet in the bioethanol supply chain". - *Energy* 196: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117160>.
175. Garofalo P., Ventrella D., Mastrorilli M., Palumbo A.D., Campi P. (2020). "An empirical framework for modelling transpiration use efficiency and radiation use efficiency of biomass sorghum in Mediterranean environment". - *Italian Journal of Agrometeorology* 3, 49-62, DOI: 10.13128/ijam-4565.
176. Parenti A., Cappelli G., Zegada-Lizarazu W., Martín Sastre C., Christou M., Monti A., Ginaldi F. (2020). "SunnGro: A new crop model for the simulation of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) grown under alternative management practices". *Biomass and Bioenergy*, resubmitted after minor revision.
177. Cappelli G., Ginaldi F., Fanchini D., Corinzia S.A., Cosentino S.L., Ceotto E. (2021). "Model-based assessment of giant reed (*Arundo donax* L.) energy yield in the form of diverse biofuels in marginal areas of Italy". - *Land* 2021, 10,548. <https://doi.org/10.3390/land10060548>
178. Sallustio, L., Harfouche A., Marchetti M., Salvati L., Corona P. (2020). "Evaluating the potential of marginal lands available for sustainable cellulosic biofuel production in Italy". *Land Use*, submitted.
179. Cutini M., Costa C., Brambilla M., Bisaglia C. (2021). "Prediction of the traction performance of agricultural tires from 3D footprint shape". - *Journal of Terramechanics*, JTerra_2019_57, **Under review**



180. Assirelli A., Carbone K., Ciccioritti R. (2020) "Mechanical hop-picking solutions in Italian cultivated areas" - Sustainability 12(12), 5006; <https://doi.org/10.3390/su12125006>
181. Proto A.R., Sperandio G., Costa C., Maesano M., Antonucci F., Macrì G., Scarascia Mugnozza G., Zimbalatti G. (2020). "A three-step neural network artificial intelligence modelling approach for time, productivity and costs prediction: a case study in Italian forestry". - CROATIAN JOURNAL OF FOREST ENGINEERING, (CROJFE) 41: 35-47. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.611>
182. Brambilla M., Romano E., Toscano P., Cutini M., Biocca M., Ferré C., Comolli R., Bisaglia C. (2021). "From conventional to precision fertilization: a case study on the transition for a small-medium farm". - Submitted to AgriEngineering (MDPI)
183. Brambilla M., Romano E., Buccheri M., Cutini M., Toscano P., Cacini S., Massa D., Ferri S., Monarca D., Fedrizzi M., Burchi G., Bisaglia C. (2020). "Application of a low-cost RGB sensor to detect basil (*Ocimum basilicum* L.) nutritional status at pilot scale level". *Precision Agriculture*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09752-0>. Print ISSN: 1385-2256. Online ISSN: 1573-1618 (I.F. 2019-2020 = 3.840)
184. Assirelli A., Brambilla M., Leonello E.C., Magagnotti N., Spinelli R. (2020). "Productivity, cost and product quality of complete-tree processing in orchard termination operations". - Under review in Biomass & Bioenergy Journal
185. Pochi D., Fanigliulo R., Bisaglia C., Cutini M., Grilli R., Fornaciari L., Betto M., Pari L., Gallucci F., Capuzzi L., Sagliano A., Palmieri F., Chiatti G. (2020). "Test Rig and Method for Comparative Evaluation of Conventional and Bio-Based Hydraulic Fluids and Lubricants for Agricultural Transmissions". - Sustainability 2020, 12, 8564; doi:10.3390/su12208564, www.mdpi.com/journal/sustainability
186. Bascietto M., Sperandio G., Bajocco S. (2020). "Efficient Estimation of Biomass from Residual Agroforestry". ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 21. Doi:10.3390/ijgi9010021 www.mdpi.com/journal/ijgi
187. Suardi A., Saia S., Stefanoni W., Gunnarsson C., Sundberg M., Pari L. (2020) "Admixing Chaff with Straw Increased the Residues Collected without Compromising Machinery Efficiencies". - Energies 2020, 13, 1766; doi:10.3390/en13071766
188. Bergonzoli S., Suardi A., Rezaie N., Alfano V., Pari L. (2020). "An Innovative System for Maize Cob and Wheat Chaff Harvesting: Simultaneous Grain and Residues Collection". - Energies 2020, 13, 1265; doi:10.3390/en13051265
189. Suardi A., Stefanoni W., Bergonzoli S., Latterini F., Jonsson N., Pari L. (2020) "Comparison between Two Strategies for the Collection of Wheat Residue after Mechanical Harvesting: Performance and Cost Analysis". - Sustainability 2020, 12, 4936; doi:10.3390/su12124936
190. Antonucci F., Figorilli S., Costa C., Pallottino F., Raso L., Menesatti P. (2019). "A Review on blockchain applications in the agri-food sector". JOURNAL OF THE SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE, 99: 6129–6138.
191. Sasha D. Hafner, Hélène Fruteau de Laclous 2, Konrad Koch 3 and Christof Holliger. (2020) "Improving Inter-Laboratory Reproducibility in Measurement of Biochemical Methane Potential (BMP)" - Water 2020, 12, 1752; doi:10.3390/w12061752
192. Bergonzoli S., Brambilla M., Romano E., Saia S., Cetera P., Cutini M., Toscano T., Bisaglia C., Pari L. (2020). "Feeding Emitters for Microirrigation with a Digestate Liquid Fraction up to 25% Dilution Did Not Reduce Their Performance". - Agronomy, 10(8), 1150.
193. Gallucci F., Liberatore R., Sapegno L., Volponi E., Venturini P., Rispoli F., Paris E., Carnevale M., Colantoni A. (2020). "Influence of oxidant agent on syngas composition: gasification of hazelnut shells through an updraft reactor" - Energies 13(1), 2020, <https://doi.org/10.3390/en13010102>
194. Soldano M., Pietri A., Bertuzzi T., Fabbri C., Piccinini S., Gallucci F., Aureli G. (2020) "Anaerobic Digestion of Mycotoxin-Contaminated Wheat: Effects on Methane Yield and Contamination Level", - BioEnergy Research, DOI 10.1007/s12155-020-10161-4
195. Proto A.R., Palma A., Paris E., Papandrea S.F., Vincenti B., Carnevale M., Guerriero E., Bonofiglio R., Gallucci F. (2021) "Assessment of wood chip combustion and emission behavior of different agricultural biomasses", - Fuel, 289 (2021), p. 119758, 10.1016/j.fuel.2020.119758.
196. Colantoni A., Paris E., Bianchini L., Ferri S., Marcantonio V., Carnevale M., Palma A., Civitarese V., Gallucci F. (2021) "Spent coffee ground characterization, pelletization test and emissions assessment in the combustion process", - Scientific Reports, 11(1), 2021, 10.1038/s41598-021-84772-y.



197. Carnevale M., Guerriero E., Paris E., Palma A., Vincenti B., Del Giudice A., Rantica E., Khalid A., Tonolo A., Gallucci F. (2021) "Development of a method for sampling levoglucosan from stack emissions", (in fase di stesura)
198. Galletti S., Cianchetta S., Roberti R. (2019) "A lignin-rich extract from *Arundo donax* protects zucchini plants from *Pythium* sp. Attack". *Journal of Plant Pathology* (2019) 101:824

Divulgative

199. Marchetti R., 2020 "Produzione d'Inoculi per digestori anaerobici da liquami suinicoli". *Technology Report Rete Alta Tecnologia Emilia Romagna*
200. Dono G., -Relatore: Mazzucato A. - Tesi di dottorato in Scienze delle Produzioni Vegetali e Animali "CHARACTERIZATION OF A COLLECTION OF TOMATO MUTANT LINES IN THE SAN MARZANO BACKGROUND" Università della Tuscia - Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali
201. Mazzucato A., Santangelo E., Dono G., Picarella M. E., - 27 maggio 2020 "Tradizioni e novità: nuovi colori nella bacca del pomodoro San Marzano" - *AgroNotizie*
202. Bisaglia C., Brambilla M., Cutini M. 2020 - "Rotomix 6000 Eco 5 una motorizzazione virtuosa" - *Mad* (Edizioni L'Informatore Agrario) pag 26-31
203. Acampora A., Civitarese V., Sperandio G. (2021) "Produzione di pellet da residui di potatura di nocciolo e olivo" - *Sherwood* 25-29
204. Civitarese V., Acampora A., Sperandio G., Gallo P., Biocca M. "I prodotti della gestione del verde urbano. Cantieristica e potenziali impieghi delle biomasse". *Sottoposto a Sherwood*.
205. Aromolo R., Biocca M., Gallo P., Imperi G. (2021) "Valutazione di parametri qualitativi nella biomassa legnosa di *Quercus ilex* a Castelporziano: primi risultati". In corso di pubblicazione in: - IV° serie di raccolte dell'Accademia Nazionale delle Scienze - Il Sistema ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano – Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo.
206. Ceotto E. (2019). "Colture utilizzabili per alimentare impianti a biometano. Aspetti ambientali. Capitolo 3. In: I nuovi incentivi per la produzione di biometano. Le novità del nuovo Decreto per la promozione del biometano nel settore agricolo". *Quaderni delle Agroenergie.03*. ENAMA, Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola. Pagine 31-39. ISBN 978-88-908902-2-2.
207. Assirelli A., Caracciolo G., Stagno F., Rocuzzo G. (2021) "Diradamento meccanico frutti: buoni risultati su albicocco" - *L'informatore Agrario* 11/2021, pg 48-50
208. G. Sperandio, R. Tomasone, M. Pagano, C. Cedrola, A. Acampora, A. Assirelli, P. Santelli (2020). *Ali gocciolanti: valutare il reale vantaggio economico*. *L'informatore Agrario* 24/2020: 46-49

Atti convegni e congressi

209. Assirelli A., Beni C., Pagano M., Cedrola C., Tomasone R., Santangelo E. - 2020 "Residues from mechanized nut harvesting: Preliminary tests to valorize walnut husks for biochar production and possible use as soil amendment"- 28th European Biomass Conference and Exhibition – Virtual 132-136
210. Carbone K., Santangelo E., De Angelis A., Micheli L., Frosinini R., Gargani E., Migliori C.A., Mazzucato A. - 2020 "Green synthesis of silver nanoparticles from hyperpigmented tomato skins and preliminary evaluation of the insecticidal activity" - 28th European Biomass Conference and Exhibition – Virtual 656-659



211. Del Giudice A., Scarfone A., Paris E., Gallucci F., Santangelo E. - 2020 "Qualitative assessment of residual Biomass from a Turkey Oak (*Quercus cerris*, L.) Coppice in central Italy" - 28th European Biomass Conference and Exhibition – Virtual 128-131
212. Santangelo E., Beni C., Paris E., Del Giudice A., Zacchini M., Pietrini F., Gallucci F. - 2020 "Effect of Groundwater level on Giant reed (*Arundo Donax*, L.) Plants grown in mesocombs" - 28th European Biomass Conference and Exhibition – Virtual 212-215
213. Aureli G., Iori A., Fabbri C., Gallucci F., Soldano M. (2020) - "Tossine dell'*Alternaria* spp. nel frumento: effetti della digestione anaerobica e BMP" - Atti del VI Congresso Nazionale "Micotossine e Tossine Vegetali nella filiera agro-alimentare" Roma 117-124, 1123-3117
214. Civitarese V., Acampora A., Sperandio G., Caracciolo G., Assirelli A. (2020) "Pellet from 9 years old poplar. Characterization of the raw material and the pellets produced" - 28th European Biomass Conference and Exhibition – Virtual 360-363
215. Acampora A., Civitarese V., Sperandio G., Caracciolo G., Assirelli A. (2020) "Pellets from Hazel and Olive groves pruning residues. Characterization of the product obtained" - 28th European Biomass Conference and Exhibition – Virtual 364-367
216. Vasmarà C., Marchetti R., Cianchetta S., Galletti S., Ceotto E. (2020). "Enhancing methane yield from giant reed (*Arundo donax* L.) through thermoalkaline pre-treatment and co-digestion with pig slurry" (Conference Paper), European Biomass Conference and Exhibition Proceedings, Pp. 481-483
217. Biocca M., Gallo P., Sperandio G. (2020) "Technical and Economic Evaluation of Urban Trees Pruning by Climbing Arborists". In: Coppola A., Di Renzo G., Altieri G., D'Antonio P. (eds) - Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production. MID-TERM AIIA 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 67, 653-660, Springer, Cham
218. Fedrizzi M., Terrosi C., Cacini S., Burchi G., Cutini M., Brambilla M., Bisaglia C., Pagano M., Figorilli S., Costa C., Massa D. 2020. "Evaluation of coaxial pipes for basal heating as alternative for energy saving in heating system for leafy vegetables". In: *Lecture Notes in Civil Engineering Vol.67 - Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production*, di Coppola A., Di Renzo G.C., Altieri G., D'Antonio P. Ed. Springer Nature Switzerland AG 2020, pag 603-610 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39299-4>
219. Cappelli G.A., Ginaldi F., Corinzia S.A., Cosentino S.L., Fanchini D., Ceotto E. (2020). "Assessment of Giant Reed Biomass Potential (*Arundo Donax* L.) in Marginal Areas of Italy via the Application of Arungro Simulation Model". Proceedings of the 28th European Biomass Conference and Exhibition. Pages 15 – 21, ISBN 978-88-89407-20-2, DOI: 10.5071/28thEUBCE2020-1AO.7.4.
220. Vasmarà C., Marchetti R., Cianchetta S., Galletti S., Ceotto E. (2019). "Double or Single Harvest To Maximize Biomass And Methane Yields Of Giant Reed (*Arundo donax* L.)" Proceedings of XLVIII Conference of Italian Society for Agronomy (Seddaiu G., Benincasa P. Eds.), Perugia, Italy, 18th-20th September 2019, pag. 115-116. ISBN 978-88-99407-01-8.
221. Garofalo P., Campi P., Palumbo D.A., Ventrella D. (2020). "An Empirical Approach for Assessing Climate Change on the Performance of Biomass Sorghum in Southern Italy". - Proceedings of the 49th Conference of the Italian Society of Agronomy (Dalla Marta A., Ventrella D., Eds.), Bari, Italy, 16th-18th September 2020, pag. 51-52
222. Modugno A.F., Mastroianni M., Campi P. (2020). "Limiting the Irrigation Supply to Biomass Sorghum". - Proceedings of the 49th Conference of the Italian Society of Agronomy (Dalla Marta A., Ventrella D., Eds.), Bari, Italy, 16th-18th September 2020, pag. 97-98.



223. Cutini M., Brambilla M., Bisaglia C., Pochi D., Fanigliulo R. (2020). "Efficiency of tractor drawbar power taking into account soil-tire slippage". Innovative Biosystems Engineering for sustainable agriculture, forestry and food production, International Mid-Term Conference 2019 (AIIA). Matera, September 12-13, 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 67, 409-417; <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39299-4>
224. Cutini M., Brambilla M., Bisaglia C., Pochi D., Fanigliulo R. (2021). "A Simplified Algorithm for the Optimal Setting of the Factors Affecting Agricultural Tractor Fuel Consumption During Heavy Drawbar Tasks". - Ageng 2021 Conference "New Challenges for Agricultural Engineering towards a new world, Evora, Portugal, July 4-8, 2021. **Submitted**
225. Cutini M., Brambilla M., Romano E., Alberto A., Bisaglia C. (2021). "Encouraging the Adoption of Precision Fertilization Technologies: steps from Theory to Practice". Submitted to: Ageng 2021 Conference "New Challenges for Agricultural Engineering towards a new world, Evora, Portugal, July 4-8, 2021.
226. Romano E., Brambilla M., Toscano P., Bisaglia C. (2020). "A Method to Implement a Monitoring System Based on Low-Cost Sensors for Micro-environmental Conditions Monitoring in Greenhouses". - In: *Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production*, Lecture Notes in Civil Engineering 67: 775-782. Springer Nature Switzerland AG. A. Coppola et al. (eds.), ISSN 2366-2557. ISSN 2366-2565 (electronic). ISBN 978-3-030-39298-7. ISBN 978-3-030-39299-4 (eBook). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39299-4_1.
227. Assirelli A., Rocuzzo G., Brambilla M., Stagno F., Civitarese V., Paoletti A., Bisaglia C. (2021). "Potential use of briquetting techniques for cereal chaff". - Under review 29th European Biomass Conference and Exhibition Proceedings e-EUBCE Virtual edition
228. Sperandio G., Suardi A., Acampora A., Civitarese V. (2020). "Carbon footprint of thermal energy production from poplar short-rotation coppice plantations". The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 (Online). <https://sciforum.net/paper/view/conference/7908> [Presentation]
229. Sperandio G., Acampora A., Civitarese V., Bajocco S., Bascietto M. (2020). "Transport cost estimation model of the agroforestry biomass in a small-scale energy chain". The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 (Online). <https://sciforum.net/paper/view/conference/7891> [Presentation]
230. Biocca M., Gallo P., Sperandio G. (2020). "Technical and economic aspects of Stone Pine (*Pinus pinea* L.) maintenance in urban environments". Partecipazione a: "The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 (Online). <https://sciforum.net/paper/view/conference/7910> [Presentation]
231. Pignatti G., Facciotto G., Incollu G., Maltoni S., Marongiu M., Sperandio G., Verani S., Puxeddu M. (2020). "Sustainable Forest Management in Radiata pine Plantations: Case Study in Sardinia (Italy)". The 1st International Electronic Conference on Forests (IECF). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinary. 15-30 November 2020 (Online). <https://sciforum.net/paper/view/conference/7958> [Presentation]
232. Civitarese V., Acampora A., Sperandio G., Caracciolo G., Assirelli A. (2020). "Pellet from 9-year-old poplar. Characterization of the raw material and the pellets produced". 28th European Biomass Conference and Exhibition (Virtual). Marsiglia, Francia, 6-13 July. In Atti della Conferenza, Pp. 360-363.
233. Acampora A., Civitarese V., Sperandio G., Caracciolo G., Assirelli A. (2020). "Pellets from hazel and olive groves pruning residues. Characterization of the product obtained". Partecipazione a: 28th European Biomass Conference and Exhibition (Virtual). Marsiglia, Francia, 6-9 July 2020. . In Atti della Conferenza, Pp. 364-367.



234. Chiariotti A., Rossi E., Santangelo E. (2019). "Are the tomato pomace residues useful for hydrogen production?" - IX World Buffalo Congress, 18-20 Sept. Istanbul Turkey
235. Chiariotti A., Concetti S., Calì M., Crisà A. (2019) "CREA research activity on biogas production from buffalo wastes". - IX World Buffalo Congress, 18-20 Sept. Istanbul Turkey.
236. Garuti M., Verzellesi F., Fabbri C., Gallucci F. (2019) "Sedimenti e stratificazioni negli impianti di digestione anaerobica" - ECOMONDO 2019 - Designing a better world
237. Gallucci F., Paris E., Palma A., Carnevale M., Vincenti B., Colantoni A., Bianchini L. (2020) "Energetic characterization of spent coffee grounds pellet for combustion processes" - ECOMONDO 2020 – Digital Edition.
238. Gallucci F., Paris E., Carnevale M., Palma A., Vincenti B., Ciambottini V., Guerriero E., Tonolo A. (2020) "Sampling of particulate matter fractions from biomass burning by a prototype device" - ECOMONDO 2020 – Digital Edition.
239. Borello D., De Caprariis B., Ancona V., Paris E., Plescia P., Gallucci F. (2020) "Use of an innovative TGA apparatus for sampling the emissions generated by pyrolysis of Plant Assisted Bio-Remediation biomass" - 28th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE - Virtual
240. Paris E., Carnevale M., Palma A., Vincenti B., Assirelli A., Paolini V., Guerriero E., Plescia P., Tonolo A., Di Stefano V., Gallucci F. (2020) "Comparison between VOCs emitted from orange with and without peel and development of an emission abatement system" - 28th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
241. Vincenti B., Proto A.R., Paris E., Palma A., Carnevale M., Guerriero E., Petracchini F., Salerno M., Tonolo A., Di Stefano V., Gallucci F. (2020). "Chemical and physical characterization of pellet composed of biomass of different essences", - 28th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE
242. Colantoni A., Bianchini L., Paris E., Palma A., Vincenti B., Carnevale M., Scarfone A., Del Giudice A., Civitarese V., Di Stefano V., Tonolo A., Gallucci F. (2020) "Different pellet mixtures obtained from spent coffee grounds: energetic characterization", - 28th European Biomass Conference Exhibition EUBCE
243. Carnevale M., Santangelo E., Colantoni A., Paris E., Palma A., Vincenti B., Paolini V., Petracchini F., Salerno M., Di Stefano V., Gallucci F. (2020) "Thermogravimetric analysis of olive tree pruning as pyrolysis feedstock", - 28th European Biomass Conference Exhibition EUBCE