

# LA MECCANICA AGRARIA OGGI

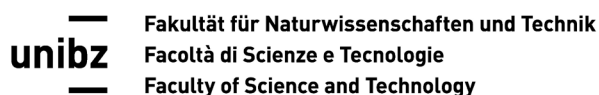
**UN CONFRONTO APERTO SU CONCETTI  
IDEE E ASPETTATIVE DI UNA DISCIPLINA IN CONTINUA EVOLUZIONE**

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](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](http://www.cleup.it)  
[www.facebook.com/cleup](https://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



---

## Riduzione dell'impatto ambientale dei motori agricoli grazie ad un cambio di alimentazione

Marco BIETRESATO<sup>1</sup>, Fabrizio MAZZETTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie, piazza Università 5, I-39100 Bolzano.

---

### Sommario

La *Meccanica Agraria*, da sempre materia multidisciplinare, si caratterizza per l'individuazione di una serie di soluzioni tecniche innovative a problematiche tipiche dell'agricoltura meccanizzata e dei mezzi tecnici che concretamente la implementano. In un contesto classico fortemente caratterizzato e di appannaggio agrario, come quello dei motori che equipaggiano i mezzi agricoli, in cui l'aspetto ambientale e normativo-omologativo è però pregnante, la Meccanica Agraria ha permesso di delineare una soluzione alternativa a quelle proposte finora dai costruttori per limitare le emissioni di inquinanti nell'ambiente.

Il lavoro qui presentato nasce infatti dall'intuizione di adottare un approccio completamente diverso per ridurre gli inquinanti dei motori endotermici: cambiare il combustibile utilizzato piuttosto che complicare ulteriormente l'architettura del motore, utilizzando prodotti di derivazione agricola. Negli ultimi anni, i motori diesel hanno infatti subito un'evoluzione tecnica notevole per quanto riguarda i dispositivi antinquinamento, dettata dalla necessità di adempiere le normative entrate nel frattempo in vigore. Per i trattori agricoli ciò si è tuttavia tradotto nell'introduzione di una serie di dispositivi certamente efficaci ma anche costosi; inoltre, essi necessitano anche di manutenzione e occupano abbastanza spazio sotto il cofano, già molto affollato.

L'indagine sperimentale preliminare che qui si illustra era finalizzata a valutare la opportunità del cambio di alimentazione nei motori, in termini di prestazioni motoristiche e ambientali. Si è fatto uso di un motore endotermico commerciale, comunque rappresentativo dei motori diesel utilizzati in agricoltura, e di un'attrezzatura completa per testare i motori su banco (freno dinamometrico, misuratore di consumi, analizzatore di gas). Il motore è stato prima alimentato con gasolio convenzionale e successivamente con biodiesel proveniente da residui agricoli, senza alcun tipo di modifica o regolazione del motore.

È stata osservata una lieve diminuzione delle prestazioni motoristiche (coppia), sostanzialmente non percepibile per l'utilizzatore, mentre il calo degli NOx nei gas di scarico è stato significativo e molto incoraggiante. Grazie all'esperienza così maturata, si sta proseguendo la sperimentazione su scala reale (test su trattori) e con nuove dimensioni sperimentali (composti binari e ternari).

*Parole chiave:* motori agricoli; inquinanti dei gas di scarico; biodiesel; biocombustibili; miscele di combustibili.

## 1. Introduzione

Negli ultimi vent'anni circa i costruttori di macchine agricole (in particolare di trattori) si sono trovati nella condizione di dover continuare a sviluppare sistemi tecnici sempre nuovi finalizzati a rispettare i limiti di emissione via via più severi prescritti nelle norme TIER ed EURO per il motore. L'attenzione del legislatore si è concentrata in particolare su alcune specie chimiche di particolare interesse ambientale, tra le quali: il *monossido di carbonio* (CO), gli *idrocarburi incombusti* (HC), gli *ossidi di azoto* (NOx) e il *particolato* (PM). La scelta comune a tutti i costruttori è stata finora quella di utilizzare innanzitutto delle soluzioni inizialmente pensate per i veicoli stradali (ad esempio: il Common Rail, l'Exhaust Gas Recirculation - EGR), adattandole opportunamente alle diverse condizioni di impiego delle macchine destinate all'agricoltura, e successivamente di sviluppare altre tecnologie, questa volta espressamente pensate per il settore agricolo. Se le prime soluzioni hanno avuto tutte, come denominatore comune, una modifica più o meno sostanziale del motore o di alcuni suoi sottosistemi, ad es. di alimentazione/iniezione (*approccio risolutivo "endogeno"*), successivamente ci sono stati invece notevoli sforzi per sviluppare dei sistemi diversi dal motore e che non ne penalizzassero troppo le prestazioni, adottando un radicale cambio di prospettiva (*approccio risolutivo "esogeno"*).

In quest'ultimo tipo di soluzioni si possono inquadrare i sistemi di post-trattamento dei gas di scarico a base di urea (quindi, a valle del motore), precipuamente finalizzati all'abbattimento degli NOx: una soluzione di urea al 32.5% (denominata commercialmente "*AdBlue*") viene iniettata nel tubo di scarico immediatamente prima di un catalizzatore SCR (*Selective Catalytic Reduction*), in quantità controllate da una centralina elettronica dedicata.

Un'altra possibilità che non diminuisce sensibilmente le prestazioni del motore è invece rappresentata da una modifica chimica del combustibile di alimentazione, ad es. utilizzando composti avanzati aventi una maggiore compatibilità ambientale. Due articoli di revisione (Pullen & Saeed, 2014a, 2014b) sugli effetti dei combustibili biodiesel sulle prestazioni e sulle emissioni del motore ad accensione spontanea per compressione riportano i seguenti risultati: (i) aumento dei consumi proporzionale alla diminuzione del potere calorifico del combustibile; (ii) riduzione consistente del PM; (iii) perdita di potenza minima o sostanzialmente assente, tranne quando è richiesta la massima potenza. L'efficienza termica misurata al freno dinamometrico (*brake thermal efficiency*) non è influenzata significativamente dal biodiesel, ma può subire lievi aumenti o riduzioni a seconda del carico del motore, della tipologia di biodiesel e della miscela utilizzata (Mani, Nagarajan, & Sampath, 2011): eventuali miglioramenti nell'efficienza riscontrati sono principalmente dovuti ai benefici effetti di riduzione degli attriti (Korakianitis, Namasivayam, & Crookes, 2011). Infine, tutti gli autori concordano sul fatto che le emissioni di CO, HC e PM tendono a ridursi con l'utilizzo di biodiesel (Shahir, Jawahar, & Suresh, 2015).

In questo lavoro si sono studiate le *prestazioni* (coppia, consumo di combustibile) e le *emissioni* (in particolare gli NOx) di un motore a combustione interna ad accensione spontanea di piccola taglia (da 4 kW) per uso agricolo alimentato a biodiesel con l'obiettivo di valutare:

- la riduzione della formazione degli inquinanti e la eventuale contemporanea influenza sulle prestazioni espresse dal motore;
- l'opportunità di proseguire con successive ricerche volte a individuare eventuali miscele (binarie, ternarie), la cui composizione è stimabile in primo tentativo a partire dai dati qui presentati, col fine ulteriore di contenere le emissioni inquinanti possibilmente senza penalizzare in alcun modo le prestazioni motoristiche.



## 2. Materiali e Metodi

Il banco-prova motori usato nella sperimentazione ("*Braker Engine 100/E*" della Soft-Engine S.r.l., Falconara Marittima, Ancona, Italia; Figura 1) consente di campionare i dati ed eventualmente elaborarli secondo le norme internazionali desiderate, come EC, SAE o DIN. Tale banco di prova è stato inoltre integrato da una cella di carico posta sotto il serbatoio del combustibile, utile a misurare i consumi orari di combustibile del motore (secondo un principio "*crono-gravimetrico*": diminuzione della massa nel tempo). Inoltre, si è utilizzato uno specifico condotto di scarico progettato per alloggiare alcune sonde utili alla misurazione real-time di alcune grandezze di interesse dei gas di scarico (sonda lambda a banda larga "*LSU 4.9*", termocoppia). Durante le prove si sono utilizzate anche: alcune termocoppie per monitorare le temperature dei principali componenti e dei liquidi del motore, un analizzatore di gas di scarico "*Vario plus Industrial*" della MRU Instruments (Houston, TX, USA), funzionante in base a due diversi principi di misurazione (Tabella 1).

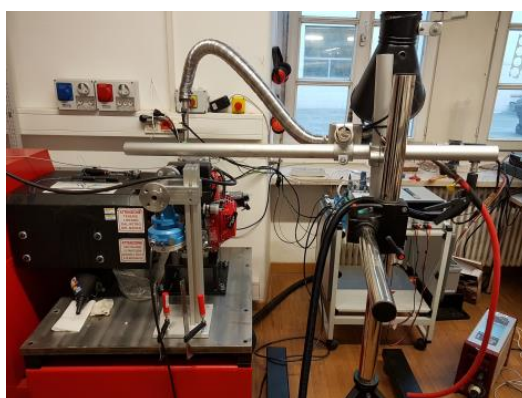


Figura 1 – Apparato di test per prove su motori su banco fisso; in primo piano il sistema di misurazione dei gas di scarico.

Tabella 1 – Intervalli di misurazione dell'analizzatore di gas "*Vario plus Industrial*".

Specie chimica	Intervalli di misura	Principio di misura	Accuratezza
NO <sub>x</sub>	0-5000 ppm	Elettrochimico	± 5 ppm
UHC	0-5% come CH <sub>4</sub>	Ottico	± 0.03%
CO (H <sub>2</sub> compensato)	0-10 000 ppm	Elettrochimico	± 10 ppm
CO ad alti livelli	0-10%	Ottico	± 0.02%

Il motore Lombardini "*15LD225*" utilizzato per i test è un motore endotermico a quattro tempi ad accensione spontanea (vale a dire, a ciclo diesel) raffreddato ad aria e con alberi a camme in testa (Tabella 2). Trattasi di un motore "*general-purpose*" ampiamente utilizzato, progettato per essere utilizzato in molte applicazioni all'interno e all'esterno, che vanno dai generatori elettrici trasportabili alle attrezzature agricole, ad es. azionamento di pompe per irrigazione, motozappe, cippatrici. In particolare, il motore utilizzato per questo studio è strutturalmente molto semplice ed è rappresentativo dei motori che vengono adottati nel comparto agricolo.

Tabella 2 – Principali caratteristiche e parametri prestazionali del motore Lombardini 15LD225.

Caratteristica tecnica	Unità	Valore/specifica
Costruttore e modello del motore	-	Lombardini, 15LD225
Cilindri	-	1
Sistema di raffreddamento	-	Ad aria forzata
Liquido di raffreddamento	ℓ min <sup>-1</sup>	Non richiesto
Soluzione costruttiva per l'iniezione di combustibile	-	Sistema di pompaggio in linea
Potenza massima, regime di potenza massima	kW (HP), min <sup>-1</sup>	3.5 (4.8), 3 600
Coppia massima, regime di coppia massima	N·m, min <sup>-1</sup>	10.4, 2 400
Alesaggio, corsa	mm, mm	69, 60
Cilindrata unitaria	cm <sup>3</sup>	224
Consumi specifici minimi, regime di consumo specifico minimo	g (kW h) <sup>-1</sup> , min <sup>-1</sup>	240, 2 900
Rapporto volumetrico di compressione	-	21:1

Tutti i test sono stati eseguiti in condizioni di piena ammissione e con il motore alimentato con gasolio oppure con un biodiesel derivato da residui agricoli, un metilestere di colza (*Rapeseed Methyl Ester* - RME, Tabella 3). In ogni prova, il freno dinamometrico utilizzato (a correnti parassite) ha applicato progressivamente una coppia frenante di modo che, partendo dal regime massimo di rotazione del motore, corrispondente al motore completamente libero di ruotare (cioè senza alcun carico applicato), è stato possibile indagarne tutto il range operativo.

Tabella 3 – Principali caratteristiche chimiche del biodiesel usato.

Property	Unit	Value	Test method
Ester content	% m/m	98,6	EN 14103
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	873,9	EN ISO 3675
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	4,1-4,7*	EN ISO 3104
Flash point	°C	>160*	EN ISO 3679
Sulfur content	mg/kg	<10	EN ISO 20846
Carbon residue (on 10% distillation residue)	% m/m	0,1*	EN ISO 10370
Cetane number		>51*	EN ISO 5165
Sulfated ash content	% m/m	<0,01	ISO 3987
Water content	mg/kg	120	EN ISO 12937
Total contamination	mg/kg	<12	EN 12662
Copper strip corrosion (3h at 50°C)	Rating	Class 1*	EN ISO 2160
Oxidation stability, 110°C	hours	>8	EN 14112
Acid value	mg/KOH/g	0,29	EN 14104
Iodine number	gI <sub>2</sub> /100g	55	EN 14111
Linolenic acid methyl ester	% m/m	1,2	EN 14103
Methanol content	% m/m	<0,05	EN 14110
Monoglyceride content	% m/m	<0,30	EN 14105
Diglyceride content	% m/m	<0,20	EN 14105
Triglyceride content	% m/m	<0,20	EN 14105
Free glycerol	% m/m	<0,02	EN 14105
Total glycerol	% m/m	<0,25	EN 14105
Group I metals (Na + K)	mg/kg	<4	EN 14108 (Na) EN 14109 (K)
Group II metals (Ca+Mg)	mg/kg	<4	EN 14538

### 3. Risultati

Dalle prove effettuate è risultato che la quantità di RME iniettata è stata superiore dell'8-10% rispetto alla quantità di gasolio alle corrispondenti velocità di rotazione (Figura 2 a sinistra). Il maggiore consumo di biodiesel ne ha compensato il minor potere calorifico inferiore e ha permesso di raggiungere gli stessi valori della coppia registrati col gasolio, alterando minimamente la curva di coppia nei due casi indagati (Figura 2 al centro).

Si sono inoltre rilevate delle concentrazioni di NOx sensibilmente minori quando il motore è alimentato con il RME piuttosto che con il gasolio (Figura 2 a destra), indice di una minore temperatura di combustione raggiunta con il biodiesel, che quindi ha parzialmente impedito il meccanismo (termico) di formazione degli NOx. Anche se la differenza delle emissioni si riduce all'aumento della velocità di rotazione, la riduzione percentuale è comunque significativa, essendo pari al 30% circa a 2 000 giri al minuto e al 9% a 3 000 giri al minuto.

I promettenti risultati ottenuti hanno, quindi, invogliato gli sperimentatori a proseguire sulla strada così delineata, estendendone però gli orizzonti. Si è innanzitutto pensato di passare ad una sperimentazione su trattori a scala reale (Figura 3), per verificare come le diverse architetture/modelli/anzianità di servizio possano avere un'influenza sui risultati finora trovati. Inoltre, considerando il maggiore costo del biodiesel (e la sua attuale difficoltà di reperimento), si è pensato di utilizzarlo in miscelazione con il gasolio (*miscele binarie*), con l'obiettivo di appurare se i benefici effetti che sono stati osservati in questa sperimentazione preliminare possano essere conseguiti anche a percentuali minori. Infine, è stata fatta una riflessione anche sui maggiori consumi riscontrati sia in letteratura, sia in questa sperimentazione: per contenerne i valori si è pensato di predisporre delle miscele a tre componenti (*ternarie*) che facessero uso di un altro biocombustibile di derivazione agricola: il bioetanolo. Di esso, infatti, è nota l'alta volatilità cui si associa una altrettanto elevata capacità refrigerante della miscela, utile ad ottenere una sorta di effetto sovralimentativo di natura chimico-fisica. Le ultime considerazioni degli sperimentatori sono state, inoltre, rivolte anche al sistema di preparazione della miscela. Sono state delineate due soluzioni principali che verranno indagate nel futuro: *a*) preparazione sincrona (in tempo reale) e a bordo della macchina, tramite miscelatore (a rapporti di miscelazione fissi oppure variabili, vale a dire auto adattativi alle condizioni di carico motore); *b*) preparazione asincrona e nel centro aziendale (a rapporti di miscelazione fissi).

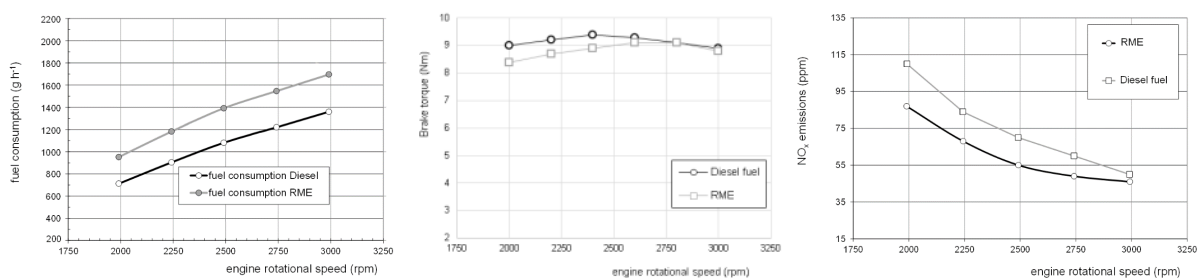


Figura 2 – Consumi orari di combustibile (a sinistra), curva di coppia (al centro), emissioni di NOx (a destra) del motore testato, alimentato rispettivamente con gasolio convenzionale e con biodiesel.



Figura 3 – Prova di differenti miscele di combustibili su trattori agricoli (freno dinamometrico a sinistra, misuratore di consumi a destra davanti al trattore, saggiaatore di gas di scarico dietro al trattore, datalogger e sistema di controllo in primo piano).

#### 4. Discussione e conclusioni

Questo lavoro mostra un approccio alternativo di possibile adozione per soddisfare i limiti imposti dalle norme internazionali sulle emissioni di scarico: si propone, infatti, un cambiamento del combustibile utilizzato nei motori, piuttosto che complicare ulteriormente l'architettura dei motori andando ad installare altri dispositivi anti-inquinamento, generalmente aventi un costo non indifferente. Nell'esempio qui proposto, un motore commerciale ad accensione spontanea, di una taglia comune per il settore agricolo, è stato analizzato presso un banco di prova mentre veniva alimentato con biodiesel puro. Anche se i consumi orari sono aumentati, a causa del minore potere calorifico del biodiesel, le prestazioni sono risultate essere simili a quelle che si registrano con il gasolio, ma soprattutto le emissioni di NO<sub>x</sub> sono risultate significativamente inferiori, registrando le maggiori diminuzioni ai bassi regimi del motore. Questo risultato ha incoraggiato ulteriori esperimenti a tal proposito, con l'utilizzo di miscele di gasolio e biodiesel in percentuali diverse (*composti binari*), ma anche con l'ulteriore aggiunta di bioetanolo (*composti ternari*) e su veicoli agricoli in scala reale (trattori con diversa anzianità di servizio).

Lo svolgimento della sperimentazione ha richiesto alcune competenze provenienti dall'Ingegneria Meccanica (riguardanti principalmente i motori), assolutamente integrate con quelle della Meccanica Agraria classica (Figura 4). Al tal proposito, infatti, partendo da un'analisi dei *requisiti* (prestazionali, ecologici-ambientali) che una macchina agricola deve possedere e avendo, quindi, delineato le *necessità* dell'utente (un livello richiesto di coppia, consumi, affidabilità) e/o del costruttore (rispetto della normativa sulle emissioni), si è individuata una *soluzione* (Figura 5) che tenesse in debita considerazione:

- la necessità e la contemporanea difficoltà di ammodernamento del settore a costi contenuti, dettati dalla mentalità, dalla scolarità media e dalla liquidità di cassa degli utenti delle macchine;
- la semplicità applicativa, anche in un'ottica di retrofitting, intesa come assenza o limitazione estrema degli interventi di adattamento dei motori esistenti, e come mantenimento del livello di affidabilità dei sistemi meccanici coinvolti (sistema di alimentazione, blocco motore, sistema di scarico);
- la disponibilità/reperibilità, la sicurezza d'uso e di immagazzinamento dei biocombustibili, in un'ottica di filiera integrata e autonomia energetica del settore primario.

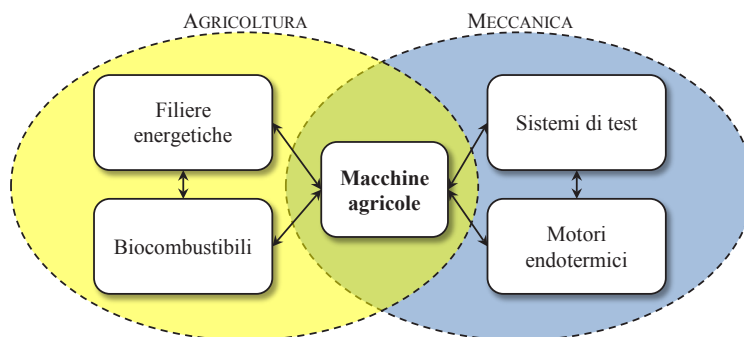


Figura 4 – La convergenza di competenze provenienti dall'Agricoltura e dalla Meccanica tipica di chi opera nella Meccanica Agraria.

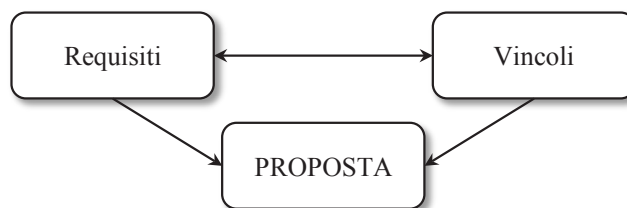


Figura 5 – Generazione della proposta sperimentale qui illustrata.

L'approccio del Meccanico Agrario è peculiare in quanto *olistico* (sistema "motore", sistema "trattore", sistema "macchina motrice inserita in un contesto aziendale agricolo"), focalizzato alla quantificazione della bontà della soluzione proposta attraverso la valutazione di un livello prestazionale globale (motoristico, ambientale). Come in ogni approccio sistemico, l'indagine non è mai rivolta solamente all'interno del sistema in osservazione; piuttosto si focalizza sulle sue interfacce verso altri sistemi, poiché è lì che si evidenziano i cambiamenti e quindi il possibile valore aggiunto della soluzione. Nel caso in esame, le interfacce verso gli utenti, gli attrezzi agricoli, l'ambiente erano l'albero motore, la presa di potenza del trattore e il tubo di scarico. L'interazione intersistemica permette di effettuare i classici bilanci di energia e di materia e, quindi, permette di valutare gli impatti delle soluzioni proposte in termini di mantenimento, potenziamento/depotenziamento degli apporti energetici o dei flussi di materia da/verso l'esterno. L'attenzione è tipicamente concentrata su sistemi macroscopici e scende a livello di particolare costruttivo solo all'occorrenza, principalmente per la risoluzione di problematiche contingenti specifiche (es. posizionamento di sensori del motore, indagine di particolari comportamenti riscontrati durante i test), secondo una logica *top-down*. È giusto notare, però, che l'approccio *bottom-up*, tipico delle fasi di sintesi progettuale e opposto rispetto a quello sopra descritto, sebbene non comune e assente nella presente sperimentazione, non è del tutto escluso nella Meccanica Agraria. Ad esempio, nel caso dell'utilizzo di miscele di gasolio e biodiesel in un'azienda agricola, gli Autori si sono infatti posti la domanda dell'istante, del luogo e del sistema nel quale preparare le miscele, delineando alcune soluzioni.

Lo studio qui proposto, similmente ad altri studi inquadrabili nella Meccanica Agraria, ha un taglio pratico-applicativo, con l'obiettivo di una veloce condivisione dei risultati con gli utenti, i costruttori e gli enti normatori, finalizzata ad una reale ed immediata applicabilità dell'idea.

La visione integrata della Meccanica Agraria classica e le competenze di chi la pratica sono state sicuramente determinanti per l'ideazione e lo sviluppo dell'intero progetto, e si rivelano fondamentali per il coordinamento e il dialogo a più livelli tra figure diverse, sia accademiche (colleghi di altre discipline), sia non accademiche (utenti, siano essi contoterzisti/agricoltori, costruttori, legislatori). Da lavori come questo emerge, quindi, la figura di un Meccanico Agrario che sicuramente è uno *sperimentatore*, un *innovatore nell'ambito della Meccanica applicata all'Agricoltura*, ma che è anche un *coordinatore-guida-supervisore* del progetto che sta seguendo, forte

soprattutto dell'essere un *trait d'union* tra discipline differenti delle quali rappresenta la *sintesi*. A lui si richiede, quindi, una certa *interdisciplinarietà*, derivante da una solida formazione tecnica integrata in maniera sinergica con una profonda conoscenza delle problematiche agricole a tutti i livelli (di pianta/macchina, di campo/azienda, di filiera, di comparto).

## Bibliografia

- Korakianitis, T., Namasivayam, A. M. & Crookes, R. J. (2011). Diesel and rapeseed methylester (RME) pilot fuels for hydrogen and natural gas dual-fuel combustion in compression-ignition engines. *Fuel*, 90(7), 2384–2395. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.005>
- Mani, M., Nagarajan, G. & Sampath, S. (2011). Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Energy*, 36(1), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.049>
- Pullen, J. & Saeed, K. (2014). Factors affecting biodiesel engine performance and exhaust emissions – Part I: Review. *Energy*, 72, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.015>
- Pullen, J. & Saeed, K. (2014). Factors affecting biodiesel engine performance and exhaust emissions – Part II: Experimental study. *Energy*, 72, 17–34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.034>
- Shahir, V. K., Jawahar, C. P. & Suresh, P. R. (2015). Comparative study of diesel and biodiesel on CI engine with emphasis to emissions—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 686–697. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.042>