

LA MECCANICA AGRARIA OGGI

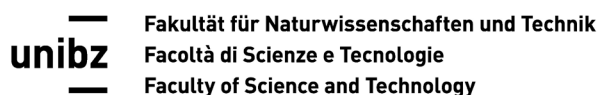
**UN CONFRONTO APERTO SU CONCETTI
IDEE E ASPETTATIVE DI UNA DISCIPLINA IN CONTINUA EVOLUZIONE**

a cura di Marco Bietresato e Fabrizio Mazzetto

Atti dell'omonimo convegno tenutosi
presso la libera Università di Bolzano e il NOI-Techpark
Bolzano, 23-24 novembre 2017

cleup

Pubblicazione realizzata con il contributo di



Curatori

- Marco BIETRESATO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie

Comitato scientifico

- Paolo BALSARI, Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari
- Raffaele CAVALLI, Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali
- Giovanni Carlo DI RENZO, Università degli Studi della Basilicata, Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali
- Andreas GRONAUER, Universität für Bodenkultur Wien, Department of Sustainable Agricultural Systems
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Giovanni MOLARI, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari
- Danilo MONARCA, Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali
- Gianfranco PERGHER, Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali
- Felice PIPITONE, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali
- Giuseppe ZIMBALATTI, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Agraria

Comitato organizzativo

- Marco BIETRESATO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Raimondo GALLO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie

DOI: 10.23737/MECCANICA_AGRARIA_OGGI.HTML
https://doi.org/10.23737/MECCANICA_AGRARIA_OGGI.HTML

Prima edizione: luglio 2018

ISBN 978 88 6787 947 2

© 2018 CLEUP SC

“Coop. Libreria Editrice Università di Padova”
via G. Belzoni 118/3 – Padova (t. +39 049 8753496)
www.cleup.it
www.facebook.com/cleup

Tutti i diritti di traduzione, riproduzione e adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo (comprese le copie fotostatiche e i microfilm) sono riservati.

In copertina: disegno di Giovanna Bampa e Ian Carta, Ufficio Stampa ed Organizzazione Eventi, Libera Università di Bolzano.

Indice

I Sessione – **Riflessioni Generali**

Chairman: Prof. D. Monarca

- 13 Riflessioni su una roadmap concettuale per la Meccanica Agraria - Ruoli e competenze del settore nei programmi di studio universitari e nelle ricerche interdisciplinari
F. Mazzetto
- 29 Il punto di vista della Meccanica Agraria nelle tecnologie produttive di pieno campo - Agricoltura di Montagna: UN CASO STUDIO
F. Pipitone
- 41 Il punto di vista della Meccanica Agraria nelle tecnologie produttive del settore agroindustriale
G. Di Renzo
- 53 Il punto di vista della Meccanica Agraria negli aspetti gestionali dell'impresa
R. Gubiani

II Sessione – **Riflessioni Generali**

Chairman: Prof. F. Mazzetto

- 65 Il punto di vista della Meccanica Agraria nelle discipline trasversali
M. Lazzari
- 75 Gli orientamenti internazionali della ricerca in Meccanica Agraria visti attraverso la lente del Club di Bologna e i rapporti col comparto industriale
P. Balsari
- 99 Evoluzione e integrazione della ricerca in Meccanica Agraria nel CREA
P. Menesatti

III Sessione – Presentazione poster: **Meccanica Agraria e Tecnologie Produttive**

Chairman: Prof. F. Pipitone

- 115 Dispositivi per la riduzione della deriva delle polveri da seme conciato
M. Biocca, P. Fanigliulo, P. Gallo, R. Grilli, D. Pochi
- 123 Prime prove di un biolubrificante per il gruppo trasmissione-impianto idraulico di un trattore agricolo
D. Pochi, C. Bisaglia, M. Cutini, C. Cervellini, G. Brannetti, M. Betto, R. Grilli, L. Fornaciari, S. Benigni, R. Fanigliulo
- 135 Innovazioni per la sostenibilità energetica nel settore agroforestale
A. Colantoni, D. Monarca, M. Cecchini
- 141 Raccolta e post-raccolta, le linee di ricerca del DAFNE
D. Monarca, R. Massantini, R. Moschetti, S. Ferri
- 145 Progetto di sistemi ottici semplificati per il settore agroalimentare
R. Beghi, V. Giovenzana, A. Tugnolo, R. Guidetti
- 153 Controllo fuzzy di digestori a doppio stadio: sperimentazione a scala di laboratorio per la produzione di bioidrogeno e biometano
R. Oberti, A. Calcante, A. Finzi, G. Provolo
- 159 Impianto innovativo per la surgelazione alimentare a temperature criogeniche
A. Biglia, L. Comba, D. Ricauda Aimonino, P. Gay
- 165 Riduzione dell'impatto ambientale dei motori agricoli grazie ad un cambio di alimentazione
M. Bietresato, F. Mazzetto
- 173 I metodi della Meccanica Agraria al servizio del monitoraggio ambientale: le esperienze del progetto Wequal
R. Corso, R. Gallo, G. Ristorto, R. Valentini, F. Mazzetta
- 181 Impianto combinato ultrasuoni-microonde per l'estrazione in continuo dell'olio d'oliva
A. Leone, R. Romaniello, A. Tamborrino
- 193 Sistemi a base di Ossido di Titanio (TiO_2) per decomporre l'etilene durante la conservazione dei prodotti ortofrutticoli
M. L. Dechiara, M. L. Amodio, A. Lucciulli, L. Spremulli, G. Colelli
- 201 Riduzione delle emissioni inquinanti dei trattori: confronto tra EGR e SCR
J. Bacenetti, D. Lovarelli, D. Facchinetti, D. Pessina
- 209 Impiego dei sistemi di visione artificiale nel post raccolta dei prodotti di qualità
B. Bernardi, S. Benalia, S. Cubero, J. Blasco, J.M. Prats-Montalbán, A. Morabito, G. Zimbalatti
- 215 Caratterizzazione mediante analisi standard ed innovative di residui agricoli ed agro-industriali ai fini della loro valorizzazione
E. Foppa Pedretti, G. Toscano, D. Duca

- 223 **Meccanica agraria e zootecnia: mungitura robotizzata, analisi dei consumi energetici**
F. M. Tangorra, A. Calcante, R. Oberti, M. Lazzari
- 231 **Droni: efficace contributo alla moderna agricoltura di precisione**
L. Comba, A. Biglia, D. Ricauda Aimonino, P. Gay
- 239 **Biogas production from maize straw after pretreatment with steam explosion**
J. Lizasoain, A. Shevidi, B. Wlcek, A. Gronauer, A. Bauer
- 245 **Prove di compressione di olive da tavola per valutare la consistenza della polpa**
M. Vallone, P. Catania

IV Sessione – Ricerca e divulgazione

Chairman: Prof. G. Pergher

- 255 **Lo stato dell'arte degli indirizzi di ricerca in Meccanica Agraria presso le sedi universitarie e gli enti di ricerca nazionali**
R. Cavalli
- 271 **Le pubblicazioni di Meccanica Agraria tra esigenze di rigore scientifico e quelle divulgative**
G. Molari, M. Mattetti
- 299 **Continuing Education Program "AgEng"**
A. Gronauer

V Sessione – Presentazione poster: Meccanizzazione e Gestione dell'Impresa

Chairman: Prof. G. Zimbalatti

- 307 **Processi di meccanizzazione nel Contesto Rurale per lo Sviluppo Sostenibile**
I. Zambon, D. Monarca
- 313 **La ricerca sulla salute e sicurezza in agricoltura: le attività di ergolab-unitus**
M. Cecchini, D. Monarca, A. Colantoni
- 319 **Analisi tecnico-economica di cantieri per la difesa delle colture con tecnologie a diverso grado di innovazione**
A. Calcante, E. Tona, R. Oberti
- 329 **L'analisi energetica e l'approccio "Life Cycle Assessment" per la progettazione e la gestione degli impianti agroalimentari**
R. Guidetti, R. Beghi, V. Giovenzana
- 335 **Sostenibilità ambientale delle operazioni meccaniche di campo**
M. Fiala, L. Nonini, D. Marveggio

- 343 Tendenze nel settore della meccanica agraria e relativa attività a Padova
F. Marinello, L. Sartori
- 351 La presenza femminile nella Meccanica Agraria italiana
L. Bortolini, A. Calvo, S. Failla, A. Tamborrino
- 359 Analisi sui tempi di intervento per operazioni di soccorso e ricerca in ambienti montani
S. Grigolato, R. Cavalli, M. Ciesa
- 367 Il monitoraggio colturale automatizzato: chimera o realtà?
R. Gallo, F. Mazzetto
- 375 SPARKLE - Agricoltura di precisione sostenibile: ricerca e conoscenza per l'imprenditore agricolo di oggi e di domani
M. Vieri, D. Sarri, S. Lombardo, R. Lisci, M. Rimediotti
- 381 La produttività dei forwarder in ambiente appenninico meridionale
A. R. Proto, G. Macri, G. Zimbalatti
- 389 Valutazione di sostenibilità energetica ed ambientale delle filiere agricole, agroalimentari e agroforestali
E. Foppa Pedretti, G. Toscano, D. Duca
- 397 Applicazione della viticoltura di precisione per la realizzazione di mappe tematiche
P. Catania, M. Vallone

Dove va la Meccanica Agraria?

La Meccanica Agraria sta da tempo vivendo un intenso processo di revisione e integrazione dei suoi contenuti e dei relativi domini applicativi. Infatti, sia l'ampliamento delle discipline di studio universitarie, con crescenti necessità di garantire competenze allargate, sia le evoluzioni tecnologiche nel comparto agroalimentare hanno profondamente mutato il quadro di riferimento di questo settore scientifico-disciplinare.

Esso è ormai caratterizzato da un profilo fortemente interdisciplinare, con frequenti interazioni di competenze con settori affini delle scienze agrarie, delle tecnologie alimentari e dell'ingegneria. Trattandosi di una materia principalmente votata a risolvere problemi di trasferimento tecnologico, è oggi inevitabile che tali interazioni riguardino a vari livelli competenze sia di dominio sia metodologiche.

È per tale motivo che oggi gli studiosi della Meccanica Agraria si interrogano sui destini e sulle evoluzioni del proprio settore nei campi della didattica, della ricerca e della terza missione. E le domande che emergono sono molteplici:

- Al di là dell'affezione storica e culturale, è ancora valido il nome "Meccanica Agraria"?
- Come si integrano in essa le competenze elettroniche ed informatiche che ormai universalmente connotano tutte le evoluzioni tecnologiche del settore?
- Quali sono i nuovi domini applicativi di quest'ultimo e quali sono i suoi rapporti di studio con le altre discipline della "Ingegneria Agraria", ormai anch'essa diventata "Ingegneria dei Biosistemi"?
- Quali devono essere i requisiti minimi di conoscenza dei ricercatori di Meccanica Agraria, unitamente ai loro livelli di competenza in discipline trasversali quali l'informatica, la biologia o la gestione dell'impresa?
- Come articolare e diversificare l'insegnamento delle competenze nei tre livelli di studio universitari (triennale, magistrale e dottorato)?

Per la prima volta, gli studiosi del settore si sono riuniti in un convegno per poter discutere in modo organico e aperto su tutti questi interrogativi, cercando di dare risposte concrete sia agli indirizzi universitari di didattica e ricerca, sia – e soprattutto – ai nuovi discenti di una disciplina quanto mai vitale ed attuale.

Fabrizio Mazzetto

Bolzano, 23-24 novembre 2017



Sostenibilità ambientale delle operazioni meccaniche di campo

Marco FIALA¹, Luca NONINI¹, Davide MARVEGGIO¹

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali. Produzione, Territorio, Agroenergia (DiSAA), Università degli Studi di Milano, via G. Celoria, 2, 20133 Milano (Italia).

Sommario

Le operazioni agricole di campo sono fortemente influenzate da condizioni operative sito-specifiche le cui variazioni contribuiscono a modificare gli impatti ambientali associati. La valutazione delle prestazioni ambientali delle operazioni meccaniche di campo può essere effettuata mediante la metodologia dell'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment, LCA*). Uno degli aspetti più importanti e critici che condiziona la qualità dei risultati di uno studio LCA è che molto spesso non è possibile (o comunque è troppo difficoltoso) reperire dati primari o secondari affidabili. Di conseguenza, è necessario adottare approcci innovativi per costruire inventari secondari che siano rappresentativi delle condizioni in esame. Al DiSAA dell'Università degli Studi di Milano è stato elaborato uno strumento di calcolo chiamato ENVIAM (*ENVronmental Inventory of Agricultural Machinery operations*) che consente - sulla base dell'accoppiamento trattore-operatrice - di quantificare: (i) consumi diretti (gasolio e lubrificante), (ii) consumi indiretti e (iii) emissioni in atmosfera e in suolo. Aggregando le diverse operazioni meccaniche eseguite per la coltivazione di una determinata coltura è possibile ottenere consumi e emissioni associate alla meccanizzazione del suo intero ciclo produttivo di campo. I risultati ottenibili mediante ENVIAM sono: (i) inventari locali accurati, (ii) quantificazione degli impatti ambientali (e *hotspots*) associati ai cicli produttivi e (iii) identificazione di soluzioni di mitigazione. Nella nuova versione di ENVIAM (v2) è stata quantificata la massa di gomma di pneumatico abrasa durante lo svolgimento dell'operazione meccanica in studio e la corrispondente massa di metalli pesanti immessa nel suolo. Inoltre, tra gli aspetti innovativi (alcuni dei quali ancora in fase di studio), si ricorda: (i) influenza della pendenza degli appezzamenti e del tenore idrico del terreno, (ii) affinamento del calcolo della dissipazioni di potenza e del consumo specifico di combustibile nei diversi tempi di lavoro e (iii) materiali componenti le macchine. Per migliorare la qualità e la robustezza dei risultati - tenuto conto degli obiettivi particolari del Convegno - è possibile auspicare che il Meccanico Agrario collabori con esperti di settori affini, al fine sia di rendere gli strumenti di calcolo più intuitivi e semplici da utilizzare, sia per ottenere una visione più ampia sugli impatti ambientali dei cicli produttivi, rinnovando la consapevolezza che le proprie conoscenze specifiche - pur essendo basilari - vanno necessariamente integrate per la realizzazione di filiere agro-alimentari sostenibili.

Parole chiave: meccanizzazione agricola; operazioni meccaniche di campo; condizioni operative sito-specifiche; tempi di lavoro; inventario; sostenibilità ambientale; analisi del ciclo di vita

1. Introduzione

Dopo diversi secoli nei quali il settore agricolo è rimasto sostanzialmente immutato, l'acquisizione, nell'Ottocento, di conoscenze nuove in ambito agronomico, chimico e microbiologico, ha favorito la nascita di

una agricoltura nuova orientata alla massimizzazione della produzione. In tale contesto, la meccanizzazione agricola ha ricoperto - anche se inizialmente in modo molto marginale - un ruolo cruciale. Essa, infatti, soprattutto a causa delle condizioni strutturali e produttive nazionali, basate su aziende di piccole dimensioni a conduzione mezzadrile, si è sviluppata solo molti anni più tardi (Pellizzi, 2000).

All'inizio del 1900 in Italia l'agricoltura era basata sul lavoro manuale e sulla trazione animale. Quest'ultima era impiegata per le lavorazioni del terreno, i trasporti e lo svolgimento di alcune operazioni di post-raccolta. Le premesse allo sviluppo della meccanizzazione vi erano, tuttavia, già da tempo. Infatti, seppur in contesti non agricoli, si stavano diffondendo i primi motori a combustione interna in sostituzione dei classici motori a combustione esterna (Pellizzi, 2000).

A partire dagli anni '30 del 1900 si iniziava a fabbricare motori endotermici anche per scopi agricoli. In quegli anni non erano minimamente avvertiti i problemi associati all'ergonomia e alla sicurezza degli operatori, né quelli inerenti il rapporto agricoltura-ambiente. Trent'anni più tardi, l'esodo in aree metropolitane degli addetti agricoli ha imposto l'utilizzo di macchine atte a sopperire la carenza di manodopera. Molto gradualmente sono aumentate le operazioni svolte meccanicamente, determinando la diffusione su larga scala della meccanizzazione agricola (Pellizzi, 2000).

L'obiettivo della meccanizzazione agricola era quello di scegliere - in modo razionale - le macchine agricole a seconda delle condizioni tecnico-operative ed economiche aziendali. Contestualmente, si stava iniziando a studiare come: (i) ottimizzare l'accoppiamento trattore/operatrice, (ii) incrementare e migliorare l'ergonomia e la sicurezza degli operatori e (iii) utilizzare più razionalmente i fattori produttivi, vale a dire "come produrre di più con meno" (Pellizzi, 2000).

Il trattore, originariamente concepito con l'unico obiettivo di erogare forza di trazione, stava allargando progressivamente la sua funzione. L'attenzione si stava spostando dalla macchina alla meccanizzazione agricola, cioè allo studio della singola operazione meccanica di campo (Pellizzi, 2000).

Successivamente, intorno all'inizio degli anni 2000, il concetto di meccanizzazione agricola ha lasciato spazio al più complesso e articolato concetto di meccanizzazione dei cicli produttivi, intendendo con questa espressione l'insieme di tutte le operazioni meccaniche di campo necessarie per la preparazione del terreno, la semina, la gestione, la raccolta e il trasporto della coltura nel luogo adibito alla sua conservazione e alla successiva commercializzazione (Pellizzi, 2000).

Le transizioni da una fase storica all'altra hanno contribuito a evidenziare il complesso rapporto tra agricoltura e ambiente. Allo stesso tempo, lo spostamento dell'attenzione dalla singola macchina alla meccanizzazione dei cicli produttivi ha reso necessario ridefinire il sistema di riferimento e le sue caratteristiche. Nel primo caso, infatti, il sistema studiato è confinato alle prestazioni della macchina: un sistema chiuso, senza flussi di materia ed energia con l'ambiente. Viceversa, nel caso di un'operazione meccanica di campo e - a maggior ragione - di cicli produttivi, il sistema di riferimento è aperto e, in quanto tale, interagisce con l'ambiente, scambiando flussi di energia e materia con i suoi diversi comparti (atmosfera, suolo, acqua).

Al fine di diminuire il divario tra disponibilità di risorse e loro estrazione, trasformazione e utilizzo da parte dell'uomo, è necessaria una transizione verso una produzione agricola più sostenibile attraverso un utilizzo più efficiente dei fattori produttivi e una diminuzione delle emissioni di composti inquinanti.

Le operazioni meccaniche di campo sono fortemente influenzate da condizioni operative sito-specifiche, sia pedologiche (ad esempio: tessitura, contenuto idrico e di nutrienti del terreno, pendenza, forma e dimensioni dell'appezzamento e distanza dal centro aziendale), sia climatiche (temperatura, piovosità ecc.). L'utilizzo della medesima macchina operatrice in condizioni sito-specifiche differenti, così come lo svolgimento della medesima operazione in uguali condizioni sito-specifiche ma con operatrici differenti, condiziona fortemente la prestazione ambientale dell'operazione di campo.

Tale prestazione può essere quantificata utilizzando la metodologia standardizzata dell'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment, LCA*) (ISO 14040). La qualità dei risultati è tuttavia strettamente correlata alla robustezza dei dati di inventario (*Life Cycle Inventory, LCI*) mediante i quali eseguire la valutazione degli impatti ambientali (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*).

La fase di inventario diventa pertanto fondamentale perché rappresenta il momento in cui si identificano (e si quantificano) tutte le informazioni necessarie per studi LCA. Tali dati fanno riferimento sia agli input (a esempio i consumi di gasolio), sia agli output (a esempio le emissioni in atmosfera) che caratterizzano ogni operazione agricola analizzata. La raccolta diretta (cioè effettuata direttamente in campo) di dati di input e output relativi a condizioni operative sito-specifiche è, quindi, una criticità, perché: (i) generalmente risulta dispendiosa, in termini sia economici, sia di tempo e (ii) non è applicabile a condizioni diverse da quella analizzata. Per tale motivo, l'esecuzione di studi LCA rende generalmente necessario il ricorso a dati secondari. Tali dati, reperiti in database commerciali (a esempio *Ecoinvent, Agri-footprint, USA Input Output Database*) non consentono, tuttavia, di modellizzare tutte le macchine agricole e raramente sono rappresentativi delle condizioni operative d'interesse. Di conseguenza, è necessario adottare approcci innovativi per costruire inventari secondari che siano rappresentativi della situazione oggetto di studio.

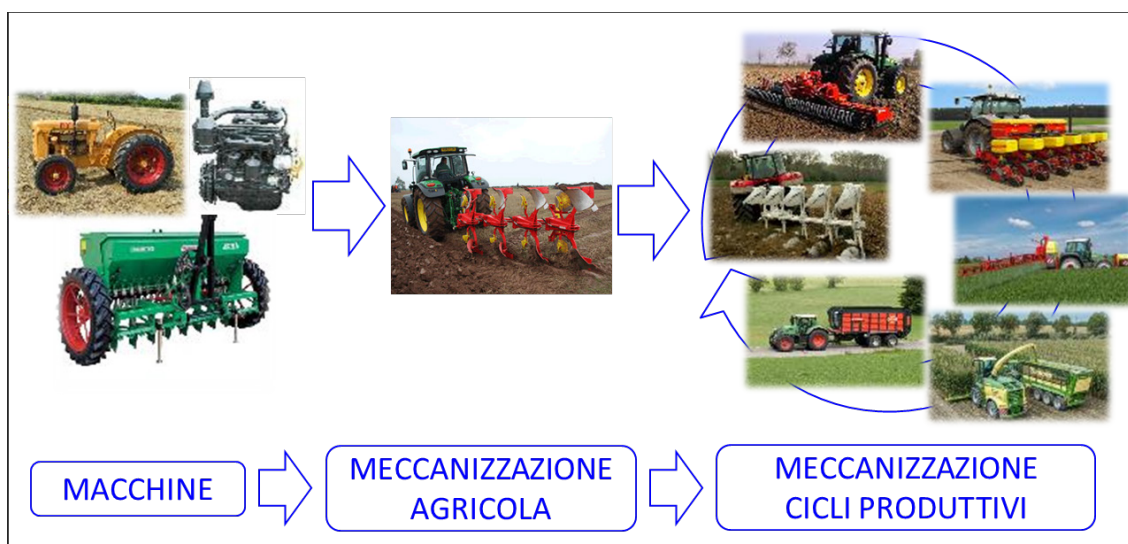


Figura 1 - Evoluzione della Meccanica Agraria: dalle macchine alla meccanizzazione dei cicli produttivi.

2. Materiali e Metodi

L'elevata variabilità sito-specifica e le criticità associate alla raccolta di dati primari possono essere affrontate elaborando: (i) database per la gestione di informazioni complesse relative alle macchine e (ii) nuovi strumenti di calcolo in grado di quantificare dati secondari sito-specifici. Tali dati sono essenziali per costruire inventari accurati alla base di studi di analisi del ciclo di vita affidabili.

Al DiSAA dell'Università degli Studi di Milano è stato messo a punto uno strumento di calcolo denominato ENVIAM (*ENVironmental Inventory of Agricultural Machinery operations*) (Lovarelli et al., 2016), sviluppato in ambiente MS Office Excel 2013.

La struttura base della prima versione di questo modello (ENVIAM v1) prevede l'unione di due database contenenti informazioni relative, rispettivamente, a trattori agricoli (2RM, 4RM e cingolati) e alle principali macchine operatrici utilizzate nel contesto agricolo italiano. I dati riguardanti i trattori sono desunti dai test di

prova ufficiali di certificazione (Codice 2 O.C.S.E.), mentre quelli relativi alle macchine operatrici derivano sia da materiale commerciale, sia da rilievi eseguiti presso aziende agricole. I due database sono, a loro volta, interfacciati con una serie di fogli di lavoro che permettono la selezione di parametri e dati di input indispensabili per effettuare l'accoppiamento - in termini ottimali o reali (accoppiamento già prestabilito) - tra il trattore e l'operatrice.

I dati secondari calcolati mediante ENVIAM risultano di tipo sia tradizionale (riconducibili alla Meccanica Agraria classica), sia innovativo (associati al consumo di risorse e alle interazioni con l'ambiente). I primi fanno riferimento al consumo diretto di: (i) gasolio e (ii) lubrificanti, mentre i secondi a: (i) consumo indiretto (virtuale) di materiali componenti il trattore e la macchina operatrice impiegati nell'operazione meccanica, (ii) emissioni in atmosfera di composti inquinanti prodotti nella combustione del gasolio nel motore (CO_2 , CO, idrocarburi incombusti, NO_x e PM) (Notter et al., 2015) e (iii) emissioni nel suolo di metalli pesanti (Cd, Pb, Zn) derivanti dall'abrasione degli pneumatici (Wernet et al., 2016).

Mediante ENVIAM l'operazione meccanica viene scomposta e analizzata nelle principali fasi che la caratterizzano, a ognuna delle quali corrisponde uno specifico tempo di lavoro t_j (Comité International d'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture, CIOSTA; Reboul C., 1964). Per ognuno di questi tempi, in base alla potenza del trattore accoppiato alla macchina e al carico motore, si calcolano i consumi diretti di gasolio e lubrificanti, nonché le emissioni in atmosfera.

I consumi indiretti di materiali componenti il trattore e l'operatrice e le emissioni in suolo sono, invece, quantificati tenendo conto della loro durata fisica e del tempo totale (Σt_j) necessario per l'esecuzione dell'operazione.

Aggregando le varie operazioni meccaniche attuate nella coltivazione di una determinata coltura è possibile ottenere consumi e emissioni associate alla meccanizzazione del suo intero ciclo produttivo di campo.

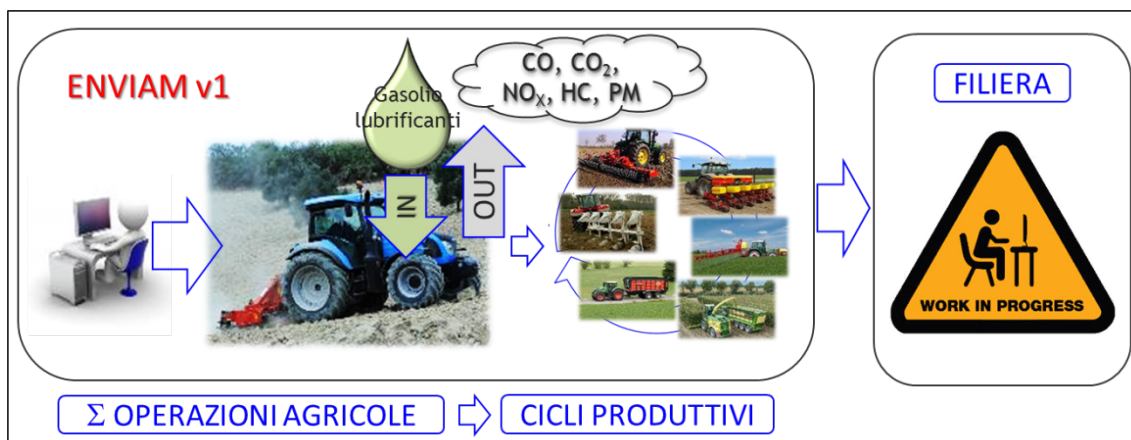


Figura 2 - Schema del funzionamento di ENVIAM v1.

3. Risultati

In termini generali, ENVIAM consente di quantificare i dati secondari relativi a consumi ed emissioni connessi a operazioni meccaniche di campo eseguite in determinate condizioni operative. Con maggior dettaglio, ENVIAM consente di:

1. costruire inventari locali accurati: nel (frequente) caso in cui non si dispone di dati primari relativi a una particolare operazione di campo, ENVIAM permette di: (i) scegliere - tra un set di trattori e macchine operatrici - l'accoppiamento che meglio simuli le condizioni di lavoro adottate e conseguentemente, (ii) ottenere un inventario secondario robusto contenente informazioni complesse (consumi ed emissioni);
2. quantificare gli impatti ambientali (e *hotspots*) associati ai cicli produttivi: utilizzando tali dati secondari in output da ENVIAM si possono effettuare valutazioni del ciclo di vita riguardanti la singola operazione meccanica ovvero la sequenza di operazioni che costituiscono un ciclo produttivo. Ciò permette, applicando opportuni metodi di caratterizzazione (Goedkoop et al., 2009), di individuare le fasi (o le operazioni) alle quali sono associati i maggiori impatti sull'ambiente (*hotspots*). Nel contesto della Meccanica Agraria applicata alla realtà aziendale si raggiunge così un obiettivo del tutto nuovo: quello di mettere sotto controllo - oltre agli aspetti tecnico-economici - i costi ambientali. Peraltro, il ricorso a strumenti di calcolo come ENVIAM in un contesto più ampio, può fornire utili informazioni anche su scala extra-aziendale (territoriale o distrettuale), permettendo la rappresentazione degli impatti associati a una intera realtà produttiva;
3. individuare soluzioni di mitigazione: identificati gli *hotspots* ambientali e i meccanismi da cui essi sono generati, lo strumento di calcolo può suggerire strategie di mitigazione degli impatti, cercando di evitare fenomeni di *trade-off* tra i diversi comparti ambientali (a esempio eutrofizzazione delle acque e riscaldamento globale). L'identificazione di scenari di mitigazione significa retro-agire sul sistema ipotizzando, da un lato, l'impiego di macchine diverse che realizzino il medesimo obiettivo e, dall'altro, la ridefinizione della sequenza operativa di campo. Difatti, nel primo caso, a macchine differenti progettate per eseguire la stessa operazione potrebbero associarsi tempi di lavoro, consumi ed emissioni differenti. Nel secondo caso, il raggiungimento del medesimo obiettivo agro-tecnico attraverso una diversa sequenza di operazioni potrebbe permettere di identificare strategie di intervento (a livello aziendale o territoriale) a minore impatto ambientale (Lovarelli et al., 2017).

Nella successiva fase di sviluppo dello strumento di calcolo (ENVIAM v2) è stata introdotta la valutazione della massa di pneumatico abrasa durante l'operazione meccanica e la corrispondente massa di metalli pesanti (Cd, Pb, Zn) emessa in suolo a seguito dell'abrasione (Wernet et al., 2016). In aggiunta, diversi altri aspetti sono in fase di validazione, migliorando ulteriormente la flessibilità e l'accuratezza dello strumento di calcolo. Fra questi:

1. la pendenza del terreno, che influenza consumi ed emissioni; tale aspetto risulta indispensabile nel caso si vogliano analizzare operazioni attuate su terreni declivi (a esempio operazioni forestali). Un altro aspetto da considerare è il ruolo giocato - a parità di tessitura - dal contenuto idrico del terreno nella determinazione delle resistenze specifiche esterne (lavorazione, avanzamento ecc.);
2. affinare i parametri che conducono al calcolo della potenza motore dissipata, con particolare riferimento a quella per la trasmissione alle ruote motrici, tenuto conto delle soluzioni (trasmissioni idrauliche e miste) via via più diffuse sui trattori anche di bassa-media potenza;
3. migliorare l'accuratezza di calcolo del consumo specifico di combustibile (e quindi delle emissioni dovute ai fumi di scarico) nei diversi tempi di lavoro (t_i);
4. materiali componenti le macchine: accanto alle informazioni tecnico-operative convenzionali relative a trattori e operatrici (facilmente derivabili da documentazione commerciale o da test di prova), diventa opportuna la ricerca di dati (quali, a esempio, consumi di energia e di materie prime) relativi sia ai processi di produzione, sia agli interventi di manutenzione/riparazione eseguiti durante la vita utile della macchina.

4. Discussione e conclusioni

Lo sviluppo di strumenti di calcolo per l'elaborazione di inventari alla base di analisi del ciclo di vita, risulta essere una strada interessante e percorribile nell'ottica di valutare, nel dettaglio, alcune interazioni tra le operazioni meccaniche e l'ambiente. Va considerato, tuttavia, che la messa a punto di strumenti come quello brevemente descritto in precedenza, permette di monitorare solo alcuni tra tutti i flussi ambientali attivi nel ciclo produttivo di una coltura.

In tal senso, il valore di questi strumenti verrebbe notevolmente incrementato dalla condivisione delle conoscenze tra Meccanici Agrari ed esperti di altri settori (chimici del terreno, climatologi, agronomi), in grado di inserire e valutare nei computi ambientali aspetti specifici che rientrano nella caratterizzazione di sistemi complessi quali quelli che governano le produzioni agricole.

Bibliografia

Alekseelva T.V., Artem'ev K.A., Bromberg A.A., Voitsekhovskii R.I., Ul'yanov N.A. (1985). *Highway machines Part 1. Machines for Earthmoving work. Theory and calculation*. New Delhi: Amerind Publishing Co.

Al-Suhaibani S.A., & Al-Janobi A. (1997). Draught requirement in tillage implements operating on sandy loam soil. *Journal of Agricultural Engineering Resource*, 66(3), 177-182.

Fiala, M. (2001). *Esercizi di Meccanica Agraria*. Milano: CUSL.

Godwin R.J., O'Dogherty M.J., Saunders C., Balafoutis A.T. (2007). A force prediction model for moldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. *Biosystem Engineering*, 97(1), 117-129.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R. (2009). *A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level Characterisation*.

ISO 14040:2206 (2006). *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*.

Lovarelli, D., & Bacenetti, J. (2017). Seedbed preparation for arable crops: Environmental impact of alternative mechanical solutions. *Soil and Tillage Research*, 174, 156-168.

Lovarelli D., Bacenetti J., Fiala M. (2017). Effect of local conditions and machinery characteristics on the environmental impacts of primary soil tillage. *Journal of Cleaner Production*, 140, 479-491.

Lovarelli D., Bacenetti J., Fiala M. (2016). A new tool for life cycle inventories of agricultural machinery operations. *Journal of Agricultural Engineering*, 47(1), 40-53.

Nemecek T., & Kägi T. (2007). *Life cycle inventories of agricultural production systems. Data v2.0. Ecoinvent Report No. 15*. Zurich and Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Notter, B., & Schmied, M. (2015). *Non-road energy consumption and pollutant emissions. Study for the period from 1980 to 2050*. Bern: Federal Office for the Environment FOEN.

Pellizzi, G. (2000). *Lo sviluppo tecnologico e la meccanizzazione, Rapporto di fine Secolo*. Soc. Italiana Agricoltori.

Pellizzi, G. (1996). *Meccanica e Meccanizzazione Agricola*. Bologna: Edagricole.

Reboul C. (1964). Temps des travaux et jours disponibles en agriculture. *Économie rurale* (61), 50-80.

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1218-1230.