



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E AMBIENTALI

**SCUOLA DI DOTTORATO "AGRICOLTURA, AMBIENTE E
BIOENERGIA"**

XXIX Ciclo

Tesi di Dottorato di Ricerca

**L'EFFICIENZA ENERGETICA DEI
TRATTORI DA VIGNETO E FRUTTETO**

Dottorando

Dott. Davide Maria GIORDANO

Tutor

Prof. Domenico PESSINA

Coordinatore della Scuola di Dottorato

Prof. Daniele BASSI

Anno Accademico 2016/2017

*"Coloro che ci hanno lasciati non sono degli assenti,
sono solo degli invisibili: tengono i loro occhi pieni
di gloria puntati nei nostri pieni di lacrime".
(Sant'Agostino)*

A papà

Sommario

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	8
INTRODUZIONE	11
LA STORIA DEL TRATTORE	11
LA CLASSIFICAZIONE DEI TRATTORI	14
I TRATTORI SPECIALIZZATI (A CARREGGIATA STRETTA)	17
<i>L'architettura: differenze rispetto ai modelli convenzionali</i>	19
<i>Le tipologie</i>	21
CARATTERISTICHE OPERATIVE E PRESTAZIONI DEI TRATTORI SPECIALIZZATI	23
<i>Condizioni operative e principali requisiti prestazionali</i>	23
<i>Bilancio dinamico (potenza disponibile alle m.o.)</i>	25
METODOLOGIE DI PROVA DEI TRATTORI	29
<i>I codici OCSE</i>	29
Il codice OCSE 2 (OECD standard Code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance).....	31
Punti di forza e di debolezza del Codice OCSE 2.....	32
<i>Metodi non standardizzati di accertamento delle prestazioni dei trattori agricoli</i>	33
DLG Powermix – Germania: protocollo di prova, elaborazione dei dati e pubblicazione dei risultati.....	33
Punti di forza e di debolezza del DLG Powermix	36
EFFICIENZA ENERGETICA DEI TRATTORI AGRICOLI	37
<i>Metodi di determinazione dell'efficienza energetica</i>	38
<i>Impatto ambientale (emissioni gassose inquinanti)</i>	39
<i>Impatto gestionale-economico</i>	40
<i>Metodi già in uso per l'accertamento dell'efficienza energetica</i>	41
SCOPO DEL LAVORO	44
MATERIALI E METODI	46
LA DEFINIZIONE DEI CICLI DI LAVORO TEORICI.....	46
STRUMENTAZIONE PER IL RILIEVO DELLE PRESTAZIONI IN CAMPO	47
PROVE DI LABORATORIO	48
ADOZIONE DI DATI DA REPORT OCSE 2	48
RISULTATI E DISCUSSIONE	50
I CICLI DI PROVA	50
<i>Rilievi dei cicli reali</i>	50

<i>Costruzione dei cicli teorici</i>	53
L'UTILIZZO DEI RISULTATI DEI CODICI 2	55
<i>Modalità di calcolo delle prestazioni energetiche</i>	59
<i>Definizione delle classi energetiche e classificazione dei modelli esaminati</i>	64
CONCLUSIONI	66
IL FUTURO.....	67
BIBLIOGRAFIA	69

Riassunto

Il trattore agricolo è una macchina complessa, progettata per fornire potenza ad un numero consistente di attrezzi diversi sotto forma meccanica, idraulica e modernamente anche pneumatica ed elettrica. Il tutto viene fornito all'operatore per il tramite di un motore endotermico (tipicamente a ciclo Diesel), che sfrutta l'energia chimica contenuta nel combustibile, trasformandola in lavoro meccanico.

Il continuo aumento del costo del gasolio, unitamente ad una maggiore attenzione ai problemi ambientali, hanno aumentato notevolmente l'attenzione degli agricoltori ai consumi. Proprio per questo, negli ultimi anni molte organizzazioni nazionali ed internazionali hanno cercato di definire dei metodi per calcolare un indice di efficienza energetica (EEI) anche per i trattori, similmente a quanto già fatto, ad esempio, per le automobili o per diverse tipologie di elettrodomestici.

In particolare, l'efficienza energetica di un qualsiasi sistema rappresenta la capacità di sfruttare l'energia ad esso fornito per soddisfarne i fabbisogni. Minori sono i consumi relativi al soddisfacimento di questo fabbisogno, e migliore risulta l'efficienza energetica del sistema.

Nel settore della meccanizzazione agricola, diverse nazioni (Spagna, Corea, Turchia) hanno introdotto dei programmi per la definizione di questo indice, basandosi su dati già disponibili, come quelli delle prove del Codice 2 OCSE o delle prove di omologazione del motore endotermico. La DLG (una associazione di agricoltori tedeschi), invece, ha messo in opera un sistema diverso, basato su prove in pista che cercano di simulare dei cicli di lavoro reali, tipici dell'agricoltura centro-europea.

Tuttavia, storicamente sia i codici OCSE che questi nuovi protocolli di prova hanno riguardato nella gran parte dei casi i trattori standard; viceversa, i trattori specializzati, impiegati nei vigneti, frutteti, nell'orto-floro-vivaistica e nella manutenzione del verde non hanno potuto finora godere delle medesime attenzioni.

Scopo di questo lavoro è quindi quello di costruire una metodologia per poter calcolare un Indice di Efficienza Energetica anche per i trattori da vigneto.

Una prima fase del lavoro ha visto l'analisi dell'operatività dei trattori da vigneto, per poter definire quali cicli lavorativi rilevare in quanto maggiormente impattanti. Si è quindi proceduto all'analisi, per diversi motivi solo parziale, di questi cicli reali di campo, analizzando le potenze trasmesse dal trattore alla macchina operatrice e (ove possibile) anche i consumi.

Successivamente questi dati sono stati elaborati per costruire dei cicli teorici facilmente riproducibili in laboratorio, per il tramite di banchi prova appositi (freno motore in particolare). La ridotta collaborazione dei costruttori non ha però permesso di replicare in laboratorio questi cicli creati. Si è quindi deciso di tentare un'altra strada, ovvero utilizzare dei dati di prove motore già liberamente disponibili, ovvero quelli relativi alle prove Codice 2 OCSE. Nel periodo 2011-2015, su un totale di 278 test report emessi, solo 11 purtroppo erano relativi a trattori da vigneto e frutteto.

Analizzando i report si è valutata la corrispondenza tra potenza rilevata nelle prove in campo e potenza rilevata nel test Codice 2, verificando inoltre la compatibilità della modalità di prova (con riguardo alla posizione dell'acceleratore). I diversi cicli sono stati quindi parificati a 4 diverse condizioni di prova del Codice 2 OCSE. I dati relativi ai consumi specifici (espressi in g/kWh) sono stati quindi analizzati introducendo un impegno temporale previsto per la singola operazione, espresso come percentuale del tempo totale di lavoro, questo in quanto l'agricoltore non utilizza il trattore per un'unica operazione, ma per più operazioni. L'agricoltore può inoltre variare le percentuali di utilizzo del trattore per la singola operazione, ricalcolando quindi sulla effettiva operatività aziendale l'Indice di Efficienza Energetica complessivo.

Come spesso succede, però, un singolo numero, soprattutto se non immediatamente confrontato con altri, non dice molto all'utilizzatore finale. Si rende quindi indispensabile, come effettuato in molti altri casi, una definizione delle diverse classi energetiche, per poter facilmente confrontare i risultati ottenuti dal foglio di calcolo

sopra indicato. Si è deciso di optare per l'introduzione di 7 classi, dalla A alla G, differenziate tra di loro per un intervalli di 30 g/kWh. Si tratta di una decisione puramente arbitraria, e ovviamente soggetta a futuri adeguamenti, anche in base al ridotto campione di trattori che è stato in questo momento analizzato.

In conclusione, il progetto sviluppato durante questa tesi ha lo scopo principale di offrire all'utilizzatore di trattori specializzati diversi indici riguardanti l'efficienza energetica (e quindi, indirettamente, i possibili costi di gestione) dei trattori stessi in diverse condizioni operative, tipiche del settore viticolo e frutticolo.

Futuri approfondimenti del lavoro dovranno sicuramente riguardare tutte le parti di questo lavoro. Si dovrà infatti implementare l'analisi reale delle diverse lavorazioni, con una misurazione puntuale delle potenze assorbite da diverse attrezzature (anche della stessa tipologia ma con capacità operative differenti), ricreando dei cicli teorici più affidabili possibili. Inoltre, la fase critica sarà quella per l'ottenimento dei dati reali da prove di laboratorio riferite ai cicli, e non più ai soli dati del codice 2. Si ritiene poi importante anche ottimizzare il database, creando un software apposito con un database periodicamente aggiornato, e in grado di guidare l'agricoltore nella compilazione del suo "uso tipico".

Inoltre, è ovvio che il consumo di combustibile, per quanto sia uno dei fattori principali che guidano l'agricoltore nella scelta del trattore, non è sicuramente l'unico. Dal punto di vista ambientale potrebbe essere utile analizzare anche le emissioni di gas in atmosfera, misurandole con l'apposita sensoristica (opacimetri, sonde lambda, etc.) durante le prove di laboratorio. Questi dati, confrontati tra loro su di un utilizzo medio ragionato, potrebbero essere utilizzati anche come base per l'erogazione di sussidi in agricoltura: come già avviene in molti altri settori o in altri paesi, dove le macchine maggiormente efficienti (sia come consumi che come emissioni) sono finanziate dai Piani di Sviluppo Rurale, soggette a defiscalizzazioni o comunque oggetto di contribuzione pubblica.

Abstract

The agricultural tractor is a complex machine, designed to provide power to a broad number of different types of equipment, be it mechanical power, hydraulic power, and in recent times even pneumatic and electric power. All this power is harnessed through an endothermic engine (typically diesel cycle), that harnesses the chemical energy of the fuel transforming it into mechanical energy.

The constant increase in fuel prices, together with a higher awareness of environmental issues, have significantly increased farmers' concern over their consumptions. In the last few years, this has led many national and international organisations to come up with methods to calculate an energy efficiency index for tractors, in line with what has already been done for cars or different types of household appliances.

In particular, the energy efficiency of a system can be defined as its ability to harness the supplied energy to meet its needs. The less the system consumes in order to meet its needs, the higher will be its energy efficiency.

Within the farm mechanisation industry, several countries (Spain, Korea, Turkey) have introduced programmes in an attempt to define this index, based on currently available data such as the OECD Code 2 tests or performance testing on endothermic engines. The DLG (German Agricultural Society) has implemented a different system, based instead on field tests that replicate real work cycles typical of central-European farming.

However both the OECD codes and these new testing protocols were mainly designed and tested on standard tractors, whereas specialised tractors, the ones used in vineyards, fruit orchards, greenhouses and vegetation maintenance, have been neglected up until now.

The purpose of this project is to devise a methodology in order to be able to calculate an Energy Efficiency Index also for vineyard tractors.

The first part of the project consisted in analysing the work of tractors in viticulture, in order to pick out the most impactful, and therefore most relevant work cycles. This was followed by an only partial (for several reasons) analysis of these real-life

field cycles, by studying the power transmitted from the tractor to the implements/equipment and (where possible) assessing consumption as well.

This data was then used to devise theoretical cycles, easily reproducible in the lab thanks to dedicated testing areas (especially for the engine brake). But due to a lack of cooperation from the manufacturers, it was not possible to test these cycles in the lab. A different strategy was then decided on: using engine testing data from sources that were already freely available, such as data from the OECD Code 2 tests. Between 2011 and 2015, only 11 out of 278 test reports issued involved vineyard and orchard tractors.

When analysing these reports, the power detected in field tests was compared to the power detected in Code 2 tests, and the compatibility of the test setting was also assessed (especially the position of the throttle). The various cycles were then compared against 4 different test conditions of the OECD Code 2. The specific consumption data (expressed in g/kWh) was then assessed against a given time allocated to the task, expressed as a percentage of the overall work time, as the farmer doesn't use the tractor for a single task but for multiple tasks. The farmer can also change the percentages of tractor usage for each task; thereby recalculating the overall energy efficiency index according to the farm's actual operational performance.

However, as often happens, one single figure, especially if not immediately checked against other numbers, does not mean much to the end user. Therefore it is essential, as it has proved to be in many other cases, to provide a definition of the different energy brackets in order to facilitate the comparison of results by using the spreadsheet shown above. It has been decided to introduce 7 energy brackets running from A to G, each one separated by an interval of 30g/kWh. This is a purely arbitrary distinction, which is obviously subject to future amendments also due to the small numbers of tractors analysed so far.

In conclusion, the main goal of the project outlined in this paper is to provide the user of specialised tractors with different energy efficiency indexes (and therefore

also, indirectly, with an idea of the possible operating costs) of tractors under diverse operating conditions within the vine and fruit culture industry.

Any future research on this project should take into account all the aspects that have been touched on. It will be necessary in fact to implement a real-life analysis of the different activities, with accurate measurements of the power used by each piece of equipment (even if they are of the same type but with different operating systems), devising in this way theoretical cycles that are as reliable as possible. In addition, a key part of the project should revolve around obtaining real data from laboratory tests based on these cycles, and not just data from Code 2 tests. We also consider it important to optimise the database, by creating a dedicated software with a regularly updated database, which can guide the farmer in tracking his “typical use”. Moreover it is clear that the consumption of fuel, despite being one of the main factors that guide the farmer’s choice of tractor, is definitely not the only one. From an environmental point of view, it could be useful to also analyse gas emissions into the atmosphere, by measuring them with the appropriate instruments (opacimeters, lambda waves, etc.) during laboratory tests. All this data, if it was compared and evaluated against a reasoned average utilisation, could then be used as a basis for the distribution of agricultural subsidies, as is already the case in many other industries or in other countries, where the most efficient machines (both in terms of consumption and emissions) are funded by Rural Development Plans, or benefit from tax deductions or some form of government contribution.

Introduzione

Nelle diverse normative che si occupano dei trattori agricoli, questi vengono normalmente definiti come veicoli semoventi, aventi almeno due assi (o dotati di cingolatura), progettati e costruiti per operare in ambito agricolo e forestale, trainando carichi o portando, tirando e alimentando attrezzature o macchinari agricoli e forestali.

Si tratta quindi di una macchina in grado di erogare potenza, grazie alla conversione dell'energia chimica propria del combustibile. Tale conversione avviene all'interno di un motore endotermico (tipicamente a ciclo Diesel), che eroga potenza attraverso l'albero motore. Tale lavoro viene quindi trasmesso agli organi propulsivi, attraverso la catena cinematica della trasmissione, e/o agli organi di trasmissione del moto (presa di potenza e circuito idraulico).

La storia del trattore

La concezione del moderno trattore agricolo nasce agli inizi del secolo scorso. Prima di questo periodo, in agricoltura erano già utilizzati degli antesignani dei moderni trattori: si trattava dei *locomobili*, ovvero veicoli particolari, dotati di motore *esotermico* (caldaia a vapore), in grado di spostarsi autonomamente ma destinati ad impieghi come centrali di potenza fisse. Venivano infatti utilizzati per l'azionamento di trebbiatrici fisse nelle aie, oppure per l'azionamento dei primi sistemi di aratura funicolare.

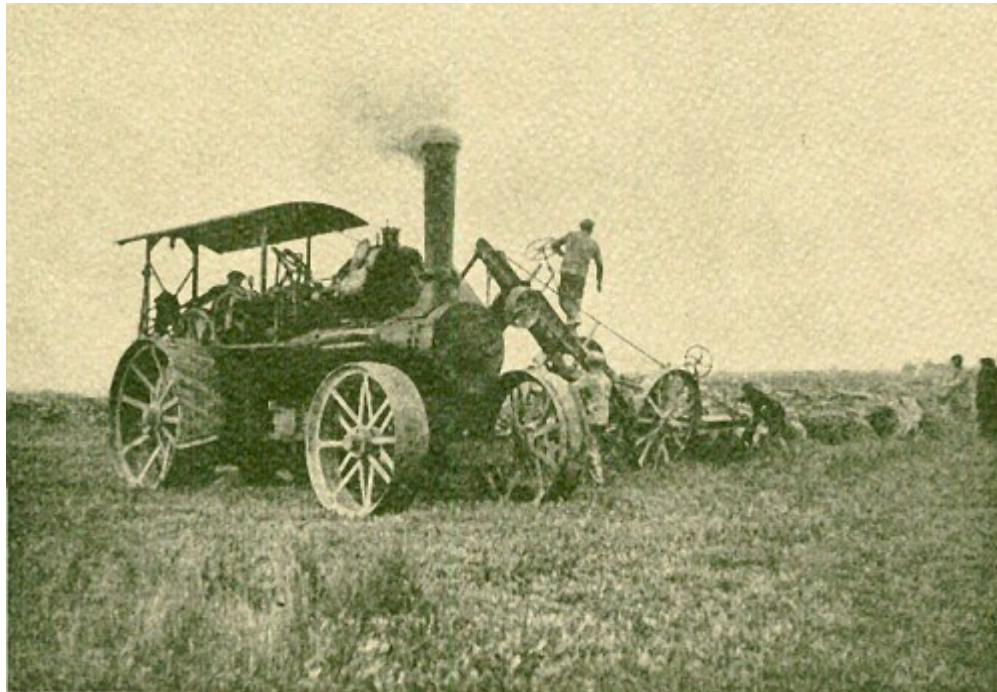


Figura 1 - Una fotografia di un antico locomobile a vapore

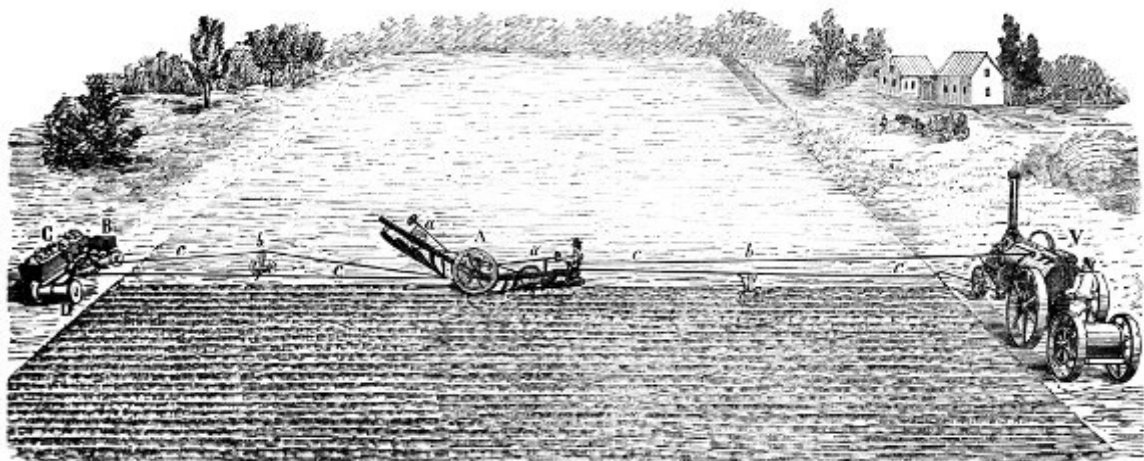


Figura 2 - Rappresentazione di aratura funicolare con locomobile a vapore

Il primo trattore prodotto in grandi numeri, ovvero soggetto ad una produzione di massa, è il Fordson F del 1917 (prodotto fino al 1928). Si trattava di un trattore con un motore a benzina a 4 cilindri, da 4100 cm³ di cilindrata, e in grado di erogare una

potenza di 14,9 kW a 1000 giri/min. Già negli anni precedenti, però, si erano diffusi diversi modelli di trattori con motori di tipo *testacalda*. Si trattava di motori a due tempi, particolarmente diffusi nel periodo tra le due guerre mondiali, in grado di utilizzare qualsiasi tipo di combustibile (a differenza dei motori a scoppio che potevano usare solo benzina raffinata). I motori testa calda sono motori endotermici, tipicamente mono o bicilindrici, così definiti perché l'accensione è ottenuta *arroventando* la testata con una fiamma. Praticamente l'operatore scaldava la testa, creando così le condizioni ideali per l'autoaccensione del combustibile introdotto; l'accensione vera e propria era poi ottenuta tramite sapienti movimenti del grosso volano. Il suono di questi motori, assicurato dall'elevata cilindrata e dal ridotto numero di giri, è sicuramente inconfondibile. In Italia la produzione industriale di trattori iniziò solamente dopo la Prima Guerra Mondiale: i più famosi trattori dell'epoca sono sicuramente i diversi Landini a testa calda. E' del 1918 l'italiano Pavesi Tolotti P4M, uno dei primi trattori snodati centralmente, a 4 ruote motrici e dotato di un motore a ciclo Otto bicilindrico, in grado di erogare 15 kW a 1200 giri/min. La produzione dei trattori testa calda continuò fino agli anni '50: l'ultimo modello è l'Orsi O35 costruito fino al 1959, ultimo tentativo dell'azienda di insistere sui motori testa calda quando tutti i concorrenti erano già passati al moderno motore a ciclo Diesel.

Uno dei primi trattori a montare un motore a ciclo Diesel è sicuramente stato l'italianissimo Cassani 40CV del 1927. Progettato e costruito da Francesco Cassani, storico fondatore della SAME (azienda tutt'ora attiva nella produzione di trattori), era dotato di un motore bicilindrico da 12700 cm³ di cilindrata, in grado di erogare quasi 30 kW di potenza. Da questo momento, il motore a ciclo Diesel prenderà sempre di più il sopravvento sulle altre tipologie, grazie all'elevato rendimento, alla facilità di manutenzione e alla robustezza di funzionamento. La continua evoluzione tecnica, da allora, ha portato continue novità nel settore: è del 1918 il primo brevetto per una presa di potenza (prima di allora si utilizzavano grandi cinghie collegate al volano) depositato dalla International Harvester; nel 1925 Ferguson brevettò l'attacco a tre punti, che da allora verrà installato su praticamente tutti i

modelli di trattore in commercio. Nel 1938 MAN mette in commercio, in Germania, il primo trattore con motore a ciclo Diesel e iniezione diretta; nel 1954 l'idraulica si affaccia anche nel settore della trasmissione, con i primi modelli commerciali di trasmissioni power-shift di tipo HI-LO, seguiti nel 1963 da trasmissioni power-shift più complete. Negli anni '70 arriva l'elettronica, prima deputata al controllo di funzioni accessorie (circuito idraulico, sollevatore) e ora ormai in grado di controllare tutto il funzionamento di un mezzo. Una delle ultime tappe storiche è negli anni '90, in particolare nel 1996, quando Fendt offre sul mercato la prima trasmissione "vario", a variazione continua della velocità tramite trasmissione mista meccanico-idraulica.

La classificazione dei trattori

Come è ovvio, esistono diversi metodi per la classificazione dei trattori, che si basano sia su consuetudini costruttive che su disposizioni legislative, spesso correlate alle normative di omologazione dell'intero trattore o del motore.

Una delle prime classificazioni tiene conto proprio della potenza del motore, creando diverse classi anche in base alla destinazione d'uso della classificazione. Tra le più diffuse, si possono citare la segmentazione in classi promossa dalle normative anti-inquinamento, oppure una più elaborata come da tabella successiva.

EPA AND EU NONROAD EMISSIONS REGULATIONS: 37 – 560 kW (50 – 750 hp)

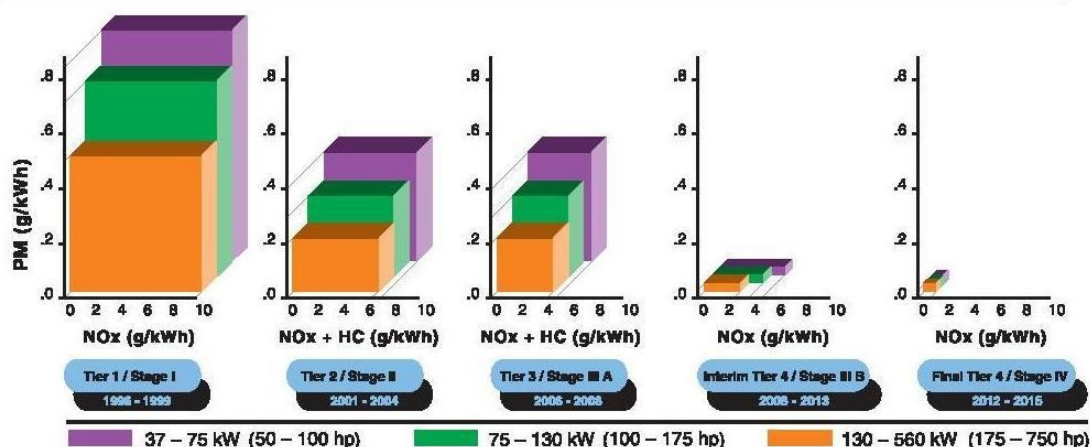


Grafico 1 - Classificazione dei trattori in base alle emissioni di gas nocivi

Segmento	Potenza	
	kW	CV
A	0-36	0-50
B	37-73	51-100
C	74-132	101-180
D	133-177	181-240
E	>178	>241

Tabella 1 – Esempio di classificazione dei trattori in base alla potenza

Altre classificazioni tengono conto, ad esempio, della tipologia di organi di propulsione (pneumatici, cingoli in acciaio, cingoli in gomma), oppure tengono conto del numero di assi motori (a 2 o 4 ruote motrici). Una delle classificazioni più importanti, invece, tiene conto di dimensioni, peso e velocità, ovvero della destinazione d'uso finale. Si tratta della classificazione tipicamente utilizzata nelle normative in materia, come ad esempio nel Regolamento Europeo 167/2013 (*Mother Regulation*). In particolare, secondo questo regolamento, esistono 7 categorie di trattori, ognuna identificata successivamente da una lettera (a o b) che

identifica la velocità massima di progetto (a <40 km/h; b >40 km/h). La categoria T comprende tutti i trattori a ruote, ed è suddivisa in 6 sottocategorie:

- T1: trattori a ruote aventi carreggiata minima dell'asse più vicino al conducente non inferiore a 1 150 mm, massa a vuoto in ordine di marcia superiore a 600 kg e altezza libera dal suolo non superiore a 1 000 mm
- T2: trattori a ruote con una larghezza minima della carreggiata inferiore a 1150 mm, con massa a vuoto in ordine di marcia superiore a 600 kg e altezza libera dal suolo non superiore a 600 mm; nel caso in cui l'altezza del centro di gravità del trattore (misurata rispetto al terreno) divisa per la carreggiata minima media per ogni asse superi 0,90, la velocità di progetto massima è limitata a 30 km/h
- T3: trattori a ruote aventi massa a vuoto in ordine di marcia non superiore a 600 kg
- T4.1: trattori progettati per attività in coltivazioni alte e a filari, come le viti. Sono caratterizzati da un telaio o parte di esso sopraelevato che ne permette la circolazione parallelamente ai filari, con le ruote a destra e a sinistra di uno o più filari. Sono progettati per portare o azionare utensili che possono essere fissati anteriormente, tra gli assi, posteriormente o su una piattaforma. Quando il trattore è in azione, l'altezza libera dal suolo misurata verticalmente rispetto ai filari supera i 1 000 mm. Se il quoziente tra l'altezza del centro di gravità del trattore, misurata rispetto al suolo usando gli pneumatici in dotazione normale, e la media delle carreggiate minime di tutti gli assi supera 0,90, la velocità massima di progetto non può superare i 30 km/h
- T4.2: trattori caratterizzati da grandi dimensioni e destinati principalmente ad attività in grandi aree di terreno coltivato
- T4.3 trattori a quattro ruote motrici la cui attrezzatura intercambiabile è destinata all'uso agricolo o forestale, caratterizzati da un telaio di sostegno, munito di una o più prese di potenza, aventi una massa tecnicamente ammissibile non superiore a 10 t, per i quali il rapporto tra tale massa e la

massa massima a vuoto in ordine di marcia è inferiore a 2,5 e il cui centro di gravità, misurato rispetto al terreno con gli pneumatici di normale dotazione, si trova a un'altezza inferiore a 850 mm

- la «categoria C» comprende trattori a cingoli che si spostano su cingoli o su una combinazione di ruote e cingoli, le cui sottocategorie sono definite per analogia con la categoria T

I trattori specializzati (a carreggiata stretta)

Tra le diverse tipologie di trattori, nell'ambito Italiano un forte interesse è verso la categoria dei trattori destinati all'utilizzo in coltivazioni specialistiche: vigneto, frutteto, colture protette, colture orticole e manutenzione del verde. Questo interesse è duplice: sia dal lato utilizzatore che dal lato costruttore. Da quest'ultimo punto, l'Italia è infatti il paese leader nella produzione di trattori *specializzati*, definibili sia nella categoria T2 (trattori stretti o *narrow tractors*) sia in altre categorie ma comunque destinati ad utilizzi in coltivazioni specialistiche (come sopra definite). Dal punto di vista della loro diffusione sul territorio italiano, si può fare riferimento alla statistica dei trattori più venduti nel 2015: si nota che nei primi 10 posti della classifica assoluta ben 7 posti sono occupati da trattori da vigneto/frutteto (specializzati, isodiametrici e compatti; i posti diventano 8 considerando anche i trattori cingolati).

CLASSIFICA ASSOLUTA

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	New Holland	T4.95F	349
2	New Holland	T5.115	248
3	Landini	Rex 90	234
4	Same	Frutteto 80	193
5	Landini	PowerFarm 100	191
6	A.Carraro	Tigrone 5800	190
7	New Holland	Tk 4060	180
8	Same	Solaris 55	178
9	A.Carraro	Tgf 7800	167
9	New Holland	T4.105F	167

CLASSE A TRATTORI COMPATTI

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	Same	Solaris 55	178
2	Lamborghini	Ego 55	136
3	Landini	Mistral 50	111
4	Kubota	B 1620 D	89
5	New Holland	T3030	56
6	Deutz-Fahr	Agrokid 230	44
7	Landini	Mistral 55	40
7	Landini	Mistral 45	40
7	New Holland	Td3.50	40
10	Kubota	Bx 2350	39



CLASSE B TRATTORI UTILITY

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	Kubota	M 9960	137
2	Kubota	M 7060	111
3	Same	Dorado ³ 90	79
4	Same	Argon ³ 75	75
5	John Deere	5085G	73
5	Same	Argon ³ 80	73
7	New Holland	T4.75	61
8	Landini	TechnoFarm 80	60
9	New Holland	T4.105 Lp	52
10	New Holland	T4.95 Lp	44

CLASSE E TRATTORI POTENZA MEDIO ALTA

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	Fendt	724 Vario	101
2	New Holland	T7.210	81
3	John Deere	6170M	75
4	New Holland	T7.200	72
5	New Holland	T7.270	70
6	New Holland	T7.250	68
7	Fendt	516 Vario	52
8	Case IH	Puma 160	51
9	Fendt	720 Vario	49
9	John Deere	6140R	49

CLASSE H TRATTORI SPECIALISTICI

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	New Holland	T4.95F	349
2	Landini	Rex 90	234
3	Same	Frutteto ³ 80	193
4	New Holland	T4.105F	167
5	Same	Frutteto ³ 90	166
6	Landini	Rex 80	137
7	New Holland	T3.75F	130
8	New Holland	Td4040F	124
9	Same	Frutteto ³ 100	123
10	Goldoni	Quasar 90	114

CLASSE C TRATTORI AZIENDALI

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	New Holland	T5.115	248
2	Landini	PowerFarm 100	191
3	Same	Explorer 105	148
4	New Holland	T4.95	130
5	John Deere	5100M	121
6	New Holland	T4.105	109
7	John Deere	5085 M	97
8	Landini	PowerFarm 90	87
9	Same	Explorer 90	83
10	Massey Ferguson	Mf 5612	80

CLASSE F TRATTORI ALTA POTENZA

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	Deutz-Fahr	7250 Ttv	62
2	Claas	Axion 850	37
3	Fendt	828 Vario	24
3	John Deere	7250R	24
5	John Deere	7290R	12
6	John Deere	7230R	6
7	Fendt	824 Vario	4
8	Fendt	826 Vario	2
8	John Deere	7270R	2
10	John Deere	7280R	1

CLASSE I TRATTORI CINGOLATI

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	New Holland	Tk4060	180
2	New Holland	Tk4050	152
3	Landini	Trekker 90	129
4	New Holland	Tk4030	107
5	New Holland	Tk4040	106
6	Landini	Trekker 105	101
7	Same	Krypton ³ 110	54
8	Lamborghini	C.110	42
8	Landini	Trekker 80	42
10	Landini	Trekker 100	38

CLASSE D TRATTORI MEDIA POTENZA

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	New Holland	T6.155	117
2	New Holland	T6.175	110
3	John Deere	6150M	107
4	John Deere	6125R	8 5
5	Deutz-Fahr	6160	8 3
6	Landini	LandPower 165	7 3
7	John Deere	6125M	6 3
8	John Deere	6115M	5 7

CLASSE G TRATTORI ALTISSIMA POTENZA

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	Fendt	939 Vario	30
2	New Holland	T8.420	17
3	Fendt	936 Vario	16
4	New Holland	T8.390	15
4	John Deere	8320R	15
6	Fendt	930 Vario	12
7	Case IH	Magnum 370	11
8	Claas	Axion 950	10

CLASSE L TRATTORI ISODIAMETRICI

Pos.	Costruttore	Modello	Unità
1	A.Carraro	Tigrone 5800	190
2	A.Carraro	Tgf 7800	167
3	A.Carraro	Tigre 3200	165
4	A.Carraro	Trx 7800	112
5	Ferrari	Cromo K40	94
6	A.Carraro	Tigre 4000	93
7	A.Carraro	Tigre 4400F	74
8	Ferrari	Thor 85	66

Figura 3 - Statistica del mercato Italiano dei trattori nel 2015

L'architettura: differenze rispetto ai modelli convenzionali

Esistono diverse tipologie di trattori a carreggiata stretta, ognuna delle quali presenta vantaggi e svantaggi nel suo utilizzo. La differenza principale rispetto ai trattori normali è proprio la ridotta larghezza del trattore, che deve permettere un agevole transito all'interno delle coltivazioni specializzate, tipicamente a filari. Per ottenere questo, la struttura del trattore viene notevolmente ridotta dimensionalmente, costringendo i progettisti ad enormi sforzi progettuali per un corretto dimensionamento di tutti i componenti. A questo si aggiunge anche il problema di mantenere una corretta abitabilità della cabina di guida, che giocoforza sarà comunque di dimensioni inferiori rispetto a quella di un normale trattore da campo aperto.

Tipicamente, i trattori da vigneto/frutteto sono caratterizzati anche da una ridotta altezza, per rendere più agevole il transito anche in situazioni come vigneti a tendone. Spesso, su queste macchine, anche il dispositivo di sicurezza in caso di ribaltamento (più conosciuto come arco di protezione o rollbar) è di tipo abbattibile o parzialmente abbattibile per permettere il passaggio in situazioni di ridotta altezza, come appunto i sopra citati vigneti a tendone. Dove invece l'altezza non è un problema (vigneti a spalliera, frutteti) è ormai molto diffuso l'utilizzo della cabina chiusa.

Le ridotte dimensioni della struttura portante del trattore accorciano anche il passo del trattore, ovvero la distanza tra i due assi; a questo si aggiunge una conformazione del telaio studiata appositamente per massimizzare l'angolo di sterzo, riducendo così il raggio di volta e permettendo una corretta operatività anche in zone dove le capezzagne sono di dimensioni ridotte. Per fare ciò, negli anni sono apparsi sul mercato diversi sistemi: ponti conformati a clessidra, assi sterzanti, dispositivi che aumentano la velocità di sterzata delle ruote anteriori, sistemi che sfruttano sia ruote sterzanti che un punto di articolazione centrale, etc.

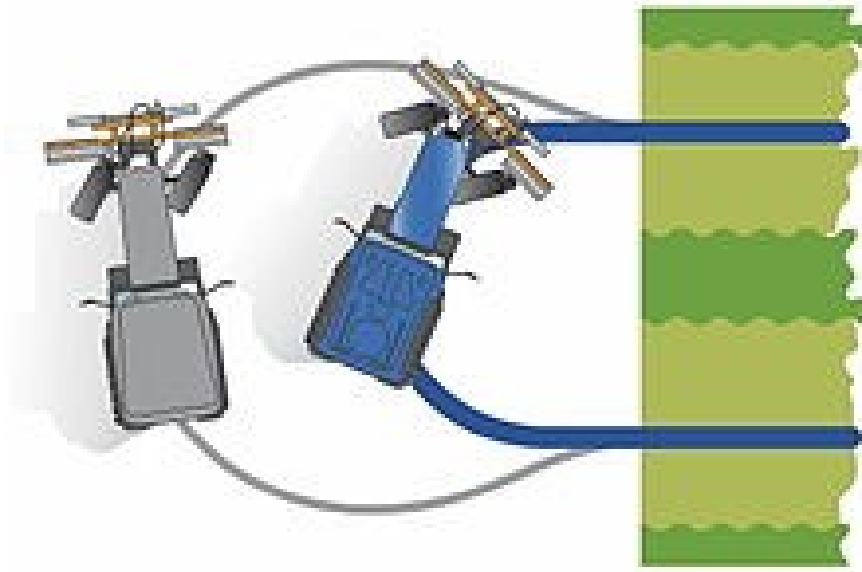


Figura 4 - Un dispositivo di riduzione del raggio di sterzata; in questo specifico caso è il "SuperSteer" di New Holland

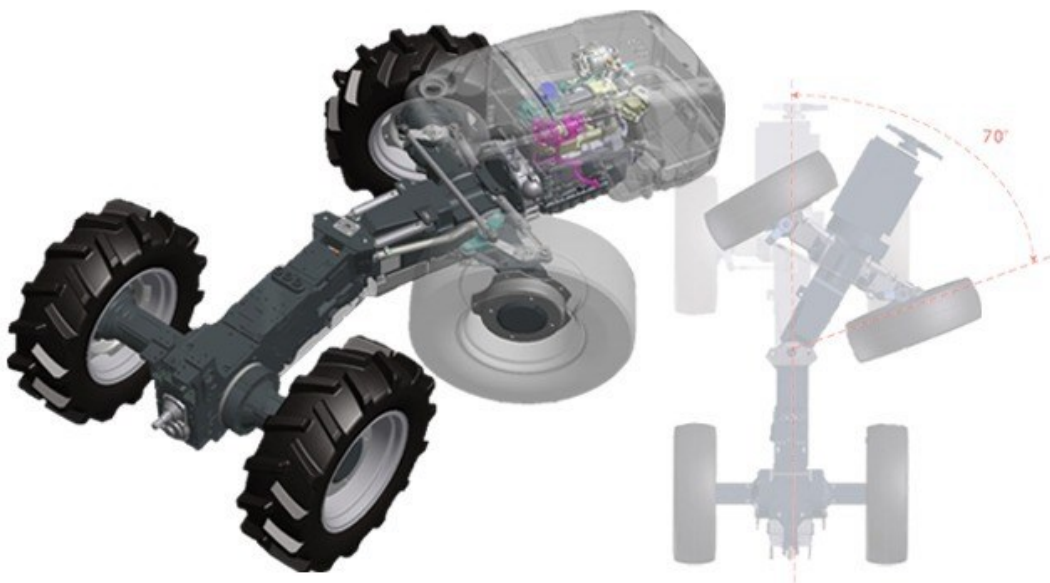


Figura 5 - Il sistema Dual-Steer di BCS si basa sull'unione di ruote sterzanti e telaio articolato

Il motore, sempre a ciclo Diesel, è caratterizzato da dimensioni compatte e potenze massime non superiori a 85 kW (115 CV circa). Date le ridotte dimensioni, spesso questi propulsori non hanno le stesse caratteristiche di economicità di esercizio di un

motore di pari potenza destinato all'utilizzo in campo aperto. Alcuni costruttori utilizzano invece gli stessi propulsori destinati ai modelli da campo aperto.

Una delle ultime caratteristiche tipiche dei trattori da vigneto è la conformazione esterna, che prevede quasi sempre forme morbide e senza spigoli, per evitare di offrire punti di appiglio alla vegetazione.

Dal punto di vista della struttura, esistono diverse tipologie di trattori specializzati, che andremo ora ad analizzare.

Le tipologie

All'interno della grande famiglia dei trattori specializzati esistono diverse tipologie di macchine, che vengono classificate principalmente in base all'architettura di costruzione. Date le potenze motore raggruppate in differenze di poche decine di kW la classificazione in base alla potenza motore non viene normalmente effettuata.

Classificazione dei trattori specializzati
Ad architettura tradizionale
Ad architettura isodiametrica e sterzata sulle ruote
Ad architettura isodiametrica e sterzata articolata

Tabella 2 - Una possibile classificazione dei trattori specializzati

I trattori specializzati ad architettura tradizionale ricalcano nel loro schema strutturale i più grandi trattori da campo aperto. Pneumatici posteriori notevolmente più grandi di quelli anteriori; struttura portante tipicamente a "coppa portante", ovvero con la coppa del motore e la cassa della trasmissione che fanno da telaio; sterzata sulle ruote anteriori; posto di guida in posizione centro-posteriore e motore posizionato tra l'asse anteriore e il posto di guida. La distribuzione delle

masse è normalmente quella tipica dei trattori a 4 ruote motrici, ovvero 60% sull'asse posteriore e 40% sull'asse anteriore, come si evince da diversi riferimenti bibliografici.

L'architettura isodiametrica prevede invece che le 4 ruote siano di uguale dimensione, o quasi: negli ultimi anni si stanno diffondendo infatti alcuni modelli con le ruote posteriori con diametro e/o sezione leggermente più grandi, ma che ricalcano comunque l'architettura standard di un trattore isodiametrico. Il concetto di base è infatti dato dal motore, che è posizionato anteriormente ed a sbalzo rispetto all'asse anteriore. Questo porta ad una distribuzione dei pesi diversa: il 60% grava sull'asse anteriore, e solo il 40% sull'asse posteriore. Questa ripartizione rimane però molto più bilanciata quando si accoppiano posteriormente attrezzature portate di elevata massa (trinciasarmenti particolarmente grandi o robuste, erpici, etc.).

I trattori isodiametrici possono sterzare o sulle ruote anteriori, ovvero come un normale trattore, oppure (pochi modelli ormai) su di un'articolazione centrale. In questo caso, la sterzata si realizza mediante uno o due cilindri idraulici che agiscono su uno snodo centrale, che permette sia spostamenti relativi tra gli assi sia sul piano orizzontale (sterzata vera e propria) che sul piano verticale (oscillazione centrale per migliorare il comfort di guida).

Caratteristiche operative e prestazioni dei trattori specializzati

Condizioni operative e principali requisiti prestazionali

I trattori specializzati, come è insito nel nome, sono destinati all'utilizzo in coltivazioni ad elevata specializzazione. Tra queste, si fanno ricadere normalmente i vigneti, i frutteti, il settore dell'orto-floro-vivaismo (principalmente colture orticole sotto serra) e, per alcuni aspetti, anche l'ampio settore della manutenzione del verde.

Sono settori notevolmente diversi tra di loro, che impongono condizioni operative ben differenziate. Ad esempio, in vigneto una delle caratteristiche limitanti di un trattore specializzato è sicuramente la larghezza esterna, visti gli interfilari sempre più ridotti; le attuali medie si stanno stabilizzando sui 2-2,5 metri, ma non mancano le eccezioni, come i vigneti in Franciacorta dove addirittura l'interfilare è inferiore ad 1,5 m, rendendo di fatto impossibile il transito con normali trattori, dovendo ricorrere a macchine scavallanti. Al contrario, lo stesso trattore utilizzato in frutteto non avrà questi problemi, e magari il costruttore lo proporrà in versione più larga a garantire una maggiore stabilità.

In tutti gli ambiti, sono però ben definiti alcune richieste minime, qua riassunte:

- Dimensioni ridotte: sebbene non siano un problema in alcuni settori, i trattori di dimensioni ridotte permettono una maggiore manovrabilità
- Elevata capacità idraulica disponibile: negli ambiti delle colture specializzate, molte attrezzature necessitano di notevoli quantità d'olio avendo movimentazioni e azionamenti esclusivamente di tipo idraulico; si rende quindi necessario un impianto ad elevate prestazioni
- Capacità di sollevamento: sebbene in assoluto le masse delle attrezzature non siano elevate, in rapporto alla ridotta massa del trattore richiedono sollevatori idraulici adeguatamente robusti; a questo si deve aggiungere

un'elevata precisione del controllo di posizione per poter lavorare al meglio sulla vegetazione

Per raggiungere le prestazioni operative minime richieste, ai trattori specializzati sono richiesti alcuni requisiti prestazionali, che però ovviamente variano in base alla potenza motore ma anche alla tipologia e al costruttore del trattore stesso.

Come già anticipato, i motori utilizzati in questo campo sono sempre a ciclo Diesel, a 3 o 4 cilindri, con potenza massima compresa tra i 30 e gli 85 kW (40-115 CV) circa; esistono in commercio anche trattori con potenze inferiori (fino a 18 kW circa, ovvero 25 CV) ma si tratta quasi sempre di trattori per usi hobbystici. Le trasmissioni sono spesso molto complesse e con numerosi rapporti disponibili (fino a 64+64 o addirittura con cambi a variazione continua), per permettere di adeguare al meglio la velocità di avanzamento a quella ottimale per l'esecuzione dell'operazione.

Come già detto, le prestazioni del circuito idraulico, soprattutto sui trattori di alta gamma, devono essere molto elevate.

Se sui trattori di bassa/media gamma si trovano comunque circuiti a centro aperto, negli ultimi anni si stanno diffondendo (soprattutto sui mezzi di alta gamma) i sistemi CCLS: si tratta di circuiti a centro chiuso, ovvero con portata variabile e pressione costante, che assorbono energia solo in seguito alla richiesta di potenza idraulica da parte di un utilizzatore finale.

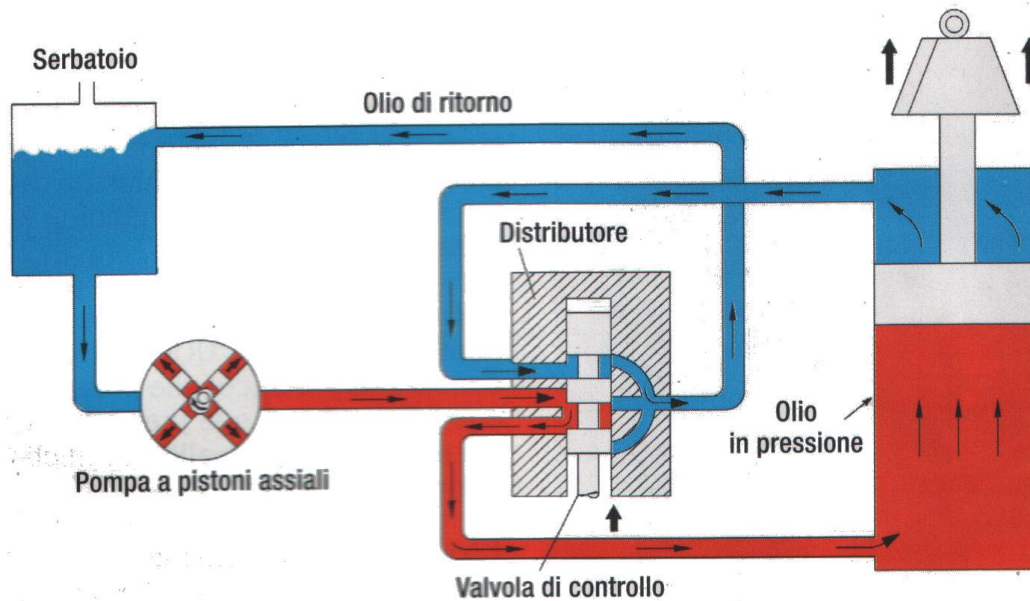


Figura 6 - Schema di funzionamento di un impianto a "centro chiuso"

Questo tipo di circuito permette di avere alte portate, ma con ridotte dissipazioni di energia quando non utilizzate. In alcuni modelli nel circuito si inserisce anche un radiatore per mantenere la temperatura dell'olio entro livelli accettabili, evitando così la riduzione delle prestazioni, dovuta al surriscaldamento dell'olio.

Bilancio dinamico (potenza disponibile alle m.o.)

Il motore endotermico installato sui trattori eroga una certa potenza massima, tipicamente definita P_{mot} . Non tutta questa potenza è effettivamente disponibile alle attrezzature, di qualsiasi tipo siano. Parte di questa energia viene infatti assorbita da alcune componenti interne del trattore:

- Una quota, η_t , è assorbita dalla trasmissione. Si tratta della dissipazione, in calore, degli attriti interni tra i diversi organi meccanici; tale assorbimento è diverso a seconda dei vari tipi di trasmissione adottati sul trattore, e può

essere stimato tra il 10% (trasmissioni meccaniche molto semplici, si considera una perdita di potenza del 2% circa per ogni coppia di ingranaggi) fino ad un 30% (trasmissioni di tipo 100% idraulico o trasmissioni a variazione continua nel picco di trasmissione idraulica).

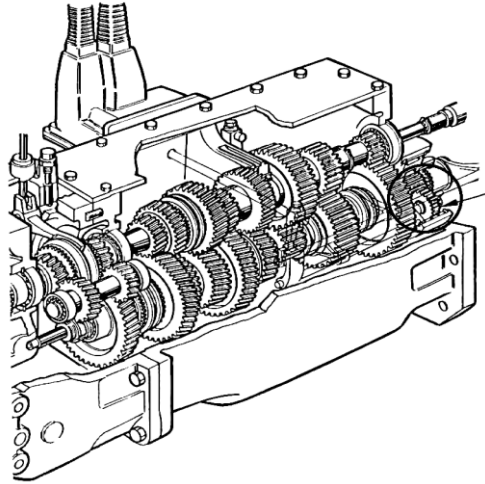


Figura 7 - Uno spaccato di una trasmissione: si noti l'elevato numero di coppie di ingranaggi, anche se mediamente si trovano 4-5 coppie di ingranaggi effettivamente in presa per ogni marcia selezionata

- Una quota, η_a , è invece calcolata per l'autodislocamento del trattore stesso, ovvero per vincere le resistenze che il trattore incontra nel suo avanzamento. Tale valore dipende dal coefficiente di rotolamento degli pneumatici della trattrice, dalla dimensione degli pneumatici, dalla tipologia di superficie e dall'umidità del terreno; tale valore può essere stimato da un 2% (strada asfaltata) fino ad un notevole 30% (difficilmente raggiungibile in vigneto, considerando che la quota del 30% è calcolata per terreni paludosi).
- Una quota, η_{pdp} , è calcolata per gli attriti interni della trasmissione di potenza alla pdp, ed è normalmente valutata in un 4-5% (sempre considerando un 2% circa per coppia di ingranaggi e considerando la presenza di due coppie di ingranaggi).

PRESA DI POTENZA A REGIME STANDARDIZZATO

(540 e 1000 min⁻¹)

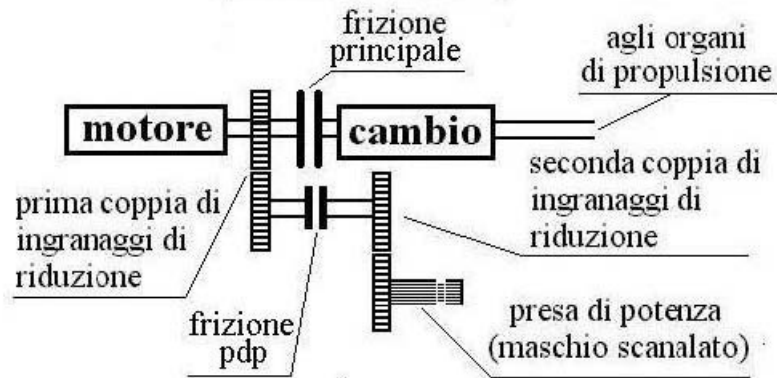


Figura 8 - Configurazione classica della pdp a regime standardizzato, con le due coppie di ingranaggi di riduzione

- Una quota η_s , è persa a causa dello slittamento degli pneumatici; deriva dal fatto che per esercitare una certa forza di trazione occorre che si verifichi un dato slittamento. Al crescere dello slittamento, ovviamente fino a valori accettabili (massimo del 12-15%) aumenta la trazione, come è stato misurato empiricamente. Il valore di questa quota dipende dal trattore e dall'operazione, ma è comunque variabile tra un 5 e un 20% circa.

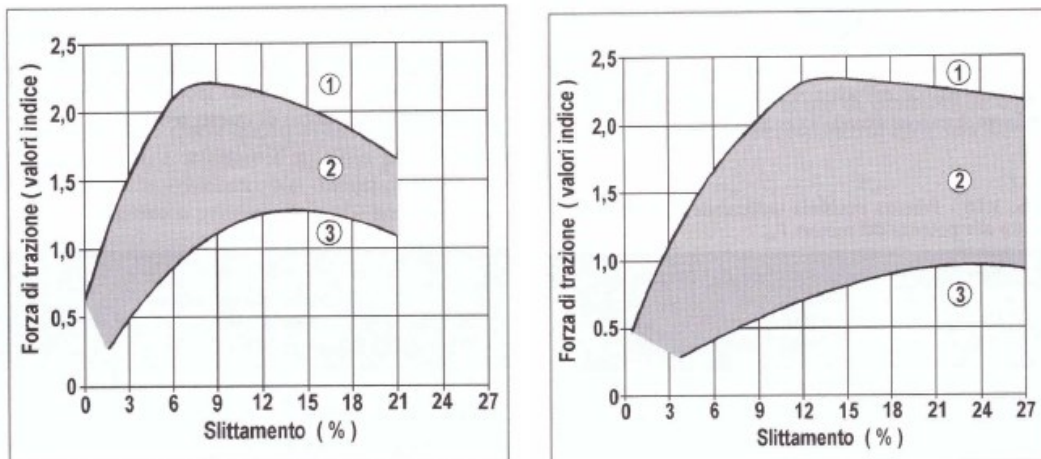


Figura 9 - Forza di trazione in funzione dello slittamento su trattori cingolati (sinistra) e gommati (destra); 1. strada pavimentata 2. cotica erbosa 3. stoppie (da Bodria, Pellizzi, Piccarolo, Meccanica Agraria - Volume 1)

- Un'ultima parte, definita η_i , è invece l'energia assorbita dal sistema idraulico per la messa in pressione del fluido. In condizioni di non utilizzo, si considera sempre un 4% per i sistemi a centro aperto (0% invece per i sistemi a centro chiuso); durante l'utilizzo reale, i picchi di richiesta idraulica possono arrivare anche al 35-40% della potenza motore. Solitamente questa potenza viene però calcolata, in quanto è riferita all'attrezzatura; in alcuni casi viene invece ignorata, questo dove l'utilizzo è sporadico (come ad esempio il pistone di ribaltamento di un aratro voltaorecchio).

L'efficienza globale del trattore è quindi data da

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_m} = \frac{P_m - P_m \cdot \sum \eta}{P_m}$$

ovvero dalla potenza utile (P_u) fratto la potenza motore (P_m). Solo la potenza utile risulta quindi disponibile alle attrezzature, erogabile alla presa di potenza o come potenza di traino (ovvero sforzo di traino per velocità di avanzamento). L'impianto idraulico, invece, normalmente non riesce ad erogare tutta la potenza disponibile del trattore, ma solo una quota parte. Questa quota dipende ovviamente dalla struttura dell'impianto idraulico del trattore stesso, in particolare dalla portata della pompa (correlata alla sua velocità di rotazione e alla cilindrata) e alla pressione massima raggiungibile.

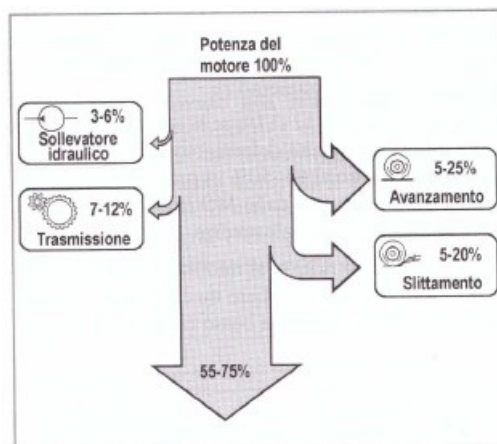


Figura 10 - Bilancio dinamico medio rappresentato in formato grafico (da Bodria, Pellizzi, Piccarolo - Meccanica Agraria, volume 1)

Metodologie di prova dei trattori

I costruttori di mezzi agricoli sottopongono tutti i loro nuovi prodotti ad una numerosa serie di verifiche e prove, al fine di verificare le sue caratteristiche funzionali. Molti di questi test si rendono obbligatori per ottenere l'omologazione della macchina, ovvero la possibilità di metterla in commercio e successivamente di immatricolarla per la circolazione stradale. Al momento, per il mercato Europeo è la Direttiva 167/2013 (definita Mother Regulation), unitamente ad una serie di regolamenti tecnici, a regolamentare queste prove.

Come anticipato, una serie numerosa di questi test è di tipo obbligatorio, e si rende necessario per conseguire le diverse certificazioni necessarie per la commercializzazione della macchina. Esiste poi tutta una serie di prove, di tipo volontario, alle quali le case costruttrici sottopongono i loro prodotti per qualificarli con un riconoscimento ufficiale che ne caratterizza le diverse prestazioni; a titolo di esempio si cita la prova OCSE codice 2 e la prova Powermix. Anche queste verifiche, pur essendo su base volontaria, sono adeguatamente normate da una serie di regolamenti tecnici. Una verifica di questo tipo rappresenta un plus sia per il produttore (che ne vede certificati gli aspetti operativi sostanziali) che per l'acquirente, che vede una sorta di garanzia sulle prestazioni e sull'utilizzo in sicurezza della macchina stessa.

I codici OCSE

L'Organizzazione mondiale per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) è un'entità sovranazionale il cui scopo è ridurre le barriere commerciali tra gli Stati membri e favorire la cooperazione multilaterale. Svolge prevalentemente un ruolo di assemblea consultiva, come occasione di confronto su esperienze politiche, problemi comuni, pratiche commerciali e sul coordinamento di politiche locali e internazionali.

Nata dopo la seconda guerra mondiale, principalmente per coordinare gli aiuti del piano Marshall in Europa, ha ricevuto un placet ufficiale nel 1961. Al momento conta 35 stati membri, e oltre 70 stati che in qualche modo hanno rapporti con l'organizzazione.

L'OCSE ha iniziato ad occuparsi di trattori agricoli già prima del placet ufficiale: il primo codice per i test sui trattori agricoli è infatti del 1959. Al momento sono in vigore 9 codici, ognuno destinato a particolari test. I codici permettono di condurre le prove in accordo a procedure armonizzate, spesso riprese dalla legislazione dei singoli paesi (ad esempio, sui test per le strutture di protezione, il Regolamento 167/2013 ha ripreso i singoli codici OCSE). Al momento i codici in vigore sono i seguenti:

- Codice 2 – Codice per le prove di verifica delle prestazioni (motore, idraulica, sollevamento, etc.)
- Codice 3 – Codice per la prova dinamica delle strutture di protezione ROPS (Rolling Over Protective Structure, Struttura di Protezione in caso di Ribaltamento)
- Codice 4 – Codice per la prova statica delle strutture di protezione ROPS
- Codice 5 – Codice per il rilievo di rumore dei trattori agricoli e forestali
- Codice 6 – Codice per la prova delle strutture di protezione ROPS montate sulla parte anteriore dei trattori a carreggiata stretta
- Codice 7 – Codice per la prova delle strutture di protezione ROPS montate sulla parte posteriore dei trattori a carreggiata stretta
- Codice 8 – Codice per la prova delle strutture di protezione ROPS montate sui trattori a cingoli
- Codice 9 – Codice per la prova delle strutture di protezione ROPS e FOPS montate sui telehandlers (Falling Object Protective Structure, Struttura di Protezione in caso di Caduta di Oggetti)
- Codice 10 – Codice per la prova delle strutture di protezione FOPS montate sui trattori

Il codice OCSE 2 (OECD standard Code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance)

Il Codice OCSE 2 è l'unico codice con una diffusione a livello mondiale standardizzato volto a valutare le performance d'utilizzo del trattore agricolo. Il codice prevede una serie di prove obbligatorie e una serie di prove facoltative, che ogni costruttore può richiedere alla singola stazione di prova.

Le prove obbligatorie sono volte alla verifica delle prestazioni erogabili dal trattore alla presa di potenza, dell'impianto idraulico e alla barra di traino. A queste si aggiungono le prove relative alla capacità di sollevamento. Le prove facoltative sono volte invece a valutare singoli aspetti molto specifici: ad esempio, la prova di resistenza all'acqua, le prestazioni alla puleggia (si tratta di una reminiscenza di prove effettuate diversi decenni fa, dove i trattori erogavano potenza anche tramite una puleggia esterna laterale), la prova di avviamento a bassa temperatura, etc.

Nelle prove obbligatorie è previsto il test della potenza erogabile alla pdp, per il tramite di un freno dinamometrico. Nella prova di potenza massima il regolatore dei giri (ovvero l'acceleratore) è regolato nella posizione di piena mandata; la prova ha una durata di un'ora, precedute da un periodo sufficientemente lungo di riscaldamento per ottenere condizioni di regime (ovvero temperatura di esercizio corretta del motore). La massima potenza riportata nel bollettino sarà la media delle letture fatte durante il periodo di prova; la norma richiede almeno 6 letture, con una variazione massima del 2%. Sono poi presenti delle prove in condizioni diverse, ovvero a carichi parzializzati. Queste si effettuano sia con il regolatore dei giri al 100% che con il regolatore dei giri parzializzato, quindi con una mandata parzializzata.

I test dell'apparato idraulico si eseguono anch'essi con l'acceleratore al 100%. All'inizio di ogni prova, la temperatura del fluido idraulico nel serbatoio sarà misurata e dovrà essere compresa tra 60 e 70°C. Se questa non può essere ottenuta, ad esempio causa presenza di un dispositivo refrigerante, la temperatura misurata

durante il test sarà riportata nel bollettino. Verranno riportati i seguenti risultati: la pressione mantenuta con la valvola di scarico aperta e a portata nulla in un sistema a centro chiuso con una pompa a portata variabile; il valore della portata della pompa alla minima pressione; la potenza idraulica disponibile per i servizi ausiliari agli attacchi rapidi, al valore di portata corrispondente ad una pressione idraulica equivalente al 90% della pressione che fa aprire al valvola di sicurezza nel circuito; la potenza idraulica massima disponibile per i servizi accoppiabili e la portata corrispondente di olio e pressione idraulica le pressioni alle quali la valvola di derivazione si apre e si chiude nel caso di un circuito chiuso provvisto di accumulatore.

Le forze di sollevamento sono determinate alle stegole inferiori e globalmente attraverso un dispositivo di aggancio scelto in base alla categoria dell'attacco del trattore.

A queste si aggiungono poi tutte le prove alla *barra di traino*, ovvero delle prove di trazione su di una pista normata, attraverso l'applicazione di un carro freno.

Punti di forza e di debolezza del Codice OCSE 2

Ovviamente, il codice OCSE 2 ha pregi e difetti. Il fattore più favorevole all'adozione del codice 2 è la sua universalità e ripetibilità. Il codice è liberamente disponibile, e quindi qualsiasi azienda opportunamente attrezzata può eseguire i test in proprio; è inoltre presente una rete a livello globale di stazioni di prova accreditate dall'OCSE per l'esecuzione di questi test, che rilasciano un "bollettino", ovvero un certificato, con validità in tutti i paesi aderenti all'OCSE e in tutti i paesi che ne riconoscono la validità scientifica. A questo si aggiunge la facile ripetibilità: le condizioni al contorno sono infatti ben determinate e standardizzate, per permettere appunto la ripetibilità del test sia nelle diverse stazioni che in diversi momenti; questo permette anche un facile confronto tra diversi trattori sottoposti allo stesso test. Inoltre, molti dei suoi test sono stati studiati per adattarsi alle reali condizioni di campo.

D'altra parte, questo è il fattore che gioca maggiormente a sfavore: i test eseguiti in laboratorio (banco prova e pista) non sono equiparabili a delle prove in pieno campo. Si tratta di un limite imposto dalle numerose variabili presenti nelle prove reali, che non consentono una codificazione atta a rendere ripetibili e comparabili i risultati. Tra tutte le prove, quelle che subiscono maggiormente questo problema sono quella in pista: l'aderenza sul cemento/asfalto è infatti notevolmente maggiore di quella in campo (coefficiente d'aderenza su asfalto 0.9-0.99; coefficiente d'aderenza in campo da 0.3 a 0.7). Molte prove inoltre, seppur studiate per adattarsi alle reali condizioni di campo, sono nate per trattori degli anni '60-'70 e non sono mai state modificate negli anni. Risultano inoltre molto limitanti le prove sull'impianto idraulico: vengono infatti testati a piena potenza sia il sollevatore che la portata di fluido idraulico alle altre attrezzature. Si tratta di situazioni poco reali, in quanto spesso le richieste delle attrezzature sono notevolmente inferiori ai massimi garantiti dal trattore, e per questo le prove sono poco aderenti alla realtà.

Metodi non standardizzati di accertamento delle prestazioni dei trattori agricoli

DLG Powermix – Germania: protocollo di prova, elaborazione dei dati e pubblicazione dei risultati

In Germania, all'inizio del 2000, la DLG (una importante associazione di agricoltori tedeschi che effettua test sulle macchine agricole) ha sviluppato un metodo per il test dei consumi di combustibile sulle macchine agricole, definito "Powermix". Questo metodo, nelle intenzioni degli sviluppatori, ha voluto superare uno dei problemi basilari del codice 2 (e di altri metodi di prova), ovvero l'esecuzione di prove di tipo statico.

Le basi del metodo Powermix sono fondate sulla definizione di cicli reali di lavoro, misurati nella realtà agricola Tedesca, e successivamente adattati per poterli ripetere in condizioni controllate. I ricercatori della DLG sono partiti dalle diverse lavorazioni agricole, identificandone 12 tra le più comuni nei campi tedeschi. Utilizzando un

trattore John Deere 6920s Autopower adeguatamente sensorizzato (misurazione in tempo reale di coppia alle ruote, agli assi, alla frizione, alla pdp; misura in tempo reale della potenza idraulica, della velocità di avanzamento, del consumo di combustibile e delle temperature dei fluidi) sono riusciti a rilevare precisamente l'impegno di potenza di ogni singola operazione, creando così dei *cicli standardizzati*.

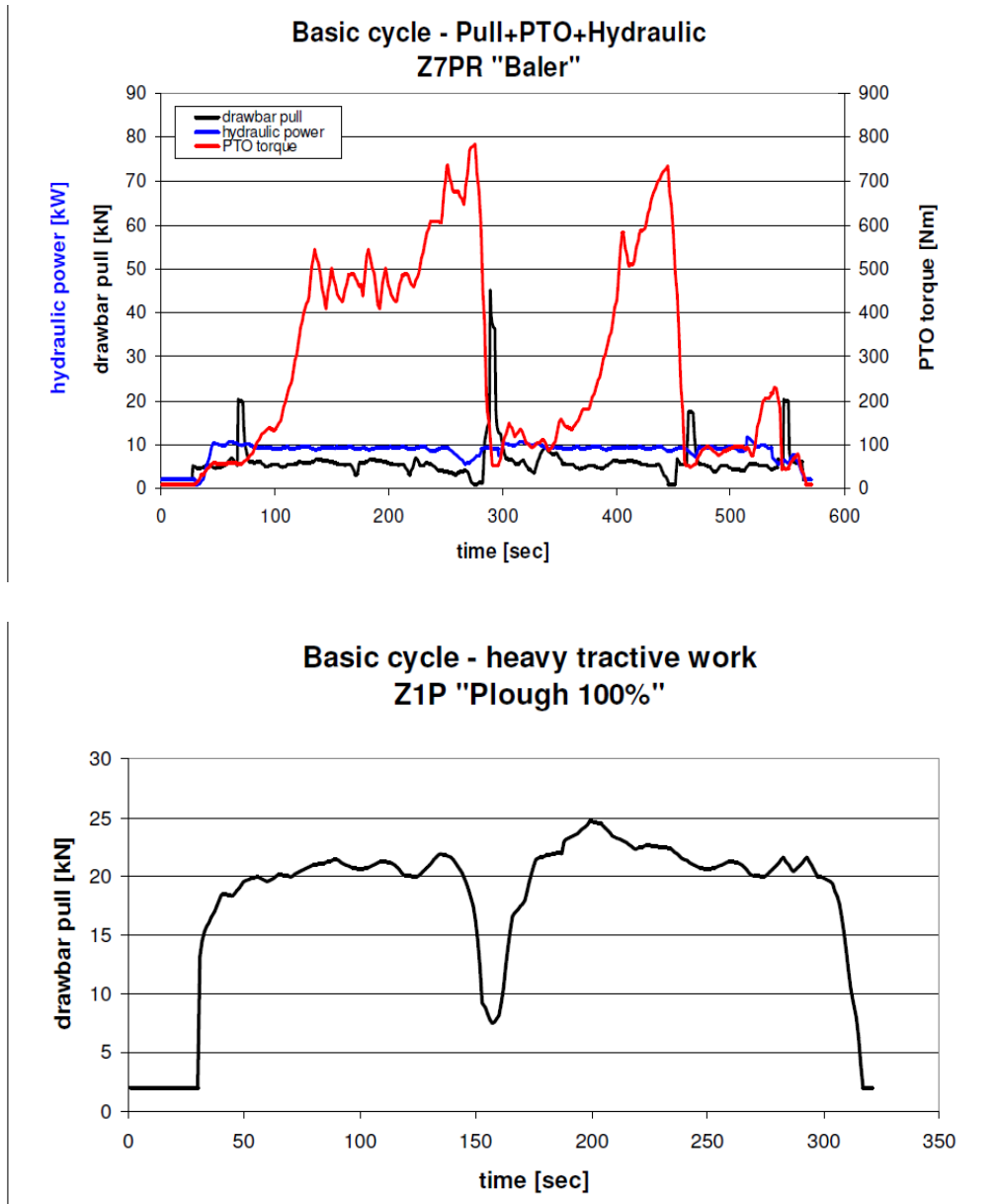


Figura 11 - Esempi di due cicli del metodo "Powermix"

Gli ingegneri della DLG hanno poi sviluppato un veicolo adatto alla frenatura e contestuale misurazione della potenza (al traino, alla pdp e idraulica) dei trattori. Si tratta, in particolare, di un autocarro MAN modificato per poter operare anche a basse velocità, in grado di frenare una forza di traino fino a 250 kN (corrispondenti ad una potenza motore di 450 kW circa alle velocità tipiche di test, ovvero circa 6,5 km/h); nel contempo, un freno motore elettromagnetico a correnti parassite viene collegato alla pdp del trattore, simulando così la potenza erogata alla pdp. In particolare questo freno è in grado di misurare potenze fino a 200 kW a 1000 giri/min. Anche la potenza idraulica viene misurata, sempre grazie ad uno specifico dispositivo che simula un carico gravante sull'impianto idraulico; questo dispositivo è in grado di misurare potenze fino a 100 kW. Il tutto è completato dalla misurazione in tempo reale dei consumi di combustibile, e di tutti i dati di temperatura e velocità.

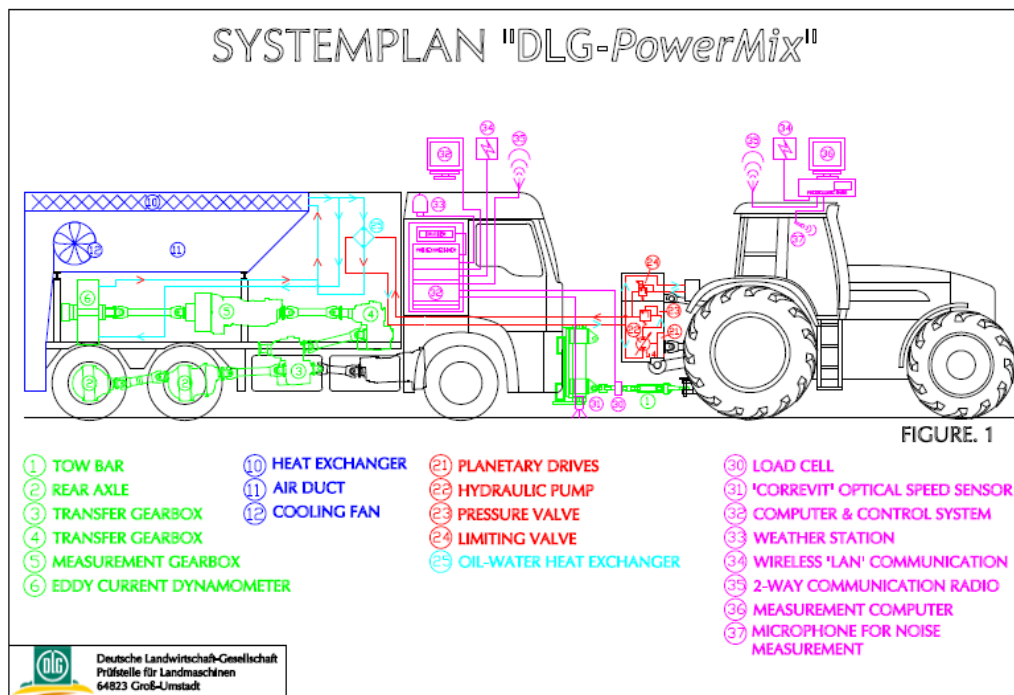


Figura 12 - Schema tecnico del carro freno della DLG

I trattori vengono sottoposti a queste prove in una pista ad anello, simulando così il più possibile le condizioni reali, ma con un controllo delle condizioni al contorno sicuramente superiore a quello possibile in campo. I trattori vengono sottoposti alle prove su base volontaria in seguito a richiesta del costruttore, non essendo questi test obbligatori per la commercializzazione, e i risultati dei test effettuati sono liberamente disponibili sul sito della DLG. Nei primi anni di operatività, venivano emessi dei bollettini con indicati i valori di potenza e consumo medi del singolo ciclo, e un valore unico finale dato dalla media di tutti i cicli. Attualmente i dati sono disponibili sul web, ed è presente una applicazione che permette all'agricoltore di scegliere le percentuali di uso dei singoli cicli, adattando così i valori ipotetici alle reali condizioni di uso della singola azienda agricola. Inoltre è possibile indicare anche il costo del combustibile e di eventuali fluidi aggiuntivi (come l'AdBlue) calcolando anche il costo di funzionamento del trattore stesso.

Punti di forza e di debolezza del DLG Powermix

Il metodo Powermix ha sicuramente degli indubbi punti di forza. Il più importante è la massima aderenza alla realtà agricola: seppur le prove vengono effettuate su una pista di asfalto (o su un circuito stradale di prova nel caso dei trasporti), i cicli applicati sono studiati per essere il più aderenti possibili alla realtà. D'altronde, eseguire queste prove realmente in campo sarebbe molto complesso e foriero di diversi errori (soprattutto nel confronto tra un trattore e l'altro) perché le condizioni al contorno non sarebbero controllabili. Le debolezze intrinseche di questo sistema, sono invece riferibili a due punti principali: l'elevato costo delle strutture di prova (l'autocarro modificato come carro freno in primis) e l'applicabilità dei cicli di prova solo a determinate condizioni colturali, tipiche dell'agricoltura centro-europea.

Efficienza energetica dei trattori agricoli

L'efficienza energetica di un qualsiasi sistema rappresenta la capacità di sfruttare l'energia ad esso fornito per soddisfarne i fabbisogni. Minori sono i consumi relativi al soddisfacimento di questo fabbisogno, e migliore risulta l'efficienza energetica del sistema. Efficienza energetica indica dunque la capacità di un sistema di ottimizzare il suo rendimento, consentendo dunque un risparmio energetico. Negli ultimi anni, l'attenzione del legislatore ad un utilizzo attento dell'energia è particolarmente elevata, per ridurre i consumi di energia, mitigare l'emissione di CO₂ e di altri "gas serra" e, in estrema sintesi, per cercare di prevenire i problemi ambientali ovuti al cambiamento climatico. Anche per l'utilizzatore finale, sicuramente meno attento agli aspetti ambientali, l'efficienza energetica è molto importante, in quanto inversamente correlata al consumo di combustibile, che è sicuramente una voce molto impattante del bilancio economico delle aziende.

Uno dei settori dove la politica energetica sta ottenendo maggiori risultati è sicuramente quello relativo alle automobili e ai veicoli da trasporto. La Direttiva Europea 99/1994 ha introdotto l'obbligo di informare gli acquirenti finali sui consumi di combustibile e sulle emissioni di CO₂ misurate su specifici cicli di utilizzo. Identiche classificazioni sono attualmente utilizzate, ad esempio, per gli elettrodomestici (in questo caso si intende ovviamente il consumo di energia elettrica). Per rendere ben visibile questa classificazione, viene tipicamente utilizzata una suddivisione in classi (ad esempio dalla A alla G, oppure codificate con diversi colori, dal verde al rosso) che identifica rapidamente al consumatore la classe di efficienza energetica del dispositivo.

Nell'ambito dei trattori agricoli, l'input energetico è dato dallo sfruttamento dell'energia chimica contenuta nel combustibile utilizzato per erogare una data potenza in un determinato tempo, e quindi l'efficienza energetica è inversamente correlata al consumo di combustibile: più un trattore ha un alto indice di efficienza

energetica, minore sarà il suo consumo di combustibile per sviluppare una identica quantità di lavoro.

Attualmente per i trattori agricoli non esistono obblighi di determinazione dell'efficienza energetica. Esistono diversi programmi volontari, alcuni a livello nazionale alcuni a livello sovranazionale, per informare l'agricoltore sull'efficienza energetica. Tra questi, uno dei più importanti è sicuramente l'Efficient20, organizzato dall'Unione Europea nell'ambito dei programmi Horizon 2020. Si tratta di un progetto disegnato per incoraggiare gli agricoltori a ridurre del 20% il consumo di energia entro il 2020.

Metodi di determinazione dell'efficienza energetica

L'efficienza energetica viene normalmente valutata come il consumo di energia (di qualsiasi tipo) per l'esecuzione di un ciclo standard, definito con delle apposite normative. Ad esempio, per le lavatrici il ciclo standard è una combinazione di lavaggi con i programmi "cotone a 60°C" a pieno carico e "cotone a 40°C" a mezzo carico; in più si considerano eventuali consumi di stand-by. La determinazione viene effettuata in laboratorio, utilizzando idonea strumentazione per il rilievo della potenza elettrica.

Per le automobili, l'efficienza energetica è indicata indirettamente, come consumo medio di combustibile per i cicli urbano ed extraurbano. Questi cicli, definiti da una normativa CE, la 100/1999, differiscono molto dalla realtà. Vengono infatti replicati in laboratorio, su banco a rulli, con una vettura rodada (almeno 3000 km percorsi), in ambiente a temperatura controllata (20°C) e con una pressione atmosferica prestabilita di 1 bar. Il veicolo deve essere dotato di pneumatici di serie e del guidatore a bordo. La simulazione del ciclo urbano prevede una prova di 195 s, con partenza a motore freddo, una velocità media di soli 19 km/h, un aumento di velocità a 50 km/h e due soste intermedie a motore al minimo. Il ciclo extraurbano prevede invece un test di 400 s, con velocità media di 63 km/h, e un picco di massima velocità a 120 km/h. Si tratta di situazioni ben distanti dalla realtà, che però

permettono un confronto diretto tra le diverse automobili, essendo condizioni ripetibili e ben controllate.

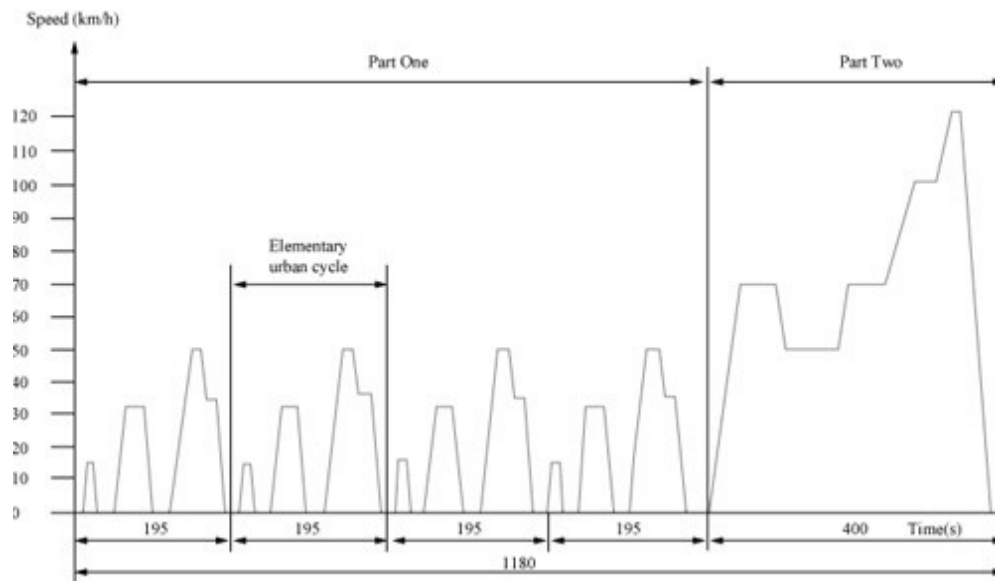


Grafico 2 - Esempio di ciclo di prova per le automobili

Impatto ambientale (emissioni gassose inquinanti)

Diversi organismi, come ad esempio l'Unione Europea o l'EPA hanno, da ormai diversi anni, in atto programmi per la riduzione delle emissioni gassose da parte dei motori per uso non stradale nel quale ricadono i motori per uso agricolo. In ambito Europeo, la Direttiva centrale del programma è la 68/1997. In particolare, la direttiva si propone di controllare i seguenti inquinanti:

- Monossido di carbonio (CO)
- Idrocarburi incombusti (HC)
- Ossidi d'azoto (NO_x)
- Particolato (PM)

Questi inquinanti, tipicamente espressi come g di inquinante (o milligrammi) per kWh di potenza erogata, sono normati dalla direttiva sopra riportata. L'applicazione è differenziata nel tempo, anche in base alla fascia di potenza del motore: si tratta dell'ormai ben conosciuto Stage di emissioni (corrispondente alla normativa

americana Tier, salvo che per i diversi tempi di applicazione). Per poter ricondurre i trattori all'interno di questi valori massimi, negli ultimi ai motori sono stati applicati diversi dispositivi: valvole EGR (ricircolo dei gas combusti), dispositivi SCR (riduzione catalitica selettiva degli ossidi d'azoto), filtri DPF (per il particolato, a rigenerazione passiva o attiva), catalizzatori DOC (per l'abbattimento degli incombusti).

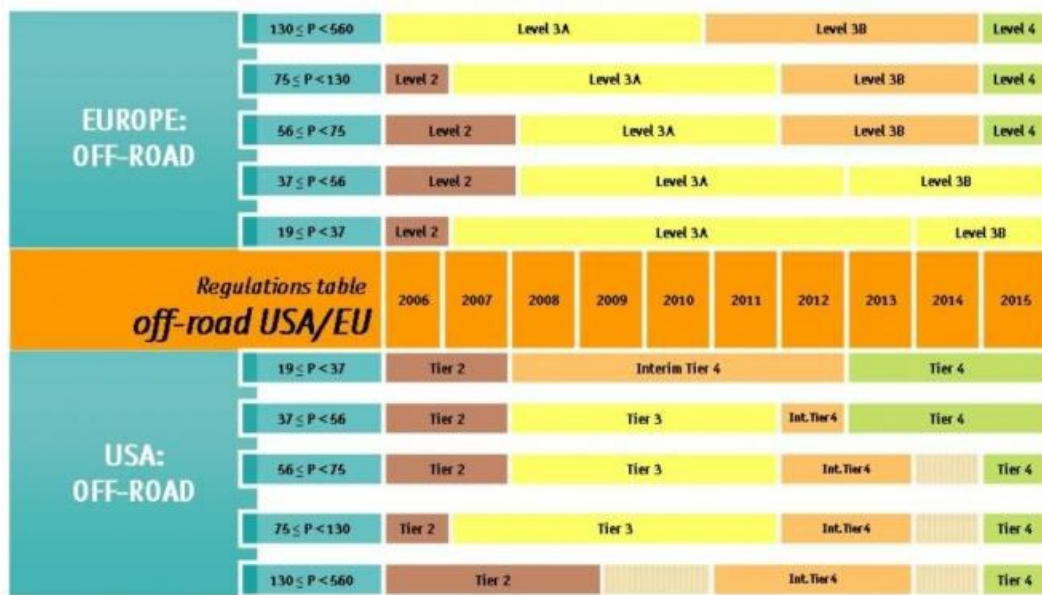


Figura 13 - Uno schema delle date di entrata in vigore dei diversi limiti normativi, classificati anche in base alla potenza

Impatto gestionale-economico

Dal punto di vista economico, essendo l'efficienza energetica inversamente correlata al consumo di combustibile, è questa la voce maggiormente impattante. Secondo vari studi (citati in bibliografia), il costo del combustibile nell'uso dei trattori agricoli varia dal 16% al 50%. Ad esempio, in US per i costi di combustibile e lubrificanti variano dal 16% al 45%; in Spagna si stima che il 53% circa dei costi variabili di un trattore corrispondono al consumo di combustibile. Appare quindi chiaro che il costo del combustibile è il più importante costo di impiego del trattore agricolo. Questo spiega

il grande interesse di molti Stati, ma anche degli agricoltori, verso l'istituzione di programmi per definire i consumi medi di combustibile.

L'interesse degli agricoltori è stato evidenziato da diversi studi, basati su interviste proposte ai singoli agricoltori. La maggioranza degli utilizzatori pensa che il consumo di combustibile sia il terzo fattore (in ordine di importanza) al momento dell'acquisto di un trattore; tendenzialmente, inoltre, i contoterzisti e le grosse aziende danno maggiore importanza a questo fattore, visto il maggiore utilizzo annuo del trattore stesso.

Metodi già in uso per l'accertamento dell'efficienza energetica

Tra i diversi paesi membri dell'OCSE già 3 Stati membri hanno adottato delle metodologie nazionali per il calcolo di un Indice di Efficienza Energetica (EEI), classificando in alcuni casi i risultati. In particolare le tre nazioni sono la Corea, la Spagna e la Turchia. Le metodologie si basano sui dati del Codice 2 OCSE o sui dati relativi alle prove di omologazione, ma solo la Spagna ha classificato tutti i trattori disponibili, creando così un programma di aiuti statali interni correlato all'efficienza energetica del mezzo.

La metodologia spagnola si basa su un'attenta analisi dei consumi specifici in punti ben precisi delle curve riprodotte al freno motore, sia a pieno carico che in 5 punti diversi delle curve "ai carichi parziali" ottenute dai test OCSE Codice 2. I test OCSE Codice 2 a partire dal 2005 riportano anche i dati di ulteriori 6 punti a carichi parzializzati: per rendere omogeneo il tutto, la metodologia spagnola utilizza delle equazioni di Grisso (Grisso et. al, 2004) per calcolare i consumi dei trattori senza queste prove. A queste prove si aggiungono anche dei dati relativi alle prove di trazione, adeguatamente aggiustati per tenere conto della tipologia di trasmissione (se tradizionale o powershift).

Il calcolo finale dell'indice di efficienza energetica introduce anche la percentuale media di utilizzo del trattore sulle diverse operazioni, ottenuta da statistiche del locale Ministero dell'Agricoltura.

La procedura tiene conto anche dei consumi di AdBlue nei trattori dotati di SCR. Al momento, la classificazione dei trattori è su 5 categorie, ma il governo Spagnolo vuole ampliarla a 7 classi, restringendo l'ampiezza della singola classe.

Tractor power HP	Time employed in each task (%)									
	Transport	Tillage	Sowing	Broadcasting	Treatments	Harvesting	Fixed equipment	Inside buildings	Forestry	Others
<30	24,36	20,59	6,24	9,27	7,58	20,29	0,61	7,46	1,38	2,22
30-49	24,42	29,91	4,61	7,94	10,84	14,14	2,05	3,50	1,20	1,39
50-69	21,90	28,85	7,15	9,01	7,80	15,72	2,73	4,41	0,90	1,53
70-89	20,37	32,62	8,95	8,06	7,53	12,98	3,13	3,94	0,67	1,75
90-109	18,57	37,79	12,20	7,06	6,07	10,41	2,14	3,15	1,98	0,63
110-129	16,33	39,17	12,46	8,80	2,79	10,38	5,53	2,10	1,87	0,57
130-150	19,57	45,11	12,01	7,87	2,33	8,06	1,22	1,83	0,00	2,00
>150	15,01	57,47	7,92	1,82	2,49	8,12	0,00	0,00	0,00	7,17

Tabella 3 - Percentuali di utilizzo del trattore in Spagna, suddivise in base alla potenza e alla lavorazione

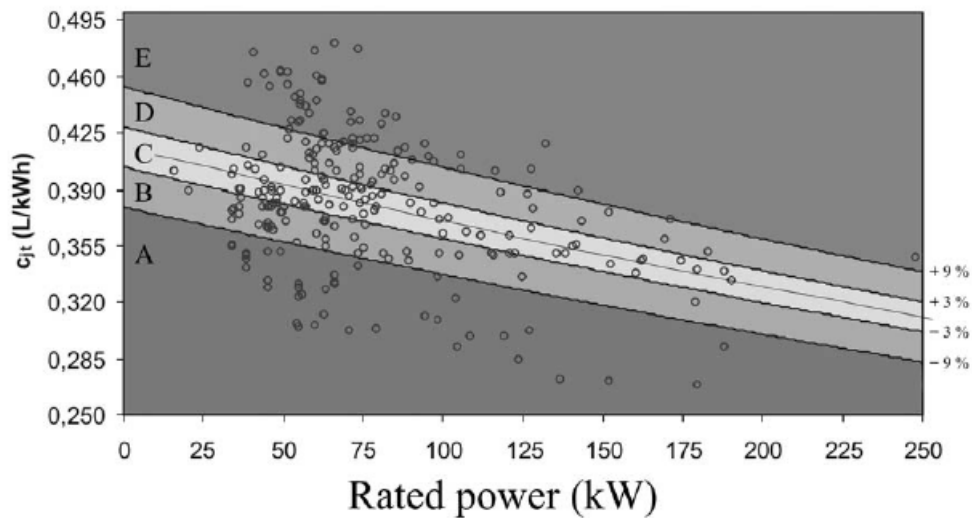


Grafico 3 - Risultato finale del calcolo dell'EEI con il metodo spagnolo

La Turchia utilizza un sistema del tutto simile, combinando sia i dati ottenuti dalle prove alla pdp che quelli ottenuti al traino, per ottenere un EEI finale. Anche in questo caso la classificazione è in 7 categorie, ed è allo studio una modifica per tenere conto delle diverse tipologie di trasmissione.

La metodologia coreana si basa su 4 prove, incluse nel codice 2, particolari: carico variabile al regime nominale con l'acceleratore al 100%; carico variabile alla velocità standard della pdp con acceleratore al 100%; carichi parziali con acceleratore parzializzato; performance al traino a 3 e 7,5 km/h. I diversi indici, ognuno correlabile ad un utilizzo del trattore, sono poi uniti con differenti pesi proprio per adeguarli al tipico utilizzo dei trattori in Corea.

Analizzando le tre metodologie previste, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Tutte le metodologie si basano sui dati liberamente disponibili del Codice OCSE 2 o relativi alle omologazioni UE
- Tutte le metodologie utilizzano i valori di consumo specifico (g/kWh) per calcolare l'EEI.

- Tutte le metodologie tengono conto sia dei valori di consumo nelle prove alla pdp, che dei valori durante le prove di trazione con carro freno (anche se la Spagna le usa solo per calcolare l'efficienza della trasmissione)
- La Spagna e la Corea adeguano i valori all'uso rappresentativo tipico dei trattori nei loro ambienti
- La Spagna è l'unica nazione a pubblicare una classificazione ufficiale in accordo all'EEI

Scopo del lavoro

Il presente lavoro nasce in seguito ad un'attenta analisi delle diverse metodologie per la determinazione dell'efficienza energetica dei trattori. Tra tutte le metodologie sviluppate, infatti, non ne esiste al momento nessuna specificatamente dedicata ai trattori da vigneto e frutteto. Sebbene di potenza limitata (fino ad un massimo di 100-110 CV circa), i trattori da vigneto e frutteto rappresentano infatti una buona percentuale del parco trattoristico, soprattutto in nazioni vocate alle colture specializzate come appunto l'Italia.

Non è da dimenticare al riguardo la notevole importanza che questo comparto ha sempre rivestito nel panorama trattoristico nazionale, sia per il notevole numero e le posizioni da leader che i costruttori italiani hanno sempre avuto in questo segmento del mercato mondiale dei trattori agricoli, sia per l'elevato interesse che queste macchine riscuotono nel nostro Paese, data l'intensa diffusione e il notevole impatto economico delle colture specializzate.

Il lavoro cercherà quindi di analizzare quelle che sono le condizioni d'uso tipiche dei narrow tractors, definendo dei cicli d'utilizzo riproducibili in condizioni controllate.

Particolare attenzione verrà data al consumo di combustibile nel suo impiego come centrale di potenza da erogare alla pdp, per via idraulica e in termini di forza di trazione (anche a carichi parzializzati), simulandone l'uso con la maggior aderenza

possibile all'effettiva realtà operativa, ipotizzando anche differenti livelli di impegno della macchina.

Il risultato finale vorrebbe essere una serie di valori (di tipo numerico o di simbologia equivalente) che consentano al potenziale acquirente di potersi documentare adeguatamente sulle caratteristiche prestazionali delle macchine provate in relazione alle prevedibili condizioni di lavoro della propria azienda, in modo da poter auspicabilmente selezionare il mezzo più idoneo a soddisfare le proprie esigenze.

Materiali e metodi

La definizione dei cicli di lavoro teorici

Una delle basi di partenza per l'analisi dell'efficienza energetica è ovviamente la definizione di cicli di lavoro teorici, da riprodurre in condizioni controllate (ovvero in laboratorio) per poter valutare con la maggiore uniformità i consumi di combustibile del singolo trattore. Questo permetterà poi di costruire dei database relativi ai diversi consumi, permettendo l'analisi successiva e la definizione delle classi di efficienza energetica.

La definizione dei cicli teorici parte ovviamente dal rilievo reale in campo durante delle lavorazioni tipiche. Per questo motivo la prima fase sperimentale si è basata su una analisi delle condizioni di funzionamento tipiche dei trattori da vigneto e frutteto, oggetto di questa tesi. Successivamente si è proceduto al rilievo dei cicli operativi reali, con la strumentazione di seguito descritta.

Terminata questa fase, si è proceduto alla definizione del ciclo teorico, analizzando i dati rilevati e confrontandoli con la potenza del trattore e la tipologia di attrezzature. Questo permette infatti di creare un ciclo standardizzato adattabile a trattori di diverse potenze; se non si eseguisse questo adattamento, infatti, si potrebbe incorrere in problemi relativi soprattutto al corretto accoppiamento trattore-attrezzatura. Un esempio pratico: se i rilievi sono stati eseguiti su un trattore di 40 kW con collegata una trinciasarmenti da 1,6 m di fronte di lavoro, lo stesso assorbimento di potenza su di un trattore da 70 kW creerebbe notevoli differenze nei risultati, peggiorando l'efficienza energetica del trattore più grande. L'inserimento di questa fase, invece, simula il collegamento, al trattore da 70 kW, di una trinciasarmenti con una larghezza superiore, paragonabile a quella facilmente gestibile dallo stesso trattore.

Strumentazione per il rilievo delle prestazioni in campo

Le diverse attrezzature utilizzate in ambito viticolo e frutticolo richiedono normalmente potenza che può essere fornita loro tramite l'albero cardanico, l'impianto idraulico e al gancio, ovvero come sforzo di trazione puro, sia singolarmente che in maniera combinata.

In realtà il rilievo degli sforzi di trazione, almeno nell'uso delle principali attrezzature da vigneto, può essere escluso. Sono poche infatti le attrezzature che richiedono sforzi di trazione, e tra queste per la maggior parte (come ad esempio un atomizzatore trainato) questo assorbimento di potenza può essere facilmente calcolato in base ai diversi dati disponibili in letteratura.

Per quanto riguarda il rilievo delle potenze trasmesse dalla presa di potenza del trattore (ovvero tramite l'albero cardanico), si è utilizzato un torsionmetro per l'analisi in tempo reale della coppia trasmessa e della velocità di rotazione, due parametri che vengono poi utilizzati per il calcolo della potenza trasmessa, con la formula:

$$P = C \cdot \omega$$

dove P è la potenza (w), C la coppia (Nm) e ω la velocità angolare (rad/s).

In particolare si è utilizzato un torsionmetro modello PTO 420 della Datum Electronics, con attacchi maschio/femmina da 1" 3/8 a 6 righe (tipicamente utilizzati sui trattori da vigneto). Si tratta di un dispositivo in grado di operare sia al regime di rotazione 540 min⁻¹ che a quello di 1000 min⁻¹, con una potenza massima misurabile di 101 kW a 540 min⁻¹ e di 188 kW a 1000 min⁻¹ (coppia massima 1800 Nm). L'alimentazione è garantita da due batterie da 12 V collegate in serie, per erogare 24 V totali al trasduttore e all'interfaccia elettronica (con un assorbimento massimo di 400 mA totali). La frequenza di campionamento può andare da 1 a 100 stringhe di dati rilevate al s; la struttura del torsionmetro è omologata IP54, ovvero protezione da polvere e da spruzzi d'acqua. L'interfaccia elettronica opera come visore diretto (mostrando potenza, coppia e velocità), e contemporaneamente può essere

collegata ad un PC via USB oppure registrare direttamente quanto misurato in un file di log su di una chiavetta USB.

Per quanto riguarda la potenza idraulica, la sua misurazione avviene normalmente valutando il flusso di olio idraulico e il differenziale di pressione tra mandata e ritorno. Per far ciò si utilizzano normalmente dei flussimetri dotati di anche di trasduttori di pressione, ovviamente collegati ad una interfaccia elettronica in grado di calcolare autonomamente la potenza trasmessa. Purtroppo, l'assenza di disponibilità di questa strumentazione non ha permesso il rilievo di questi dati in campo. Per ovviare a tale situazione, ci si è basati su dati reperiti in letteratura e su dati comunicati dai diversi costruttori di attrezzature.

Prove di laboratorio

Successivamente al rilievo dei dati di campo e alla redazione dei cicli teorici, il progetto sperimentale della tesi prevedeva una serie di rilievi in laboratorio, eseguiti su trattori nuovi. In questi rilievi, un freno motore e un freno idraulico sarebbero stati utilizzati per applicare il ciclo teorico al trattore, simulando così l'esecuzione di un'operazione di campo. Durante questa fase si sarebbe provveduto a monitorare i consumi istantanei e medi, sia di combustibile che di eventuali additivi (Ad-Blue ad esempio). Anche in questo caso, purtroppo, l'assenza di tale strumentazione presso la sede universitaria, e l'assenza di collaborazione da parte dei principali costruttori (contattati in merito e con la disponibilità delle attrezzature sopra descritte) non hanno permesso di applicare nella realtà ciò che è stato ideato.

Adozione di dati da report OCSE 2

Per il motivo sopra descritto ci si è trovati di fronte al problema di non poter costruire un database dei rilievi di laboratorio, andando così ad analizzare quelli che sono i consumi reali all'interno delle diverse lavorazioni, potendo poi così creare ed analizzare un indice di efficienza energetica. Si è quindi provveduto a ricercare un

percorso alternativo per poter avere a disposizione dei dati relativi ai consumi. In analogia a quanto già fatto da altri (si veda quanto descritto sopra per le prove effettuate in Turchia e Corea), si è deciso di utilizzare i dati dei report relativi alle prove del Codice 2 OCSE.

Ci si è ovviamente concentrati solo sui report disponibili relativi a trattori da vigneto e frutteto, che purtroppo non sono molti. Infatti, i test del Codice 2 sono effettuati su base volontaria, e raramente vengono testati trattori di questa tipologia. In particolare ci si è soffermati sul periodo 2011-2015, dove a fronte di 278 test totali solo 22 sono riferiti a trattori da vigneto/frutteto. Inoltre, molti di questi 22 test sono semplici variazioni di trattori disponibili con diversi sistemi di sterzata. I test effettivamente unici sono solo 11, e riguardano un panorama molto ristretto sia come potenze che come costruttori. Una parte molto importante per l'adozione dei dati relativi al Codice 2 è ovviamente la comparazione tra le potenze richieste nel ciclo teorico e quelle relative alle diverse prove effettuate nel codice 2. Per fare ciò si sono presi alcuni report redatti in conformità al Codice 2, in particolare selezionando trattori con potenza massima corrispondente all'incirca a quella del trattore utilizzato per le prove in campo. Si è quindi valutata la corrispondenza tra potenza rilevata nelle prove in campo e potenza rilevata nel test Codice 2, verificando inoltre la compatibilità della modalità di prova (con riguardo alla posizione dell'acceleratore).

Risultati e discussione

I cicli di prova

La prima attività è stata la definizione delle principali operazioni in vigneto/frutteto, ovvero le operazioni da indagare successivamente. Dopo attenta analisi della letteratura, e dopo una serie di analisi condotte direttamente presso aziende del settore (in questa prima fase si è trattato di analisi presso aziende agricole, volte semplicemente a comprendere le principali attrezzature utilizzate), si è deciso di prendere in considerazione le seguenti attrezzature:

- Pre-potatrice a secco
- Cimatrice
- Defogliatrice
- Irroratrice tradizionale
- Irroratrice “pneumatica”
- Spollonatrice meccanica
- Spandiconcime
- Trinciasarmenti
- Impolveratore
- Vendemmiatrice trainata

La scelta è ricaduta su queste attrezzature per diversi motivi: sono tra le più utilizzate in ambito viticolo e frutticolo; inoltre hanno richieste di potenza e utilizzi molto diversi. In virtù del ridotto uso in ambito specialistico, si è deciso di non tenere conto delle attrezzature dedicate alla lavorazione del terreno o al trasporto di materiali, vista anche la difficoltà nel replicare un ciclo di prova in laboratorio.

Rilievi dei cicli reali

I rilievi dei cicli reali si sono basati, come già anticipato, su di un unico strumento, ovvero il torsionmetro. Grazie alla disponibilità di alcune aziende agricole, è stato

possibile eseguire diverse prove sulle attrezzature maggiormente utilizzate dalle aziende stesse, ovvero atomizzatore e trinciasarmenti.

Il torsionmetro è stato collegato tra trattore ed attrezzatura, utilizzando un albero cardanico leggermente più corto del normale, per compensare la maggiore lunghezza del codolo data dalla presenza del dispositivo. Il misuratore viene montato lato trattore, fissandolo attentamente a dei punti solidi (tipicamente il castello del gancio di traino) con cavi di acciaio per evitare che il dispositivo inizi a ruotare falsando così la lettura. L'acquisizione dei dati è stata impostata, dopo alcune prove, ad un valore al secondo: si tratta infatti di un valore che genera una quantità di dati adeguata ad una successiva analisi. Il torsionmetro è stato ovviamente lasciato attivato anche durante le svolte di fine campo, in quanto i cicli di prova dovranno contenere anche questa fase.

Un esempio di ciclo rilevato è quello presentato nel grafico seguente.

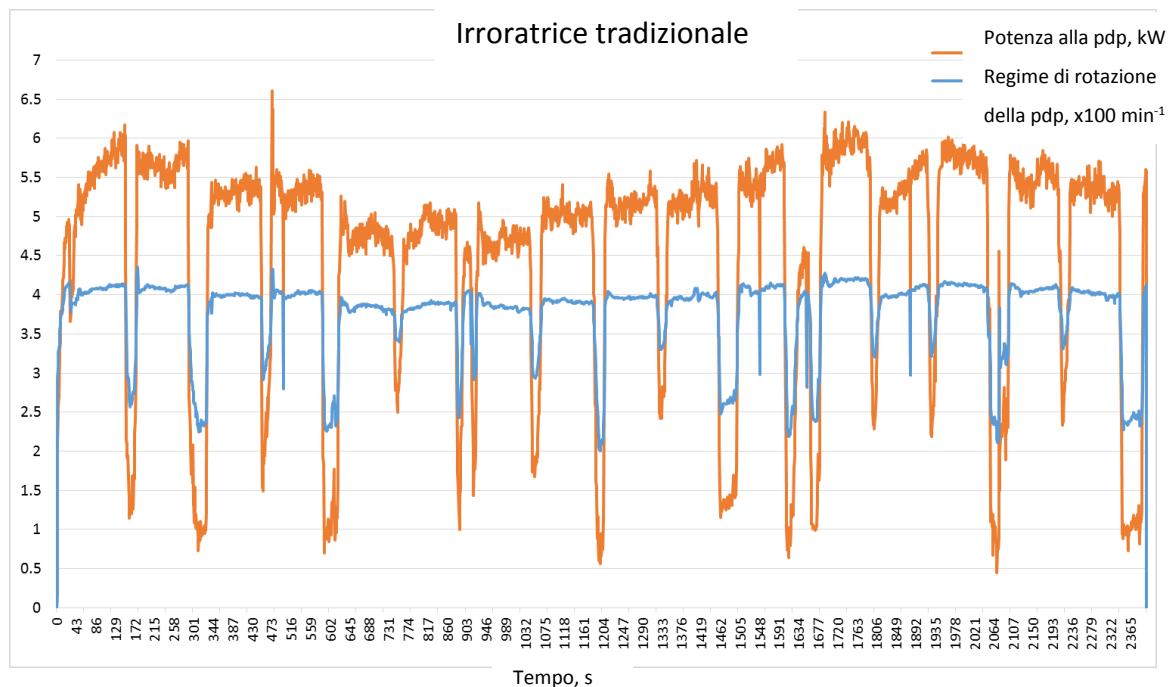


Grafico 4 - Rilevi in campo relativi all'irroratrice tradizionale

Si può facilmente notare come il regime di rotazione sia relativamente costante, mentre la potenza richiesta ha dei picchi elevati. I cicli singoli, ovvero le passate nei filari, si ripetono sotto il profilo della potenza richiesta con una certa costanza, interrotte solo da alcune manovre dove l'operatore ha accelerato a metà della manovra stessa in quanto richiesta una doppia manovra per rientrare nel filare.

In particolare, questo ciclo si riferisce ad un rilievo eseguito in un vigneto delle Colline Novaresi, più precisamente a Briona. Il trattore collegato era un Kubota M7040 Narrow, con una potenza motore di 51,5 kW, dotato di un motore a 4 cilindri da 3900 cm³. Al trattore era applicato un atomizzatore portato della Projet, modello Starmix 330, da 300 l di capacità, dotato di una pompa ad alta pressione (max 50 bar a 540 min⁻¹) della Annovi Reverberi a 3 pistoni e di una ventola assiale da 700 mm di diametro.

Il rilievo è stato effettuato in un vigneto con filari aventi una lunghezza di 92 m, e con un interfilare di 2,5 m, allevati a guyot semplice. La vegetazione occupava una fascia compresa tra 0,8 e 2 m da terra. I dati sono stati raccolti durante il trattamento, con l'utilizzo dell'atomizzatore ad una pressione in uscita di 9,5 bar e un regime di rotazione della presa di potenza di 400 giri/min. La potenza assorbita si è attestata su un valore medio di circa 5 kW come si può desumere dal grafico.

I rilievi in campo sono stati eseguiti purtroppo per poche attrezzature (vista la ridotta disponibilità di attrezzature presso l'azienda tester), in particolare solo per l'irroratrice tradizionale e per la trinciasarmenti. In più, un problema tecnico durante i rilievi effettuati sulla trinciasarmenti non hanno permesso di registrare i dati, che sono stati trascritti manualmente sulla base dei valori visualizzati sul display del torsionmetro.

Per quanto riguarda invece le attrezzature non oggetto di prove reali, i dati relativi agli impegni di potenza e al regime di rotazione della pdp sono stati estratti da diversi contesti: attraverso un'attenta analisi bibliografica, attraverso l'analisi di articoli tecnici apparsi sulla stampa specialistica ma anche attraverso analisi della documentazione tecnica prodotta dai diversi costruttori (fonti citate in bibliografia).

Costruzione dei cicli teorici

A partire dal ciclo reale, misurato in campo o tramite analisi bibliografica, si è passati alla costruzione di un ciclo teorico, ovvero di un'alternanza di periodi di potenza massima (simulanti la fase lavorativa) e di potenza ridotta (simulanti la fase di svolta).

Un esempio lo si può vedere nel grafico seguente.

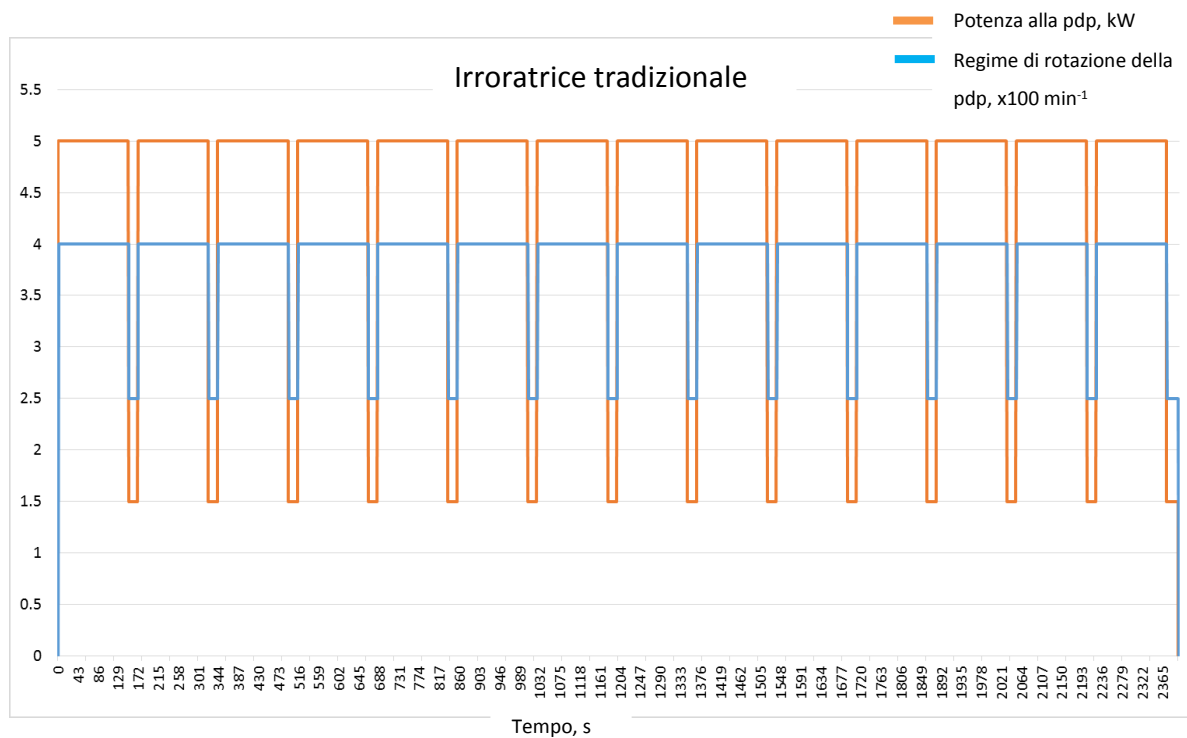


Grafico 5 - Il grafico teorico relativo all'irroratrice tradizionale

In questo grafico si vede come sono stati eliminati tutti i picchi, portando a valori medi (e costanti) di potenza erogata e di regime di rotazione. Si tratta di un ciclo facilmente ripetibile "al banco", ovvero tramite un freno motore. In realtà i moderni freni motore possono operare anche con cicli più complessi, ma si è deciso di optare per un ciclo semplice da riprodurre, permettendo così l'esecuzione di prove anche tramite procedure completamente manuali. Per ottenere un numero di dati congruo, e permettere anche la stabilizzazione dei consumi, il ciclo prevede una ripetizione di

14 fasi da 170 s l'una, composte da 150 s di lavoro e 20 s di svolta. Un test completo ha quindi una durata totale di circa 40 minuti: questo permette di valutare con precisione il consumo di combustibile, sia tramite dispositivi collegati direttamente (flussimetri) sia tramite il più semplificato metodo del "pieno su pieno".

Visto il ridotto numero di prove in campo eseguite, si è deciso di ampliare l'analisi bibliografica per valutare le richieste di potenza delle diverse attrezzature.

Per molte attrezzature si ritrovano sui depliant dei dati assolutamente non congruenti con l'effettiva richiesta di potenza: questo in quanto il costruttore consiglia l'accoppiamento con trattori di potenza più elevata per sfruttare la maggiore massa garantendo così piena stabilità al mezzo. In alcuni casi si è quindi proceduto ad un calcolo della potenza necessaria partendo dai dati di pressione e portata idraulica richiesta.

E' questo il caso della spollonatrice: le classiche spollonatrici meccaniche, secondo i costruttori (depliant tecnici VBC, FA-MA Pruning e Colombardo), richiedono dai 10 ai 40 l/min di olio ad una pressione di 100-150 bar. Si tratta di dati molto variabili, ma che portano mediamente (25 l/min a 125 bar), ad una richiesta di potenza di circa 6 kW. Medesimo calcolo è stato eseguito per cimatrice, defogliatrice (entrambe richiedono circa 8 kW in base ai dati medi dei principali costruttori) e per la prepotatrice a dischi (che arriva a richiedere 40 l/min a 180 bar circa, dati tecnici Pellenc).

Anche per quanto riguarda le potenze richieste dalle attrezzature collegate alla presa di potenza si è fatto riferimento principalmente ai dati tecnici disponibili sui vari depliant tecnici dei costruttori. L'unica eccezione è l'irroratrice tradizionale, dove sono state eseguite prove di rilievo diretto su di un esemplare, come sopra indicato. Per l'irroratrice pneumatica il dato finale di 40 kW emerge da un confronto tra diversi depliant tecnici (

Nel seguente grafico sono riassunte le potenze massime richieste dalle diverse attività. In arancione le attrezzature che richiedono potenza idraulica, in grigio quelle che richiedono potenza alla pdp. Si noti come è presente un'estrema variabilità, passando da 5 a 40 kW di potenza richiesta.

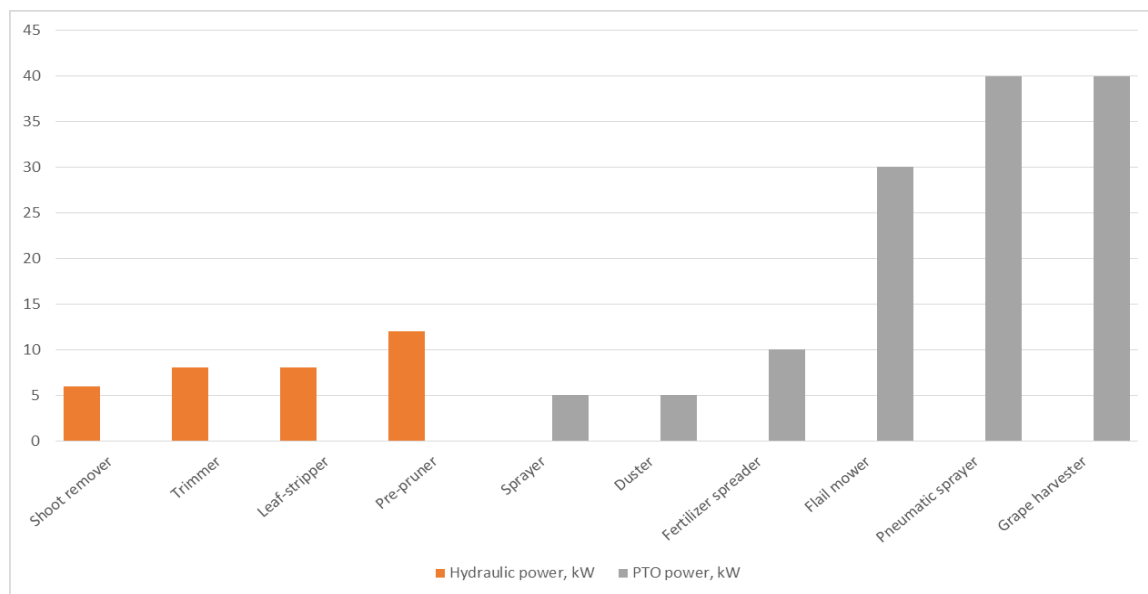


Grafico 6 - Grafico riassuntivo delle potenze richieste dalle varie attrezzature

L'utilizzo dei risultati dei codici 2

Come già anticipato, purtroppo l'assenza di disponibilità da parte dei costruttori di trattori da vigneto, non ha permesso di poter provare in laboratorio i cicli teorici costruiti in seguito ai rilievi in campo.

Si è quindi deciso di analizzare le prestazioni energetiche attraverso dei dati liberamente disponibili: per fare ciò, si è optato ovviamente per i report compilati in conformità al Codice OCSE 2, per i vantaggi già prima descritti.

La prima fase è stata ovviamente dedicata al raffronto tra i cicli ottenuti e le diverse modalità di prova disponibili nel codice 2, riferendosi principalmente a 3 parametri: potenza erogata, regime motore (e quindi pdp) e posizione dell'acceleratore.

I maggiori problemi si sono trovati nell'analisi delle potenze idrauliche: il codice 2 prevede infatti un'unica prova idraulica, alla massima potenza. Si è quindi deciso di assimilare la potenza idraulica a quella erogata dalla pdp, anche se questo non è proprio tecnicamente corretto. Infatti, sebbene sia la potenza alla pdp che quella idraulica dipendano dal regime motore (in quanto sia il codolo della pdp che la pompa idraulica sono collegate direttamente al motore), queste dipendono in maniera ovviamente diversa.

In sintesi, 4 condizioni di prova sono state considerate, ognuna delle quali relazionata a uno o più cicli di prova, come si evince dalla tabella sottostante.

Condizione di prova codice 2	Ciclo
Potenza massima	Irroratrice pneumatica Vendemmiatrice
Potenza massima al 25% dell'85% della coppia misurata al regime di rotazione standard	Irroratrice tradizionale Impolveratore Spollonatrice
Potenza pari all'80% della potenza massima ottenuta al regime di rotazione standard; ottenuta con l'acceleratore al 90%	Trinciasarmenti
Potenza pari al 40% della potenza massima ottenuta al regime di rotazione standard; ottenuta con l'acceleratore al 60%	Spandiconcime Defogliatrice Cimatrice Pre-potatrice

Tabella 4 - Tabella di raffronto tra i cicli teorici e i cicli previsti dalla prova OCSE Codice 2

Si sono quindi raggruppate tutte le informazioni relative ai report disponibili su di un unico foglio excel. Come si può facilmente notare, il consumo specifico (espresso in g/kWh) aumenta al diminuire della potenza erogata: questo è facilmente spiegabile in quanto quando il motore è maggiormente impegnato gli autoconsumi (provocati dall'attrito interno, dalle varie parti meccaniche interessate alla trasmissione del moto, etc), sono meno impattanti. Tanto che il punto dove si trova il consumo specifico minimo è ottenuto sulla curva di massima potenza, più precisamente tra la massima potenza e la massima coppia erogabile.

Operazione	Consumo specifico, g/kWh										
	Trattore 1	Trattore 2	Trattore 3	Trattore 4	Trattore 5	Trattore 6	Trattore 7	Trattore 8	Trattore 9	Trattore 10	Trattore 11
Spollonatrice	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Cimatrice	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Defogliatrice	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Pre-potatrice	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Irroratrice tradizionale	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Impolveratore	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Spandiconcime	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Trinciasarmenti	281	288	299	287	375	318	292	312	270	280	267
Irroratrice pneumatica	289	305	307	314	293	323	285	315	252	284	271
Vendemiatrice	289	305	307	314	293	323	285	315	252	284	271
Media	364	337	402	408	429	457	400	462	329	363	345

Tabella 5 - Tabella riassuntiva dei consumi specifici dei trattori

Modalità di calcolo delle prestazioni energetiche

Il foglio di cui sopra, ovviamente da implementare continuamente in seguito alla disponibilità di nuovi dati ottenuti da report relativi alle prove codice 2, è la base di partenza per la determinazione delle prestazioni energetiche, ovvero di un “Energy Efficiency Index”.

L’Energy Efficiency Index, come già detto nell’introduzione, altro non è che un consumo medio di energia per l’esecuzione di un ciclo di lavoro standard. In questo caso abbiamo a disposizione diversi cicli di lavoro standard, per ognuno dei quali è già previsto un consumo medio. Ma l’agricoltore non utilizza il trattore per un’unica operazione (o almeno sono molto rari quelli che fanno così). Si rende quindi necessario definire quindi quello che può essere definito come un “utilizzo medio” del trattore: non si può infatti banalizzare il tutto mediando semplicemente i valori dei singoli cicli.

Si sono quindi stimati i diversi impegni temporali, principalmente attraverso l’analisi temporale dell’operatività in campo di alcune aziende tipo. In particolare si è ottenuta una suddivisione temporale come riportato dalla tabella successiva.

Utilizzo temporale	
Spollonatrice	5%
Cimatrice	10%
Defogliatrice	5%
Pre-potatrice	5%
Irroratrice tradizionale	20%
Impolveratore	10%
Spandiconcime	5%
Trinciasarmenti	15%
Irroratrice pneumatica	20%
Vendemmiatrice	5%
<i>totale</i>	<i>100%</i>

Tabella 6 - Tabella degli utilizzi temporali

Nulla vieta ovviamente di variare questi valori: anzi, l'idea finale della presente tesi è quella di mettere a disposizione degli agricoltori un strumento informatico in grado di indicare i migliori trattori in base all'operatività reale dell'agricoltore, che lui stesso caricherà su questo strumento.

Al momento tale possibilità è offerta da un foglio di Microsoft Excel, dove l'agricoltore può variare le percentuali di utilizzo del trattore ricalcolando quindi le sue prestazioni energetiche medie. Unendo le due tabelle sopra indicate, si ottiene la tabella successiva.

Utilizzo temporale		Consumo specifico, g/kWh										
		Trattore 1	Trattore 2	Trattore 3	Trattore 4	Trattore 5	Trattore 6	Trattore 7	Trattore 8	Trattore 9	Trattore 10	Trattore 11
Spollonatrice	5%	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Cinatrice	10%	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Defogliatrice	5%	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Pre-potatrice	5%	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Irroratrice tradizionale	20%	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Impolveratore	10%	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Spandiconcime	5%	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Trinciasarmenti	15%	281	288	299	287	375	318	292	312	270	280	267
Irroratrice pneumatica	20%	289	305	307	314	293	323	285	315	252	284	271
Vendemmiatrice	5%	289	305	307	314	293	323	285	315	252	284	271
	100%											
	Media	378	338	416	426	445	462	401	465	340	378	361

Tabella 7 - Tabella riassuntiva dei consumi specifici dei trattori, pesati in base all'utilizzo

Come si può notare, la media è diversa da quella matematica prima determinata, essendo questa una media ponderata basata sugli utilizzi temporali. In tutte le tabelle fino ad ora mostrate non è mai inserita la potenza motore del trattore: questo perché tutte le prove sono condotte in modo tale da essere perfettamente confrontabili anche potenze diverse.

I risultati sono interessanti: a parità di utilizzo si passa infatti da un consumo specifico medio di 338 g/kWh ad uno di ben 465 g/kWh. Un aumento di oltre il 37%, che si ripercuote ovviamente sui costi di gestione del trattore.

La tabella, come detto prima, è facilmente modificabile. Si ipotizzi ad esempio un utilizzo intensivo, tipico da contoterzista: 30% di cimatrice, 50% di irroratrice pneumatica e 20% di vendemmiatrice. I valori variano notevolmente rispetto ai precedenti, questo perché c'è un maggior peso a cicli dove il consumo specifico è più basso. Si passa da un minimo di 255 g/kWh ad un massimo di 347 g/kWh.

Interessante anche notare come cambi sia il trattore più efficiente che quello meno efficiente rispetto all'esempio di prima. Se prima il trattore più efficiente era il numero 2, ora il per il contoterzista sarebbe più idoneo l'acquisto del numero 9; il numero 2 è addirittura a 310 g/kWh.

Utilizzo temporale	Consumo specifico, g/kWh										
	Trattore 1	Trattore 2	Trattore 3	Trattore 4	Trattore 5	Trattore 6	Trattore 7	Trattore 8	Trattore 9	Trattore 10	Trattore 11
Spollonatrice	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Cinatrice	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Defogliatrice	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Pre-potatrice	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Irroratrice tradizionale	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Impolveratore	551	396	621	658	660	667	556	674	489	562	541
Spandiconcime	281	320	310	297	337	402	367	414	261	273	254
Trinçasarmenti	281	288	299	287	375	318	292	312	270	280	267
Irroratrice pneumatica	289	305	307	314	293	323	285	315	252	284	271
Vendemmiatrice	289	305	307	314	293	323	285	315	252	284	271
	100%										
	Media	287	310	308	309	306	310	345	255	281	266

Tabella 8 - Tabella riassuntiva dei consumi specifici dei trattori, pesati in base ad un altro utilizzo

Definizione delle classi energetiche e classificazione dei modelli esaminati

Come spesso succede, però, un singolo numero, soprattutto se non immediatamente confrontato con altri, non dice molto all'utente finale. Si rende quindi indispensabile, come effettuato in molti altri casi, una definizione delle diverse classi energetiche, per poter facilmente confrontare i risultati ottenuti dal foglio di calcolo sopra indicato.

Si è deciso di optare per l'introduzione di 7 classi, dalla A alla G, differenziate tra di loro per un intervallo di 30 g/kWh. Si tratta di una decisione puramente arbitraria, e ovviamente soggetta a futuri adeguamenti, anche in base al ridotto campione di trattori che è stato in questo momento analizzato.

A titolo di esempio, si riportano i grafici relativi alle tabelle sopra inserite.

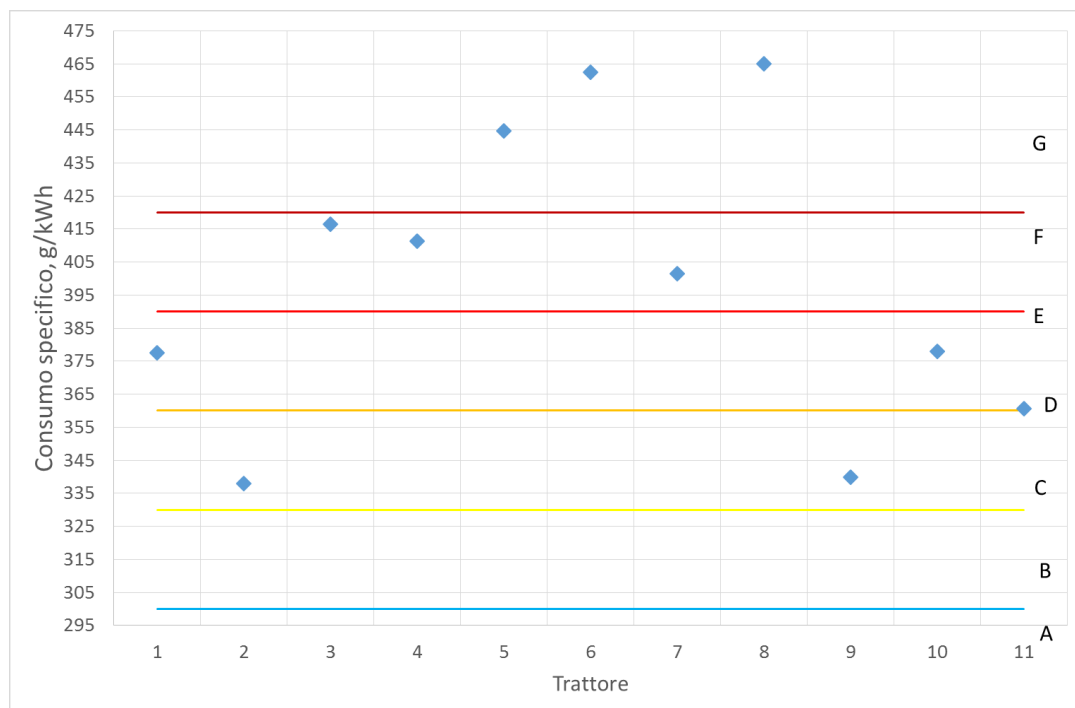


Grafico 7 - Classificazione energetica degli 11 trattori basata sulla media ponderata "per uso normale" di consumo specifico

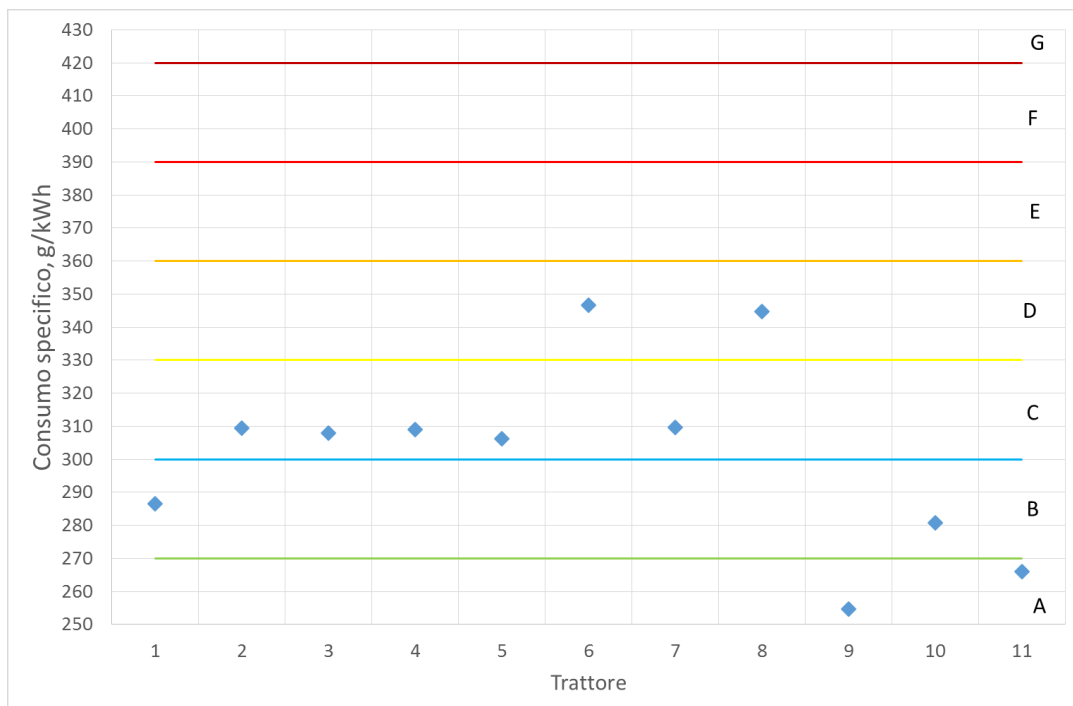


Grafico 8 - Classificazione energetica degli 11 trattori basata sulla media ponderata “per uso pesante” di consumo specifico

Nei due grafici sopra riportati le classi energetiche sono fisse (a partire da 270 g/kWh, al di sotto del quale il trattore è in classe A, per arrivare al di sopra di 420 g/kWh, classe G). Le classi energetiche fisse permettono di avere un riferimento standard e sempre valido, ma ovviamente creano qualche problema al variare dei tempi di utilizzo. Infatti, come già spiegato, se l'utilizzo temporale del trattore è orientato verso applicazioni “pesanti” i consumi specifici scenderanno notevolmente. Si tratta quindi di un sistema che permette il confronto diretto tra identici tempi di utilizzo, ma non tra modalità di utilizzo diverse.

Conclusioni

In conclusione, il progetto sviluppato durante questa tesi ha avuto lo scopo principale di offrire all'utente di trattori specializzati diversi indici riguardanti l'efficienza energetica (e quindi, indirettamente, i possibili costi di gestione) dei trattori stessi in diverse condizioni operative, tipiche del settore viticolo e frutticolo.

Durante le diverse fasi del progetto, ci si è accorti di quanto il panorama dei trattori da vigneto/frutteto (un prodotto tipico delle industrie italiane, dove si concentra la maggior produzione di questi modelli) è poco analizzato nella bibliografia, soprattutto dal punto di vista dei consumi. Come già detto, l'assenza di alcune strumentazioni molto importanti, ha permesso di analizzare solo parzialmente l'utilizzo reale del trattore, potendo così ottimizzare solo pochi cicli. D'altra parte, la disponibilità di alcuni dati in letteratura (sia scientifica che tecnica) ha permesso di sopperire a questa mancanza, ottenendo alla fine i cicli relativi alle principali attrezzature.

Successivamente, questi cicli reali avrebbero richiesto una fase di validazione in laboratorio, per verificare l'effettiva riproducibilità al banco prova, verificando nel contempo anche i consumi. Purtroppo l'assenza di questa strumentazione presso i laboratori dell'Università, e la mancata collaborazione da parte dei diversi costruttori non hanno permesso di ottemperare questa fase.

Per questo motivo si è cercata una possibile alternativa, trovata nei dati del codice OCSE 2. Questi dati sono infatti ottenuti attraverso procedure standardizzate e facilmente ripetibili. Un'attenta analisi delle modalità di prova del codice ha permesso di confrontare queste con i cicli di prova teorici analizzati; purtroppo la corrispondenza non si è ottenuta in maniera ottimale, vista la quasi completa assenza di dati relativi alle prestazioni del sistema idraulico, analizzato dal codice 2 solo alla massima potenza. Inoltre il ridotto numero di trattori da vigneto e frutteto provati (solo 11 negli ultimi 5 anni) secondo il codice 2 non ha permesso la creazione di un database sufficientemente ampio per una validazione completa del metodo. Si è comunque ottenuto un buon risultato di partenza, vista anche l'organizzazione del

report per una facile modifica dei tempi di utilizzo relativi alla singola operazione. L'agricoltore può infatti variare facilmente la percentuale del singolo utilizzo in base a quelle che sono le sue realtà operative, adattando così i risultati del database e ottenendo la macchina più efficiente per la sua specifica realtà.

Il futuro

Futuri approfondimenti del lavoro dovranno sicuramente riguardare tutte le fasi. Si dovrà infatti implementare l'analisi reale delle diverse lavorazioni, con una misurazione puntuale delle potenze assorbite da diverse attrezzature (anche della stessa tipologia ma con capacità operative differenti), ricreando dei cicli teorici più affidabili possibili.

Inoltre, la fase critica sarà quella per l'ottenimento dei dati reali da prove di laboratorio riferite ai cicli, e non più ai soli dati del codice 2. Si rende necessaria quindi l'acquisizione della costosa strumentazione (freno motore, freno idraulico, dispositivo di misurazione dei consumi), oppure una profonda opera di persuasione nei confronti delle diverse aziende produttrici, tutte dotate di questa strumentazione al loro interno.

Si ritiene poi importante anche ottimizzare il database, creando un software apposito con un database periodicamente aggiornato, e in grado di guidare l'agricoltore nella compilazione del suo "uso tipico".

Inoltre, è ovvio che il consumo di combustibile, per quanto sia uno dei fattori principali che guidano l'agricoltore nella scelta del trattore, non è sicuramente l'unico. Dal punto di vista ambientale potrebbe essere utile analizzare anche le emissioni di gas in atmosfera, misurandole con l'apposita sensoristica (opacimetri, sonde lambda, etc.) durante le prove di laboratorio.

Questi dati, confrontati tra loro su di un utilizzo medio ragionato, potrebbero essere utilizzati anche come base per l'erogazione di sussidi in agricoltura: come già avviene in molti altri settori o in altri paesi, dove le macchine maggiormente efficienti (sia

come consumi che come emissioni) sono finanziate dai Piani di Sviluppo Rurale, soggette a defiscalizzazioni o comunque oggetto di contribuzione pubblica.

Bibliografía

- Degrell O, Feursten T. (2011) DLG-PowerMix, a practical tractor test. Part I & II. DLG, Gross Umstadt, Germany.
- Lacour S., Langle T., Hocquel M., Chaintreuil O. Descloux S., Vigier F. (2009) Evaluation des performances energetiques des tracteurs utilises en agriculture. CEMAGREF, SIMA (Paris)
- Munoz-Garcia M.A., Ortiz-Canavate J., Gil-Sierra J., Casanova J., Valle A. (2012). New classifications of tractors according to their energy efficiency, CIGR AgEng, Valencia.
- OECD (2007). Development of indexes to classify agricultural tractors according to their energy efficiency, Paris.
- OECD (2012). Energy efficiency classification of agricultural tractors in turkey based on OECD tests, Paris.
- OECD (2012). Energy Efficiency Indexes (EEI) applied to agricultural tractors. Background note/Literature review, Paris.
- OECD (2013). Energy efficient indexes (EEI) applied to agricultural tractors, Paris.
- Grisso R., Perumpral J., Vaughan D., Roberson G.T., Pitman R. (2010). Predicting tractor diesel fuel consumption. Virginia Cooperative Extension.
- Grisso, R. D., M. F. Kocher, and D. H. Vaughan. 2004. Predicting tractor fuel consumption. *Applied Engineering in Agriculture* 20(5): 553-61.
- Grisso, R. D., D. Vaughan, and G. Roberson. 2008. Fuel prediction for specific tractor models. *Applied Engineering in Agriculture* 24(4): 423-28.
- Urbano Lopez de Meneses B. (2012). Characterization of farms for the machinery potential energy save and efficiency. *Bulletin UASVM Horticulture* 69(2)
- Moitzi G., Haas M., Wagentristl H., Boxberger J., Gronauer A. 2012. Specific energy consumption and field performance in poloughing and cultivating. Power and machinery. International conference of Agricultural Engineering. CIGR AgEng 2012.
- Ortiz-Cañavate, J., Gil-Sierra, J., Casanova-Kindelán, J., & Gil-Quirós, V. (2009). Classification of agricultural tractors according to the energy efficiencies of the engine and the transmission based on OECD tests. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(4), 475.
- Howard, C. N. (2010). Testing fuel efficiency of tractors with both continuously variable and standard geared transmissions.
- Grisso, R., D. Vaughan, J. V. Perumpral, G. T. Roberson, R. Pitman, and R. M. Hoy. Using Tractor Test Data for Selecting Farm Tractors. VCE publication 442-072.
- Grisso, R. D., M. F. Kocher, and D. H. Vaughan. 2004. Predicting tractor fuel consumption. *Applied Engineering in Agriculture* 20(5): 553-61.

- Grisso, R. D., D. Vaughan, and G. Roberson. 2008. Fuel prediction for specific tractor models. *Applied Engineering in Agriculture* 24(4): 423-28.
- Gil-Sierra, J., J. Ortiz-Cañavate, V. Gil-Quirós and J. Casanova-Kindelán. (2007). Energy Efficiency in Agricultural Tractors: A Methodology for their classification. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(2): 145-150.
- Harris, H. D. (1992). Prediction of tractor engine performance using OECD standard test data. *Journal of Agricultural Engineering Research* 53(3): 181-193.
- Bodria L., Pellizzi G., Piccarolo P. (2006). *Meccanica Agraria – Volume I e Volume II*. Edagricole.
- Baldini E., Intrieri C. (2004). *Viticultura meccanizzata*. Edagricole.
- Lazzari M., Mazzetto F. (2005). *Prontuario di meccanica agraria e meccanizzazione*. Reda edizioni.
- Biondi P. (1999). *Meccanica Agraria*. UTET edizioni.
- OECD Standard Code for the official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance. CODE 2. Edizione 2014 e 2016.
- Depliant tecnici dei seguenti marchi:
 - Antonio Carraro
 - BCS
 - Carraro Agricube
 - Deutz Fahr
 - Fendt
 - Goldoni
 - Landini
 - New Holland
 - Pasquali
 - SAME
 - Tanesini
 - Valpadana
 - VBC
 - Volentieri Pellenc