

## L'innovazione del motore Diesel in agricoltura

### I. PREMESSA

Il motore Diesel prende il nome dal suo inventore, l'ingegnere Rudolf Diesel, nato a Parigi da genitori tedeschi nel 1858 e scomparso nel 1913. La formazione ingegneristica di Diesel avviene al Politecnico di Monaco sotto la guida del professor Karl Linde, tra i più grandi esperti in termodinamica del momento a livello mondiale.

Conseguita la laurea, inizialmente si dedica alla realizzazione di un motore a vapore sfruttando come fluido l'ammoniaca. I deludenti risultati lo spingono ad approfondire gli studi sul motore endotermico ad autoaccensione, motore nel quale l'accensione della miscela aria-combustibile non avviene per effetto di una scintilla, come nel motore a scoppio di Otto e Lagen, bensì a seguito del surriscaldamento prodotto dalla forte compressione dell'aria.

Nel febbraio del 1892 Diesel deposita il suo brevetto dal titolo *Progetto e funzionamento di un motore a gas povero*. L'anno successivo approfondisce la descrizione del motore da lui brevettato attraverso la pubblicazione del trattato su: *Teoria e costruzione di un motore termico razionale in sostituzione della macchina a vapore e dei motori a combustione esterna oggi noti*, illustrando e completando i contenuti del suo brevetto.

Nel 1896 realizza un prototipo di motore Diesel della potenza di 13 kW (17,8 CV) che, nel 1897, riceve da parte dell'Università di Monaco il prestigioso riconoscimento di motore endotermico più efficiente mai utilizzato fino ad allora. Il rendimento termico infatti è del 30%. Questo riconoscimento riscuote una risonanza a livello mondiale e le principali industrie del settore ne

\* Presidente dell'Accademia di Agricoltura di Torino

1876	Otto e Lagen presentano il motore a scoppio a 4 tempi a benzina – ciclo Otto – (Germania)
1889	Costruzione del primo trattore con motore a scoppio (USA)
1892	John Froelich, antenato della John Deere, costruisce il trattore con motore a ciclo Otto (USA)
1892	Rudolf Diesel deposita il brevetto del motore a ciclo Diesel (Germania)
1893	Rudolf Diesel pubblica il suo libro su <i>Teoria e costruzione di un motore termico razionale</i> (Germania)
1896	Primo prototipo di motore a ciclo Diesel con potenza di 17,8 CV del suo inventore (Germania)
1905	Lo svizzero Büchi brevetta il sistema che darà vita al turbo compressore (Svizzera). Il turbo compressore viene introdotto sui trattori a partire dal 1970
1910	Debutto del motore a scoppio con valvole di ammissione comandate
1917	Ford lancia il trattore FORDSON a châssis monoblocco, 100.000 unità prodotte nel periodo 1917-1925 (USA)
1917	Pavesi costruisce il primo trattore a 4 ruote motrici (Italia)
1921	La Lanz costruisce il LANZ BULLDOG con motore a testa calda (Germania)
	La Munktels produce il modello 22 HK con motore a testa calda (Svezia)
1922	Primo trattore con motore a ciclo Diesel BENZ-SENDLING (Germania)
1923	Robert Bosch realizza una pompa di iniezione di precisione (Germania)
1925	Le ditte Bubba e Oreglia di Piacenza sono le prime in Italia a costruire il trattore con motore a testa calda (Italia)
1927	Landini inizia la costruzione della fortunata serie di trattori con motore a testa calda a cui si accompagnano quelli di OM, Orsi, Breda, ecc. (Italia)
1927	I fratelli Cassani di Treviso, fondatori della SAME, costruiscono per primi in Italia il trattore con motore a ciclo Diesel a 2 cilindri orizzontali
1938	Introduzione della iniezione diretta nei motori per trattori a ciclo Diesel – sistema MAN – (Germania)
1938	Ferguson presenta il sollevatore idraulico dotato di attacco a tre punti con controllo dello sforzo (Inghilterra)
1948	Diffusione del raffreddamento ad aria del motore a ciclo Diesel per trattori – dal 1950 tutti i trattori della Deutz sono raffreddati ad aria – (Germania)
1954	Introduzione del cambio “Power Shift” (USA)
1980	Debutto dell’elettronica sui trattori
1988	La Magneti Marelli brevetta il sistema di alimentazione unijet (Italia)
1996	Lancio mondiale del motore “commonrail” per auto di serie sviluppato dal gruppo Fiat e industrializzato dalla Bosch nel 1994 (Italia-Germania)

Tab. 1 *Breve cronologia del motore a ciclo Diesel per le macchine agricole*

acquisiscono la licenza di costruzione. La presentazione ufficiale del prototipo avviene all'esposizione internazionale di Parigi.

La morte misteriosa avvenuta nel 1913 impedisce a Diesel di vedere l'affermazione del suo motore che, a partire dal 1914, nel corso della prima guerra mondiale, diventa il propulsore di sommergibili, navi, aerei e veicoli corazzati.

Soltanto nel 1923, quando Robert Bosch realizza una pompa di iniezione di precisione, viene avviato a soluzione il problema a cui Diesel si era inutil-

mente applicato e cioè la possibilità di utilizzare per le autovetture il motore da lui ideato. Viene così aperta la strada per l'applicazione del motore a ciclo Diesel non solo alle automobili, ma anche ai trattori agricoli e agli altri semoventi.

## 2. L'IMPIEGO DEL MOTORE ENDOTERMICO IN AGRICOLTURA

### 2.1 *Evoluzione dell'applicazione*

Il motore che sul finire del 1800 sostituisce quello a vapore nelle macchine agricole è il motore a scoppio, a cui, nei primi 30 anni del 1900 si affiancano il motore a testa calda (semidiesel) e il motore a ciclo Diesel (tab. 1).

Il motore a scoppio viene brevettato dall'ingegnere tedesco Nikolaus August Otto nel 1876, il cui ciclo di funzionamento prende il suo nome (motore a ciclo Otto). È inizialmente definito motore a esplosione perché, quando la miscela tra i vapori della benzina (o petrolio) e dell'aria va a contatto con la scintilla prodotta dalla candela si incendia con grande rapidità (esplode). Il consumo specifico a pieno carico è di 340-400 g/kWh (250-300 g/CVh) per i motori a 4 tempi, più elevato per quelli a 2 tempi alimentati a miscela.

I primi trattori con motore a ciclo Otto vengono realizzati in USA a partire dal 1889. Il motore viene avviato generalmente a mezzo di una manovella collegata all'albero motore. Quando il motore è freddo occorrono 2-3 giri di manovella per ottenere l'avviamento; se il motore è già caldo è sufficiente mezzo giro. Per i motori con cilindri aventi diametro superiore ai 120 mm, è necessario l'inserimento di un apparecchio di decompressione.

I trattori azionati da questo motore appaiono sul mercato europeo intorno al 1910. La macchina che trova una forte affermazione però è il Fordson realizzato nel 1917, ma voluto da Henry Ford fin dal 1905. Un trattore che risponde alla sua filosofia industriale e cioè una macchina realizzabile in grande serie, solida e a prezzo contenuto. La soluzione è opera del progettista di origine ungherese Eugene Farkas a cui si deve l'invenzione, ancora oggi adottata, del "carro portante", ottenuto con l'unione degli organi meccanici in luogo del telaio. Soluzione che riduce non solo la massa, cioè meno di 50 kg/kW (64 kg/CV), ma anche il costo di costruzione.

Il primo Fordson ha la sigla F, ha una massa di 1229 kg, ha le ruote in ferro, monta un motore alimentato a petrolio con 4 cilindri in verticale (4149 cm<sup>3</sup>) che sviluppa una potenza di 14 kW (19 CV) a 1000 giri/min. La potenza specifica di 3,4 kW/l (4,6 CV/l) è circa 1/10 di quella dei moderni motori



Fig. 1 *Trattore Fordson F (1917)*

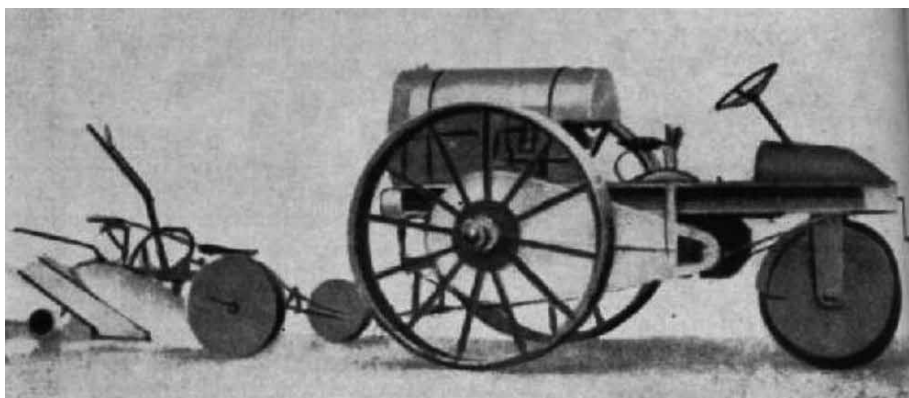


Fig. 2 *Trattore Baroncelli*

Diesel. È dotato di 3 marce in avanti e 1 in retromarcia, con una velocità massima di 12,8 km/h (fig. 1). Al primo, siglato F, seguono altri modelli di potenza superiore ed esportati ma anche prodotti in Europa per un totale di 100.000 macchine messe sul mercato dal 1917 al 1935.

Fabbriche di trattori sorgono in pochi anni in Germania, Inghilterra, Francia e anche in Italia, dove il primo trattore viene costruito dalla ditta Baroncelli di Ravenna nel 1912; macchina avente due ruote motrici poste-

riori e una sola anteriore di sterzo (fig. 2). Nel 1917 l'ingegner Pavesi inizia la costruzione dei trattori P4, i primi a 4 ruote motrici e, l'anno successivo, la FIAT inizia la costruzione della fortunata serie di trattori 700. Il modello 702 è azionato da motore alimentato da petrolio agricolo: la potenza a 1200 giri/min è pari a 25 kW (35 CV).

Il primo trattore con motore a testa calda (detto semidiesel) nasce in Gran Bretagna nel 1896 a opera della ditta Homsby. Ha una potenza di 15 kW (20 CV) e la sua massa è di ben 20 tonnellate. La macchina non ha seguito.

Il passaggio ai trattori azionati da motore a testa calda, inizia praticamente nel 1921 quando la Casa Enrico Lanz di Mannheim (Germania) avvia la costruzione del trattore Lanz Bulldog a cui seguono altri modelli. Nello stesso anno la Munktells (Svezia) mette sul mercato il modello 22 Hk con motore bicilindrico erogante 19 kW (26 CV). Le ditte Bubba e Oreglia di Piacenza sono i primi costruttori italiani di trattori con motore a testa calda, seguiti nel 1927 da Landini e anche da OM, Orsi, Breda e altri ancora (figg. 3, 4).

I motori a testa calda sono alimentati con oli pesanti e hanno un ciclo di funzionamento intermedio tra il ciclo Otto e il ciclo Diesel. La principale caratteristica è quella di avere la testa del cilindro munita di una calotta di acciaio al cromo-nichel (testa calda) che non viene, a differenza delle pareti del cilindro, raffreddata dalla circolazione dell'acqua (fig. 5). Il motore a testa calda più impiegato per i trattori è quello a due tempi nel quale il ciclo si completa non in quattro fasi ma in due e, quindi, con un solo giro dell'albero motore. Il consumo specifico è simile a quello del motore a scoppio a 4 tempi. L'avviamento si ottiene riscaldando fortemente, per 5-10 minuti, la testa del cilindro generalmente mediante una lampada per saldare. Ottenuto l'avviamento le successive combustioni mantengono la temperatura necessaria per ottenere l'accensione.

Dopo il semidiesel si fa strada il motore a ciclo Diesel, brevettato nel 1892 da Rudolf Diesel. Nel 1921, in Germania, viene realizzato il Benz Sendling, primo trattore azionato da motore Diesel ad alta compressione. Malgrado l'elevato rendimento termico, sia per l'alto costo di costruzione, sia per la concorrenza del trattore Fordson, la macchina non si afferma. (fig. 6). Si tratta di un motore a due cilindri con precamera per una potenza di 18,5 kW (25 CV) al regime di 800 giri/min. Il merito della prima applicazione di successo del motore a ciclo Diesel ai trattori spetta ai fratelli Cassani di Treviglio (fondatori della SAME) che, nel 1927 progettano e fanno costruire un trattore a due ruote motrici metalliche azionato da motore a ciclo Diesel a 2 tempi, alimentato a olio pesante (fig. 7).

Nel 1931, in USA, la Caterpillar applica al trattore un motore a ciclo



Fig. 3 *Trattore Bubba*

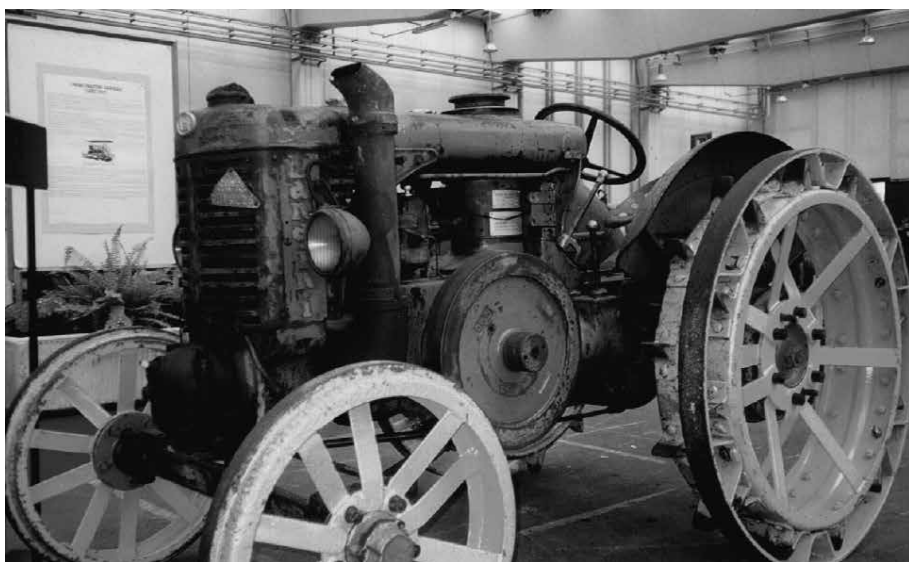


Fig. 4 *Trattore Landini*

Diesel con iniezione meccanica, realizzando tre modelli a 2,4 e 6 cilindri, con potenza massima a 700 giri/min, rispettivamente, di 26 kW (35 CV), 37 kW (50 CV) e 55 kW (75 CV).

Nel 1938 in Inghilterra l'irlandese Ferguson presenta il sollevatore idraulico dotato di attacco a tre punti, aprendo così la strada "all'idraulica" applicata

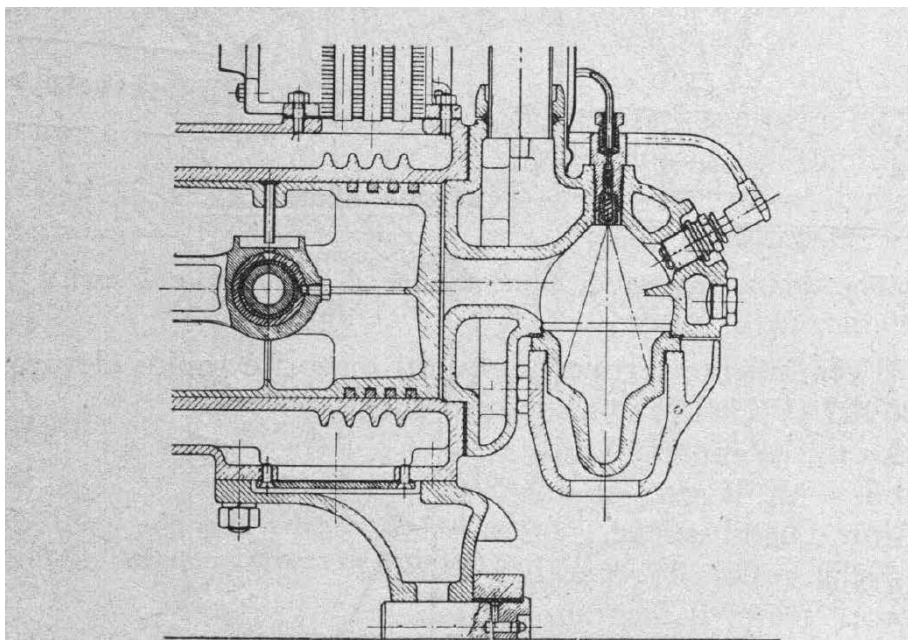


Fig. 5 Schema di motore a testa calda (da Irianni)

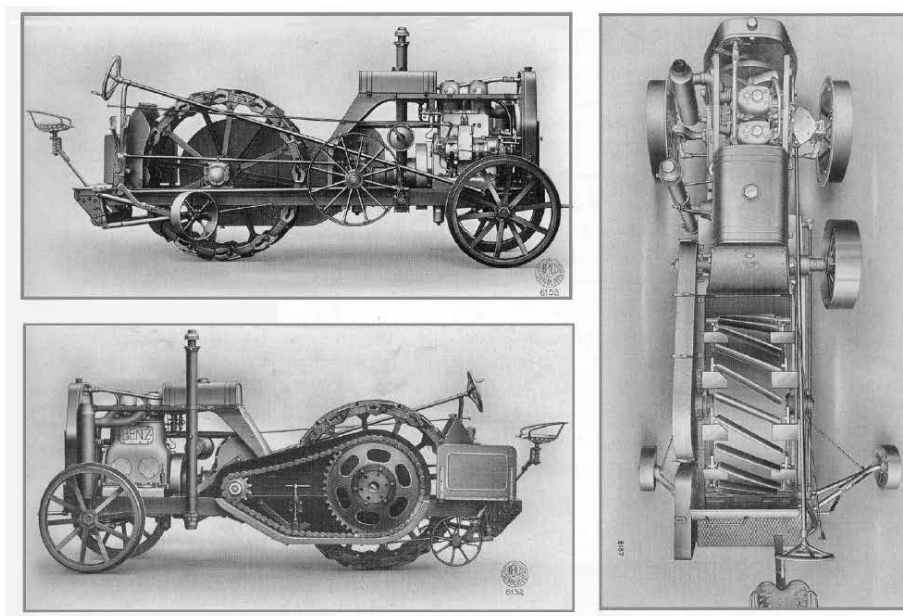


Fig. 6 Trattore Benz Sendling (da Renius)



Fig. 7 *Trattore Cassani*

alle macchine agricole. L'impianto idraulico, negli anni, viene fortemente innovato con l'introduzione dei sistemi di regolazione e di controllo in grado di gestire, non solo il sollevatore, ma anche molte altre funzioni della macchina, dalla trasmissione allo sterzo.

Negli stessi anni, in Italia, la Breda introduce l'avviamento elettrico al motore a ciclo Diesel a 2 tempi e a iniezione diretta, con due cilindri verticali, per una potenza di 29,5 kW (40 CV) a 1000 giri/min. Nel 1939 la Fiat monta il motore Diesel sul modello 40, mentre nel 1946 il motore a ciclo Diesel a iniezione diretta viene applicato al modello 50. La tendenza all'impiego del motore Diesel si diffonde non solo tra i costruttori italiani ma anche in Europa e in USA dove però, grazie al basso prezzo del petrolio, il ricorso ai motori a ciclo Otto per potenze non elevate permane per più tempo.

## 2.2 *La situazione agli esordi della motorizzazione*

Da una pubblicazione del 1919 dal titolo *Il problema della motocultura e la trattrice agricola Fiat*, edita dalla Federazione Italiana dei Consorzi agricoli di



Piacenza e riprodotta in ristampa anastatica nel 2007 da parte della Società Agraria di Lombardia, è possibile farsi un'idea della motorizzazione italiana all'uscita dalla prima guerra mondiale.

Il problema urgente di quegli anni è quello della sostituzione del lavoro animale, specie nell'operazione di aratura, a cui la macchina a vapore non risulta adeguata per diverse ragioni. Nel 1914 l'Italia dispone di circa 720 grossi apparecchi di aratura fra trazione diretta e funicolare, capaci di arare circa 90 ha di terreno. Si stima che i 2000 trattori dati all'agricoltura nel triennio 1915-1918, nell'ipotesi che ognuno possa effettuare l'aratura di 100 ha/anno, potrebbero arare non più di 200.000 ha. Da qui l'esigenza, come si sostiene nella pubblicazione, di avere molti più trattori in agricoltura.

L'attenzione nel testo viene infatti volta ai possibili impieghi, in sostituzione del lavoro animale, del trattore Fiat, la cui realizzazione da parte della casa torinese è iniziata, come si è già visto, nel 1918. Si rileva così come, «in caso di aratura profonda con monovomere in terreni compatti, si deve ritenere che la Fiat trattrice possa vincere con tutta regolarità di marcia una resistenza pari a quella che saprebbero vincere da 4 a 6 paia di buoi, a seconda della loro taglia. Ma la macchina cammina a circa tre volte tanto di velocità, per cui, a parità di tempo, la trattrice FIAT compie lo stesso lavoro di 12-18 paia di buoi. Praticamente i terreni compatti, mediamente si possono arare a 35-40 cm di profondità da 900 a 1000 metri quadrati all'ora, con un consumo di circa 6-8 chilogrammi di petrolio a seconda della resistenza di terreno».

Nel secondo dopo guerra la situazione è decisamente cambiata. La fase di sperimentazione e di prova sui trattori azionati da motore endotermico è finalmente superata e prende avvio la fase della motorizzazione dell'agricoltura nazionale che deve fare fronte non solo alla sostituzione del lavoro animale, ma anche alla fuga di manodopera dalle campagne.

In merito al motore a ciclo Diesel va detto però che ancora nel 1948 sussistono dubbi sulla validità di tale propulsore, e la preferenza è ancora data ai trattori con motore a testa calda. L'affermazione dei motori a ciclo Diesel, in sostituzione di quelli a ciclo Otto e a testa calda nel comparto trattoristico nazionale inizia dopo gli anni '50 del secolo scorso. Nel 1951, nelle macchine nuove di fabbrica, per la prima volta la motorizzazione Diesel è prevalente sulle altre. Infatti il motore Diesel rappresenta il 42,5% del totale, contro il 40,5 % del motore a scoppio e il 17% di quelli a testa calda.

Del resto, già alla fine degli anni '40 del secolo scorso, il professor Culpin, riferendosi alla situazione della Gran Bretagna, evidenzia la convenienza economica dell'impiego del motore Diesel rispetto a quello a scoppio non solo per i trattori di elevata potenza ma anche per quelli di medio-piccola potenza.

Infatti, con riferimento a un trattore con potenza pari a 22 kW (30 CV) dimostra come il consumo specifico a carico elevato (85%) passi da 440 g/kWh (329 g/CVh) del motore a scoppio ai 308 g/kWh (230 g/CVh) per quello Diesel, con un risparmio di combustibile del 30%, che sale al 32% quando il carico del motore scende al 45%. Nell'ipotesi di considerare l'intera vita del trattore ipotizzata in 10.000 ore di lavoro per un carico medio del motore del 50%, il maggior consumo del motore a scoppio rispetto al Diesel risulta di 22.421 litri. In termini economici tale differenza, in ragione del maggior prezzo della benzina e del petrolio, si dimostra ancora più significativa. Infatti il risparmio del Diesel rispetto al motore a scoppio supera il 70%. Questo forte divario fa sì che proprio sul piano economico anche per i trattori di piccola potenza il motore Diesel si fa preferire, in quanto il maggior investimento iniziale dell'acquisto viene compensato dal risparmio di costo nei consumi.

### 3. EVOLUZIONE DEL MOTORE A CICLO DIESEL

Il motore a ciclo Diesel per trattori nato con i fratelli Cassani come motore a due tempi ha poi lasciato il posto a quello a quattro tempi le cui fasi del ciclo non sono diverse dal ciclo Otto. Anche le particolarità costruttive non differiscono sostanzialmente da quelle dei motori a scoppio, se non per la maggiore robustezza dovuta alle più elevate pressioni di esercizio all'interno del cilindro.

Agli esordi nei motori fissi l'avviamento è effettuato con aria compressa fornita da appositi compressori, mentre nei motori applicati alle macchine si adottano altre soluzioni. Alcuni costruttori impiegano un apparecchio di decompressione per ridurre la compressione e, all'interno dell'anticamera che sovrasta la testata del cilindro, pongono un porta miccia munito di un rotoiletto di carta imbevuto di nitrato di potassio che, bruciando lentamente e senza fiamma, provoca le prime accensioni. Una volta escluso l'apparecchio di decompressione segue il funzionamento normale del motore. Altri costruttori ottengono l'avviamento del motore mediante un motorino elettrico alimentato da una batteria di accumulatori, assicurando la combustione iniziale con delle resistenze elettriche mantenute incandescenti durante l'avviamento.

Una delle maggiori difficoltà per i primi motori Diesel da applicare alle macchine in generale, è rappresentata dal fatto di non poter disporre di una pompa di iniezione di precisione in grado di funzionare correttamente a elevate pressioni. La realizzazione nel 1923 da parte di Robert Bosch di una pompa di iniezione con queste caratteristiche rappresenta pertanto una significativa innovazione per questa tipologia di motori.

In proposito va ricordato che nel trattore Cassani 40 CV del 1927 il sistema di iniezione è stato sviluppato in proprio dall'ingegner Cassani che progetta e realizza una pompa di iniezione del combustibile a due pompanti. I fratelli Cassani fondano nel 1936 a Milano la Spica (Società pompe iniezione Cassani), società nata per la costruzione di apparati di iniezione per motori a ciclo Diesel. Nel 1942 la Società, in considerazione del notevole successo del sistema di iniezione, viene acquisita dall'Alfa Romeo.

Del resto l'importanza della pompa di iniezione è confermata dall'ingegner Irianni, che, ancora nel 1932 nel suo libro *Le macchine agricole* scrive: «Ora una delle maggiori difficoltà è appunto la costruzione di una pompa sensibilissima che funzioni con sicurezza ad oltre 60 kg per cm<sup>2</sup> di pressione. È questo un lavoro di finissima meccanica: molti possono ormai costruire motori a combustione, occorrono specialisti per fare tali pompe».

L'evoluzione tecnologica è andata verso due tipi di pompa di iniezione:

- in linea, a pistoni multipli (tanti quanti sono i cilindri del motore), dotati di moto alternato;
- rotativa, a pistone singolo e con distributore rotante per l'alimentazione dei vari cilindri.

A valle della pompa sono posti gli iniettori che effettuano una spinta polverizzazione del gasolio. Operano con pressioni comprese tra 100 e 250 bar a seconda del tipo e della forma della camera di combustione che può essere a iniezione diretta (a camera aperta) o indiretta (a camera separata). Nel primo caso l'iniettore è direttamente inserito sulla camera di combustione ricavata nella testa del cilindro; in quella indiretta l'iniezione avviene in una precamera sopra la testata.

Importante è il regolatore continuo di velocità, che permette di mantenere costante la velocità prescelta dal conducente anche al variare, entro certi limiti, della coppia resistente, attraverso la variazione automatica della mandata del gasolio dalla pompa di iniezione.

Per quanto invece attiene la quantità di aria immessa nel cilindro, una forte innovazione è rappresentata dalla sovralimentazione con turbocompressore azionato dai gas di scarico. Questa soluzione si afferma per le auto alla fine degli anni '50 del secolo scorso e viene adottata per i trattori negli anni '70. Il turbocompressore ha la funzione di immettere nel cilindro più aria rispetto alla sola aspirazione e, quindi, di consentire, a parità di cilindrata, più iniezione di gasolio e il conseguente ottenimento di più potenza. Il turbocompressore è costituito da due giranti, calettate sullo stesso asse di cui una è la turbina, l'altra è il compressore. La turbina viene fatta ruotare dall'energia dei gas di scarico e aziona il compressore che aspira l'aria dal

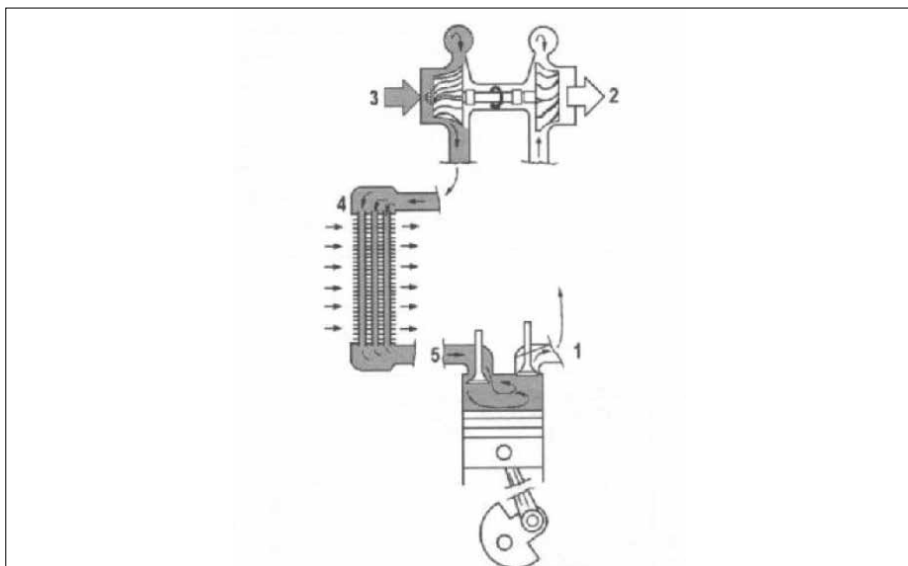


Fig. 8 Schema di turbocompressore "intercooling" (1. valvola di scarico, 2. turbina, 3. compressore, 4. scambiatore, 5. valvola di aspirazione)

filtro e la invia in pressione ai cilindri. Con la compressione l'aria aumenta non solo di pressione ma anche di temperatura. L'incremento di temperatura riduce la massa volumica dell'aria e, quindi, fa sì che la quantità d'aria che viene introdotta nel cilindro sia inferiore a quella possibile a temperatura ambiente. Per questa ragione, per alcuni motori, si adotta il cosiddetto sistema *intercooling* ottenuto attraverso il raffreddamento dell'aria tramite uno scambiatore (fig. 8). Si realizzano così, a parità di cilindrata, incrementi di potenza nell'ordine del 25-30% che salgono anche al 50% se alla sovralimentazione si aggiunge anche l'*intercooling*. La progressiva evoluzione di questo dispositivo sfocia nell'uso di turbine a geometria variabile e di turbocompressori a più stadi.

Una sostanziale innovazione per le prestazioni del motore Diesel è rappresentata dall'introduzione dell'elettronica e della sensoristica. Il settore dell'alimentazione in particolare ha beneficiato di una profonda evoluzione con l'introduzione dell'innovativo sistema "*common rail*", che suddivide e rende indipendenti le due funzioni di pressurizzazione del combustibile e di gestione dell'iniezione (di tipo diretto) che prima, come si è detto, venivano controllate congiuntamente dalla pompa di iniezione. Il sistema sviluppato dal Centro Ricerche Fiat e successivamente ingegnerizzato dalla Bosch (1994) è composto da:

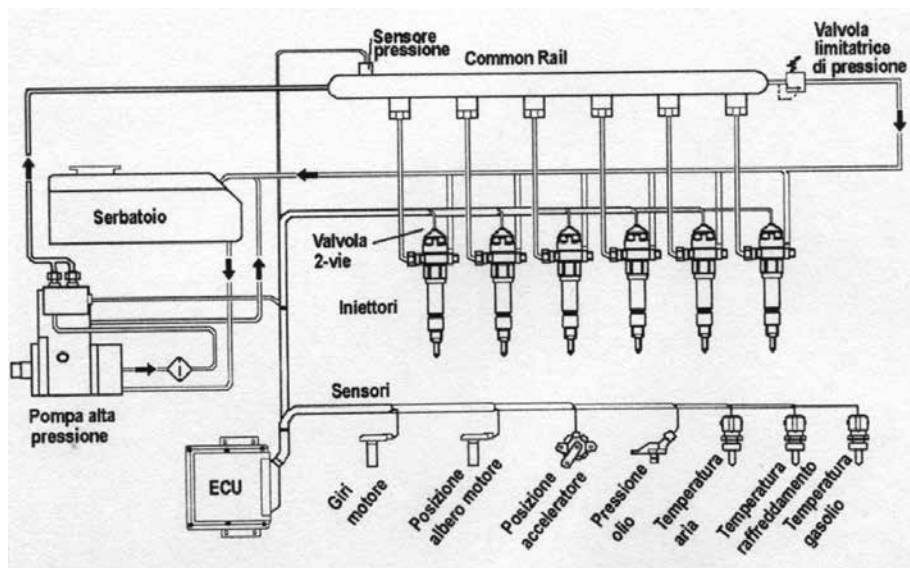


Fig. 9 Schema del sistema di iniezione del combustibile "common rail"

- una pompa ad alta pressione in grado di portare il gasolio alla pressione di 1600-2000 bar;
- il *common rail*, cioè un condotto comune di accumulo ad alta pressione del combustibile che alimenta i diversi iniettori;
- gli iniettori comandati elettronicamente e in grado di erogare quantità variabili e precise di combustibile;
- una centralina elettronica ECU, Engine Central Unit, che gestisce il sistema in funzione delle condizioni operative.

Il sistema prevede sensori che rilevano diversi parametri, quali: la pressione del gasolio all'interno del *common rail*, il numero di giri dell'albero motore e dell'albero a camme, la temperatura del fluido di raffreddamento dell'olio, del combustibile e dell'aria ambiente, la portata e, nel caso di sovralimentazione la pressione dell'aria di aspirazione, la posizione dell'acceleratore. I dati rilevati sono segnalati alla centralina elettronica in modo che questa possa gestire al meglio l'intero sistema (fig. 9).

La grande innovazione del *common rail* e, più in generale, della regolazione elettronica dell'iniezione, consiste nella possibilità di frazionare l'immissione del combustibile, attuando una serie di due, tre o più iniezioni sequenziali a intervalli di millescondi, ottenendo una combustione più efficiente tarata con grande precisione rispetto al sistema di iniezione tradizionale, riducendo così i consumi.

PARAMETRI	UNITÀ DI MISURA	VALORI
Valvole per cilindro	n	2- 4
Massa specifica	Kg/l	78-85
Potenza specifica	kW/l (CV/l)	25-30 (34-40)
Coppia specifica	Nm/l	125-160
Riserva di coppia	%	25-35
Consumo specifico minimo	g/kW/h (g/CV/h)	200-220 (147-162)
Rendimento	%	38-42
Emissioni	Stage	3B

Tab. 2 *Principali caratteristiche dei motori a ciclo Diesel con iniezione “common rail” e sovralimentazione “intercooler”*

Oltre ai motori a “potenza costante” (la potenza massima rimane la stessa in un intervallo di regime del motore) ottenuta in virtù dell’elevata elasticità del motore (riserva di coppia dell’ordine del 30-35%), la gestione elettronica dell’iniezione consente di programmare, per brevi periodi di tempo, un maggior afflusso di combustibile iniettato, ottenendo una maggiorazione della potenza. Infatti, attraverso la funzione “*power boost*”, si ottengono potenze maggiorate dell’ordine del 15% rispetto a quella nominale. Si può inoltre tarare l’iniezione a valori di potenza ridotta rispetto alla nominale, per lunghi periodi di funzionamento.

La tabella 2 riassume alcuni parametri essenziali relativi ai motori a ciclo Diesel con iniezione *common rail* e dotati di turbocompressore con raffreddamento.

In sostanza, rispetto agli esordi, si tratta di motori molto più leggeri, con potenza specifica 10 volte superiore e consumi di combustibile più bassi di un 35%.

In tabella 3 è sintetizzato il confronto tra il motore Diesel montato sul primo trattore Cassani e i due che oggi equipaggiano il SAME Explorer<sup>4</sup>. Per quanto attiene la macchina, è evidente il forte divario, sia per il numero di marce del Cassani che è in linea con quello dei trattori del primo periodo (3 AV + 1 RM), sia per l’elevata massa specifica del trattore e cioè 75 kg/kW (55 kg/CV). Prendendo in considerazione il motore, si vede che il Cassani, con i suoi 29,5 kW (40 CV) di potenza massima, è a due tempi con due cilindri orizzontali per un valore di potenza specifica di 2,3 kW/l (3CV/l), dell’ordine di 1/10 di quelli montati sugli Explorer<sup>4</sup> con alimentazione *common rail* sovralimentazione *intercooling*. Per contro, con l’impiego dell’olio pesante come combustibile, il motore Cassani registra un consumo specifico alla potenza massima pari a 272 g/KWh (370 g/CVh). Ciò significa un rendimento del 37% e, come tale, sempre alla massima potenza, non diverso dall’alimentazione *common rail*.

	UNITÀ	TRATTORE		
Trattore equipaggiato	-	Cassani 40	Explorer <sup>4</sup>	Explorer <sup>4</sup>
Peso	kg	2200	3700	3900
Numero marce	-	3 AV + 1 RM	10 AV + 10 RM	10 AV + 10 RM
Velocità massima	km/h	15	40	40
Rapporto massa/ potenza	kg/kW –Kg/CV	75-55	50-38	41-30
MOTORE DIESEL				
Motore		Cassani	Farmotion D3	Farmotion D4
Tempi	-	2	4	4
Rapporto di com- pressione	-	17,01	17,5	17,5
Numero cilindri	-	2	3	4
Disposizione cilindri	-	Orizzontale	Verticale	Verticale
Iniezione	-	Diretta con pompa Spica	Diretta <i>common rail</i> + sovra- alimentazione <i>intecooling</i>	Diretta <i>common rail</i> + sovra- alimentazione <i>intecooling</i>
Alesaggio / corsa	mm	180/250	103/115,5	103/115,5
Cilindrata	cm <sup>3</sup>	12723	2900	3850
Potenza massima	kW-CV/RPM	29,5-40/550	71,7-97/2000	95,5-130/200
Potenza specifica	kW/l – CV/l	2,3 – 3,15	25,6 – 34,8	25 – 33,7
Raffreddamento	-	Ad acqua circo- lante mediante pompa	Ad acqua circo- lante mediante pompa	Ad acqua circo- lante mediante pompa
Avviamento	-	A sigaretta e ad aria compressa	Con motore elettrico	Con motore elettrico
Carburante *	-	Olio pesante	Gasolio	Gasolio
Consumo specifico alla massima potenza	g/kWh g/CVh	272** 370 **	225 306	225 306
*Potere calorifico inferiore (kJ): olio pesante 35590; gasolio: 42800. ** Consumo dichiarato in un documento del 26.03.1928 verso la Commissione provinciale per l'incremento della produzione agraria				

Tab. 3 *Confronto tra motore Diesel montato sul trattore Cassani 40 CV del 1927 e quelli oggi montati sui due Explorer<sup>4</sup> (dati forniti dal costruttore)*

#### 4. CONSUMI ED EMISSIONI DEL MOTORE DIESEL

La Spagna premia l'efficienza energetica dei trattori concedendo contributi all'acquisto solo per quelli che hanno consumi sotto un certo libello e cioè, adottando lo stesso principio da noi seguito per gli elettrodomestici.

La valutazione è fatta presso laboratori autorizzati che seguono le norme stabilite dall'OCSE per la misurazione dei consumi. I trattori sono suddivisi in 5 classi di potenza e, sulla base del consumo rilevato, ogni modello appartenente a una data classe viene inserito in una graduatoria a scala crescente

STAGE	POTENZA KW (CV)	DATA	NO <sub>x</sub>	HC	CO	PARTICOLATO
III A	19-36,9 (25-49,9)	1/1/2007	7,5		5,5	0,6
	37-74,7 (50-101,9)	1/1/2008	4,7		5	0,4
	75-129,9 (102-176,9)	1/1/2011	4		5	0,3
	130-560 (177-761)	1/1/2006	4		3,5	0,2
III B *	37-55,9 (50-75,0)	1/1/2013	4,7		5	0,025
	56-74,9 (76-101,9)	1/1/2012	3,3	0,19	5	0,025
	75-129,9 (102-176,9)	1/1/2012	3,3	0,19	5	0,025
	130-560 (177-761)	1/1/2011	2	0,19	3,5	0,025
IV	56-129,9 (76-176,9)	2014	0,4	0,19	5	0,025
	130-360 (177-761)	2014	0,4	0,19	5	0,025
* per i trattori è possibile introdurre per altri due anni dalla data fissata i motori prodotti prima dell'introduzione dello step 3 B.						

Tab. 4 *Limiti delle emissioni dei gas di scarico per gli off-road fissati dall'UE (g/kWh)*

di consumo: dalla A (consumi bassi), alla E (consumi elevati). Il contributo finanziario viene concesso solo per i trattori che rientrano nelle prime due posizioni A e B. Dalle rilevazioni condotte nel 2011 su 421 trattori, è emerso che nelle classi A e B rientra il:

- 70% dei 23 con potenza superiore a 180 kW (250 CV);
- 68 % dei 76 con potenza tra i 110 e 180 kW (150-250 CV)
- 38% dei 116 con potenza tra i 75 e 110 kW (100 -150 CV)
- 43% dei 184 con potenza tra i 35 e 75 kW (50- 100 CV)
- 32% dei 22 con potenza inferiore ai 35 kW (50 CV) dei quali però nessuno in posizione A.

È quindi forte il divario tra la classe di trattori con motorizzazione superiore a 110 kW (130 CV) e quelle con motore con potenze inferiori a 35 kW (50 CV).

Oltre ai consumi un tema divenuto sempre più urgente è quello delle emissioni per le quali i trattori e le macchine agricole semoventi sono classificati tra gli “*off- road Diesel engines*”.

In questa categoria le emissioni sono regolamentate con apposita normativa che nel corso degli anni prevede step successivi di riduzione a partire dal 2013, per i motori con potenze superiori a 37 kW (50 CV). La normativa USA li denomina TIER, quella europea Stage. Le emissioni regolamentate dalla normativa sono: il monossido di carbonio (CO), gli idrocarburi incombusti (HC), gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) e il particolato (PM). La tabella 4 riporta i valori limite di tali emissioni per quanto attiene gli stage III A, III B e IV. Si vede che la fase transitoria 3B, attualmente in vigore impone per i motori con potenza superiore ai 130 kW (170 CV), la riduzione di 1/10 delle emissioni di particolato (da 0,2 a 0,025 g/kWh) e il dimezzamento degli ossidi di azoto



INTERVENTI	DESCRIZIONE
Combustibile	Aggiunta di additivi; combustibili più raffinati del gasolio tradizionale, biodiesel
Motore	Pompa del <i>Common rail</i> ; Turbocompressore <i>intercooling</i> ; geometria della camera di combustione e del pistone; turbolenza nell'immissione dell'aria; rapporto di compressione; iniettori
Gas di scarico	DOC (catalizzatore ossidante); DPF (filtro antiparticolato attivo); EGR (ricircolo dei gas di scarico); SCR (riduzione catalitica selettiva)

Tab. 5 *Principali interventi per ridurre le emissioni dei gas di scarico del motore a ciclo Diesel*

(da 4 a 2 g/kWh). La riduzione diventa meno forte per le potenze via via più basse. L'introduzione dello stage IV prevista per il 2014, porterà a un'ulteriore riduzione di 5 volte dei livelli degli ossidi d'azoto interessando però solo i motori con potenza superiore ai 56 kW. Tali limiti non sono di poco conto, in quanto le emissioni degli ossidi di azoto (costituite per il 98% da monossido e per il 2% da biossido di azoto) e di particolato (costituito da particelle con diametro compreso tra i 10 e i 100 micron), rappresentano i principali inquinanti emessi dal motore Diesel.

Il rispetto della normativa comporta interventi che interessano il combustibile, il motore e i gas di scarico (tab. 5). La soluzione non è semplice e ha ripercussioni sui costi e anche sui consumi. Naturalmente quelle regolamentate non sono le sole emissioni contenute nei gas di scarico. Ai fini della tutela ambientale, occorre anche porre attenzione alle emissioni di anidride carbonica, attraverso la riduzione dei consumi e alle emissioni dei composti dello zolfo ( $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ ), responsabili delle piogge acide, impiegando combustibili più raffinati e con basso contenuto di zolfo.

È comunque indubbio che il problema principale è quello delle emissioni regolamentate che per legge necessitano di soluzione. Per quanto attiene il combustibile occorre impiegare quelli più raffinati con basso tenore di zolfo con eventuale aggiunta di additivi che ne migliorino la combustione. Il miglioramento della combustione dipende in larga misura dagli interventi sul motore modificando il disegno della camera di combustione e dei condotti di ammissione. In particolare per quanto attiene l'alimentazione con *common rail*, miglioramenti significativi possono essere ottenuti con le elevate pressioni esercitate dalla pompa (2000 bar). Vi sono poi gli interventi a valle, direttamente sui gas di scarico che possono essere così sintetizzati.

#### *Ricircolo dei gas di scarico (EGR)*

Mira a rimuovere gli  $\text{NO}_x$  con il ricircolo di parte dei gas di scarico

nella camera di combustione. A seconda delle condizioni di funzionamento è necessaria una quantità differente di gas (mediamente 15-20%): La regolazione è fatta dalla valvola di regolazione ECR comandata dalla centralina.

#### *Riduzione catalitica selettiva (SGR)*

Mira a ridurre gli  $\text{NO}_x$  incorporando nel ricircolo nella camera di combustione dei gas di scarico una soluzione acquosa con il 32-35% di urea (nome commerciale ADblue). La quantità di urea da iniettare è fatta dalla centralina sulla base dei dati trasmessi dai sensori che rilevano la temperatura dei gas e l'entrata di  $\text{NO}_x$  nella camera di combustione. A seconda delle condizioni il consumo della soluzione è compreso tra il 3 e l'8 % del consumo di gasolio; i minori consumi si hanno a regime ridotto del motore. Il sistema richiede un serbatoio per la soluzione di urea e una pompa per l'iniezione della stessa.

#### *Filtro antiparticolato del Diesel (DPF)*

Il filtro, costituito da materiale refrattario, trattiene le particelle di PM di dimensioni comprese tra 10-100 micron e progressivamente si satura. La quantità di PM emessa aumenta quando il motore lavora a un basso livello di carico (la temperatura dei gas è bassa), per cui il filtro si intasa più facilmente.

La rigenerazione si ottiene iniettando gasolio che brucia il PM. Il processo si realizza in modo automatico grazie a un sistema integrale di rilevazione e di gestione della temperatura dei gas e del tempo di iniezione del gasolio. Il non controllo della temperatura durante la rigenerazione ( $>1200^\circ\text{C}$ ) può generare il *cracked* del substrato ceramico del filtro.

#### *Ossidazione catalitica del Diesel (DOC)*

Si realizza grazie a una matrice ceramica a nido d'ape che accelera la reazione chimica per cui il CO si combina con l'ossigeno e si trasforma in  $\text{CO}_2$  e vapore acqueo. La matrice ceramica inoltre cattura gli HC e gli idrocarburi aromatici, riducendo anche la frazione di PM più fine ( $<2,5$  micron).

Per rispettare i limiti le case costruttrici di trattori utilizzano tecnologie combinate secondo propri orientamenti. La SAME Deutz-Fahr, di cui abbiamo riportato le caratteristiche dei motori Farmotion a 3 e 4 cilindri ha constatato che, per le potenze specifiche tipiche dei motori per trattori (circa 25 kW/l) si possono ottenere emissioni di particolato nell'ordine di 0,020 g/

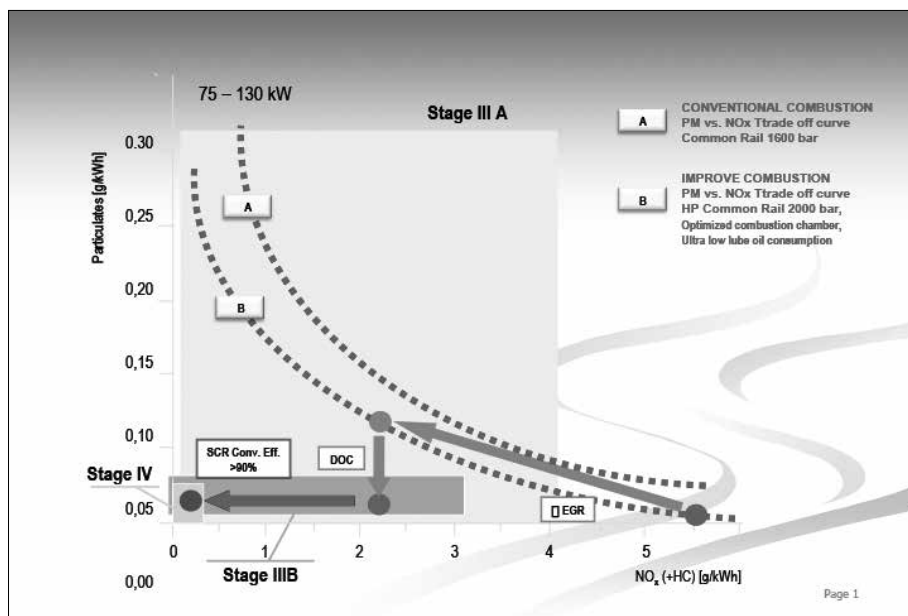


Fig. 10 Soluzione tecnologica per stage IIIB/TIER 4i con combustione innovativa che non necessita l'utilizzo di post trattamento dei gas scarico complessi (DOC) (da SAME - Deutz-Fahr)

kWh (senza eccedere le emissioni di NO<sub>x</sub> di 3g/kWh stabilite dalla fase IIIB), intervenendo sul motore e sul suo funzionamento. Precisamente con:

- eccesso di aria rispetto al combustibile almeno di 2 (1 = rapporto stechiometrico);
- pressione di iniezione di almeno 1800 bar;
- *layout* del sistema di combustione ottimizzato (forma della camera di combustione, disposizione dei getti di iniezione, ecc.);
- drastica riduzione del consumo di olio combustibile che a questi livelli di emissioni è una fonte non trascurabile di particolato (VOF = Frazione Organica Volatile di particolato);
- ricircolo dei gas di scarico raffreddati.

Per realizzare queste condizioni la SAME Deutz-Fahr ha attuato per i motori FARMotion le seguenti tecnologie:

- elevato rapporto di sovralimentazione unito a post-refrigerazione aria/aria;
- utilizzo di un innovativo sistema di iniezione *Common rail* 2000 bar;
- iniettori a 7 getti e opportuna forma della camera di combustione;

- utilizzo di canne sfilabili “umide con spessore della parte opportunamente dimensionato per evitare le deformazioni e con caratteristiche di finitura superficiale opportune. Particolare disegno dei segmenti di tenuta e delle tenute olio sugli steli valvola;
  - sistema esterno di ricircolo dei gas di scarico, con scambiatore di calore raffreddato a liquido e controllato elettronicamente attraverso una valvola a fungo.
- I risultati sono evidenziati in figura 10.

#### RIASSUNTO

La denominazione di motore Diesel deriva dal suo inventore Rudolf Diesel che ne depositò il brevetto nel 1892. La relazione evidenzia che i moderni motori Diesel dei trattori raggiungono potenze elevate e sono molto più affidabili, efficienti ed ecologici rispetto a quelli di 10-20 anni fa.

#### ABSTRACT

*The innovation of the Diesel engine in agriculture.* The Diesel engine was named after his inventor Rudolf Diesel. The patent for this engine was filed in 1892. The report points out that the modern Diesel engines for tractor are very powerful and a lot more reliable, efficient and ecological than they have been 10-20 years ago.

#### BIBLIOGRAFIA

- 50 anni di meccanizzazione agricola* (1995): Accademia dei Georgofili, Edizioni Unacoma Service, Roma.
- Agricoltura e civiltà delle macchine* (1967): Ente Autonomo della Fiera di Verona.
- BIGLIAZZI L., BIGLIAZZI L. (2000): *Le macchine che hanno rivoluzionato il lavoro dei campi*, Accademia dei Georgofili, Firenze.
- CULPIN C. (1950): *Farm mechanization: costs and methods*, Grosby Lockwood and Son Ltd, London.
- Données internationales sur le essais de machines agricoles* (1956): L'agence européenne de productivité.
- Il problema della motocoltura e la trattoria agricola "Fiat"* (1919): Federazione Italiana dei Consorzi Agrari, Piacenza, Ristampa anastatica della Società Agraria di Lombardia (2007).
- IRIANNI A. (1932): *Le macchine agricole. Come sono fatte e come si usano*, Opera Nazionale Combattenti editrice, Roma.
- RENIUS K. (1999): *Tractors*, CIGR handbook of agriculture Engineering, vol. III, S 115-184, ASAE, American Society of Agricultural Engineering.
- SERVE J. (1947): *Tracteurs*, La Maison rustique, Paris.