

Giornata di studio:

Rudolf Diesel

Firenze, 11 ottobre 2013

ERNESTO FERRINI*

Rudolf Diesel e la meccanizzazione agricola

Si tratta di una commemorazione di un personaggio importantissimo per quanto riguarda la meccanizzazione agricola: Rudolf Diesel.

La popolazione mondiale ha oggi raggiunto la cifra di 7 miliardi di persone e senza la meccanizzazione in agricoltura non ci sarebbe la possibilità di sfamarsi. Dalla civiltà egizia a quella romana o greca fino al Sei-Settecento (secoli XVII-XVIII), gli strumenti di lavoro sono pressappoco gli stessi: la falce per mietere, la zappa, la vanga per coltivare, oppure un aratro trainato dal cavallo o dai buoi. Ma con questi strumenti si produce ben poco. Fino a che, nel '700, con l'arrivo della rivoluzione industriale, che per prima avverrà in Inghilterra, le cose cominciano a cambiare anche nell'agricoltura. La rivoluzione si chiama "vapore", che nasce appunto in Inghilterra e che porterà alla prima meccanizzazione anche in agricoltura.

La meccanizzazione in agricoltura ha due significati fondamentali: aumentata produzione e liberazione dell'uomo dalla fatica più tremenda, quella del lavoro dei campi.

Dopo il "vapore", padre Eugenio Barsanti (scolopio) e l'ing. Felice Matteucci nel 1853 depositano presso l'Accademia dei Georgofili (perché all'epoca non c'era un ufficio brevetti e neanche l'unità d'Italia) il plico dell'invenzione di un motore rivoluzionario: a combustione interna, mentre il "vapore" era una macchina a combustione esterna.

La prima cosa che risalta agli occhi, di questo motore, è la compattezza e il minore ingombro rispetto alla macchina a vapore.

Nel 1902, anno in cui l'uomo si stacca da terra, è bene ricordarlo, grazie a questo motore con il primo volo dei fratelli Wright, si può dire che nasce il

* *Presidente CAMAE*

primo trattore con motore a combustione interna, destinato a sostituire gli ingombranti bestioni a vapore. Era un Ivel, dell'inventore inglese Dan Albone. Sarà anche il primo trattore testato in Italia nel 1908, ma il nostro paese non era ancora pronto per una simile innovazione. Chi inizierà veramente la meccanizzazione agricola in Italia sarà la Fiat dieci anni più tardi nel 1918-19 con la Fiat 702 a petrolio o benzina, ispirandosi anche al Fordson americano già in commercio.

Le cose sono a questo punto quando si inserisce l'ing. Rudolf Diesel (1858-1913).

Di famiglia tedesca di Augusta, Augsburg per i tedeschi, in Svevia-Baviera, nasce però a Parigi, perché il padre Theodor era un grande artigiano del cuoio ed era richiesto in tutta l'Europa. Viaggiava molto e nel 1858 si trovava con la moglie Elise a Parigi, dove rimarrà fino intorno al 1870, anno in cui la famiglia Diesel emigra in Inghilterra per via della guerra fra la Francia e la Prussia di Bismark, che si concluse con la disfatta della Francia. Fu così che il giovane Rudolf imparerà la sua terza lingua oltre al tedesco e al francese. Dopo la guerra franco-prussiana i parenti insistono per il ritorno di Theodor Diesel in Germania, cosa che avviene nel 1873. Poco dopo il giovane Rudolf si iscrive all'Università di Monaco. Intorno al 1875 assiste a un esperimento che lo impressionerà molto: quello dell'"acciarino pneumatico", in cui un professore dimostrò che comprimendo tantissimo l'aria, questa aumenta talmente tanto la temperatura che a un certo punto provoca un'esplosione. Né più né meno come a suo tempo Barsanti fu colpito dall'esperimento della pistola di Volta che lo portò a concepire il motore a combustione interna.

Da questo esperimento Rudolf comincia a sviluppare l'idea che l'aria fortemente compressa possa essere utilizzata per muovere un pistone dentro un cilindro, fargli fare una corsa, e avere così un motore a combustione interna di nuova concezione rispetto a quelli esistenti. Un motore che, con il sistema biella-manovella, derivante dal motore a vapore, produce un lavoro a bassi consumi.

Comincia quindi a studiare questo principio, che diventa il "suo" principio; lo studia per anni finché tra il 1885 e il 1892 lo mette in pratica costruendo il primo prototipo, di cui chiederà il brevetto all'ufficio brevetti di Berlino il 28 febbraio 1892. L'ufficio brevetti rilascerà il brevetto (Patent) il 23 febbraio del 1893 con il n. 67207.

È il 1894, però, l'anno in cui riuscirà a far funzionare il suo motore per la prima volta. Funziona per un minuto, sviluppa circa 13 CV a 88 giri al minuto con aria compressa con l'iniezione di un carburante che era l'olio di arachide. Il motore era alto due metri.

Ma una cosa è un prototipo sperimentale e una cosa è un motore funzionante e affidabile per le applicazioni meccaniche da mettere in commercio. Infatti il primo problema che si presentò fu lo studio dei materiali, perché la temperatura occorrente all'esplosione era di almeno 600° e l'esplosione stessa era molto potente, per cui occorre materiali molto resistenti e costosi. Il secondo problema era l'estrema precisione, altrimenti si aveva una perdita di potenza. Non solo, ma questa precisione andava mantenuta nel tempo e non tutti i materiali avevano queste proprietà. Nel 1893 pubblica un saggio su questo motore, che lui definisce "termico e razionale" e che secondo Rudolf era destinato a soppiantare le macchine a vapore e quelle a combustione interna "finora" conosciute.

Uno dei suoi maestri, Karl von Linde, l'inventore del frigorifero, estimatore di Rudolf, pone un problema: non si può andare avanti con motori come quello a vapore che spreca oltre il 90% del calore assorbito e solo una minima parte, neanche il 10%, può essere sfruttata per produrre lavoro. È un costo troppo elevato. Bisogna studiare un sistema che sfrutti questa enorme dispersione di energia. Era indubbiamente un uomo avanti. Bisognava quindi studiare questo sistema.

Diesel allora propone alla Maschinen Fabrik, alla Krupp e alla Deutz di portare avanti gli studi sul suo motore. Inizialmente gli dicono di no, ma poi ci ripensano e vengono convinti a investire ben 450.000 marchi, di cui 30.000 vanno a Rudolf Diesel. Finalmente nel 1897 viene alla luce il primo motore funzionante col sistema Diesel, che verrà presentato all'esposizione universale di Parigi. Il combustibile era l'olio di arachide.

Nacque come sempre anche una polemica innescata dalla ditta Hornsby e Akroide americana che nel 1890 avevano presentato un brevetto per un motore a combustione interna che sfruttava in un certo senso la pressione dell'aria ma molto lontano dai valori del motore di Diesel, tanto è vero che per raggiungere la temperatura per lo scoppio che dava l'avvio al motore, bisognava ricorrere a una fonte di calore esterna. Era il motore a "testa calda" che indubbiamente è un'altra cosa. Nel Diesel invece la temperatura era raggiunta grazie alla compressione dell'aria di ben 7-8 volte superiore alla pressione del motore "testa calda".

Dal 1900 in poi Rudolf presenta molti brevetti, dal cui sfruttamento ricavava inizialmente molto denaro. Ma nel frattempo si affermano i motori a combustione interna a petrolio e a benzina, tanto è vero che nel 1902 c'erano soltanto 359 motori Diesel contro migliaia e migliaia di motori a petrolio e benzina. Il suo motore non riusciva ad affermarsi.

Chi dette un impulso importante allo sviluppo del motore Diesel fu Robert Bosch, nato nel 1861 e morto nel 1943. Costui aveva inventato il "ma-

gnete” per l'accensione e il funzionamento ottimale dei motori a benzina e petrolio. Ora si dedicava a questo nuovo motore che aveva difficoltà per l'accensione. Bosch si rende conto che nel motore Diesel il segreto dell'accensione stava nell'iniezione del combustibile e così nel 1923 comincia a studiare una “pompa d'iniezione”, che riuscirà a mettere a punto nel 1927. Applicata ai motori di Rudolf Diesel, darà a questi una spinta notevole per la loro diffusione, già nel 1930 vennero costruite 10.000 pompe di iniezione Bosch e nel 1934, quattro anni dopo, ne vennero costruite ben 100.000, a dimostrazione della potente diffusione del motore Diesel nel mondo già negli anni '30.

Ma Rudolf Diesel non fa in tempo a vedere questo successo dei suoi motori, perché nella notte fra il 29 e il 30 settembre del 1913, mentre attraversava il canale della Manica per andare in Inghilterra a visitare una fabbrica di suoi motori e con nuovi importanti brevetti in tasca, scompare. A tutt'oggi non si sa che fine abbia fatto. Probabilmente annegato. Sono state fatte anche ipotesi di suicidio, soffriva di depressioni notevoli; secondo alcuni si è trattato di un delitto. Ma sono ipotesi senza riscontri probatori. Fatto sta che Rudolf scompare. La verità esatta non si sa. L'unica verità che possiamo attestare in questa sede è che l'ingegner Rudolf Diesel ha il merito di aver inventato il più efficiente motore a combustione interna di tutti i tempi.

APPLICAZIONI NELLA MECCANIZZAZIONE AGRICOLA

Si dice che il primo trattore a montare un motore Diesel sia stato un Benz-Sendling nel 1922, ma dalle nostre ricerche non risulta che fu mai commercializzato, non andò oltre la sperimentazione e comunque non ci sono tracce in nessuna parte del mondo.

Invece chi riuscì a far funzionare un trattore nel vero senso della parola con motore Diesel fu l'italiano Francesco Cassani. Siamo nel 1927, anno in cui Bosch mette a punto la sua pompa di iniezione, il trattore era un “Cassani 40”, che verrà commercializzato nel 1928. Consentiva un risparmio del 60% sul carburante e aveva un sistema di accensione automatico. Anziché a manovella, come tutti i trattori di allora, il Cassani 40 aveva una bombola ad aria compressa tramite la quale veniva fatto girare l'albero motore. Dei bastoncini poi con la punta di zolfo facevano le veci di quelle che in seguito saranno le candele. Quindi un qualcosa di strepitosamente innovativo questo Cassani 40, che prelude a tutto quello che di innovativo rappresenterà poi la Cassani-SAME.

Ma Francesco Cassani non sarà soltanto colui che monterà il primo motore Diesel sul trattore, ma merita a questo proposito di essere ricordato per

aver inventato anche una pompa di iniezione, la SPICA (Società pompe di iniezione Cassani), che supererà in efficienza quella di Bosch. Infatti quando verrà testata a Torino nella famosa salita dei Cappuccini con i camion Lancia, mentre i camion che montavano pompe Bosch in alcune curve si fermarono, quelli che montavano pompe Spica non solo non si fermarono, ma non scalarono neanche la marcia. Questo va ricordato indipendentemente da come andrà a finire in seguito la storia Spica con IRI e Alfa Romeo che in questa sede non ci interessa.

Parlando del motore Diesel in Italia una storia particolare è quella di Ferdinand Porsche (1875-1951). Porsche è chiamato dal nazismo di Hitler a progettare un'automobile per tutti, popolare, semplice ed economica la famosa Volkswagen. Ma Hitler lo chiama anche per progettare un trattore leggero, anch'esso economico, per tutti: il Volkstraktor (trattore del popolo). Siamo negli anni '30. Inizia la produzione immediatamente prima della guerra. La guerra interrompe la produzione e nel 1945 Ferdinand Porsche viene processato da americani e inglesi come collaborazionista del nazismo, ma viene assolto. Non fu così però con i francesi, che invece lo arrestarono nel '46 senza processo, anzi non gli furono neanche notificati i capi d'accusa e fu tenuto in galera per circa un anno in Francia. Fu liberato nel '47 dietro cauzione di un industriale italiano: Pietro Dusio, proprietario della Cisitalia, con i patti però che insieme al figlio Ferry doveva progettare una macchina da corsa, la Cisitalia (che fu guidata da Tazio Nuvolari), e un trattorino medio per i lavori nei campi rigorosamente Diesel: il famoso Diesel-Porsche. Siamo nel '47. La Diesel-Porsche chiuderà i battenti nel 1963 e i pezzi di ricambio furono venduti alla Renault.

Voglio concludere dicendo questo: quando quel 17 febbraio del 1894, era un sabato, nell'ambito di una manifestazione pubblica Rudolf Diesel avviò il prototipo del suo motore, cosiddetto "ad accensione spontanea", iniziava una nuova era anche per la meccanizzazione agricola. Quel motore era alto 3 metri, pesava 20 quintali e a 88 giri al minuto erogava una potenza di 20 CV. Il rendimento era buono: il 26%, e un rapporto peso/potenza di 154 kg/CV. Oggi gli studi della Fiat industrial (FPT) parlano di un rendimento del 46% e un rapporto peso potenza di 2kg/CV. Quindi la storia della meccanizzazione agricola con l'invenzione del motore Diesel ha subito una trasformazione che non riguarda solo il presente ma anche il futuro.

Grazie a tutti per l'attenzione e un ringraziamento particolare all'Accademia dei Georgofili, al suo presidente prof. Scaramuzzi, al Consiglio e al

personale tutto per l'accoglienza e il supporto che sempre ci è stato dato. Da parte nostra ci auguriamo che questa collaborazione, come diceva il prof. Piccarolo, sempre ben disposto nei nostri confronti e di questo lo ringraziamo vivamente, continui e dia sempre frutti migliori.

RIASSUNTO

Viene commemorato l'ing. Rudolf Diesel, a 100 anni dalla scomparsa, inventore dell'omonimo motore che tanto sviluppo ha avuto anche in campo agricolo. Viene ricordata la sua storia e le sue vicissitudini fino alla morte avvenuta in circostanze misteriose durante l'attraversamento del canale della Manica nella notte fra il 29 e il 30 settembre 1913 senza aver visto la grande affermazione del suo motore.

ABSTRACT

It commemorated the engineer Rudolf Diesel, 100 years after his death, the inventor of the engine of the same name, which also had a lot of development in the agricultural field. She is remembered its history and its vicissitudes until his death in mysterious circumstances while crossing the English Channel on the night between 29 and September 30, 1913 without having seen the great success of its engine.

PIETRO PICCAROLO*

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 Nikolas 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 cm³) 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)*

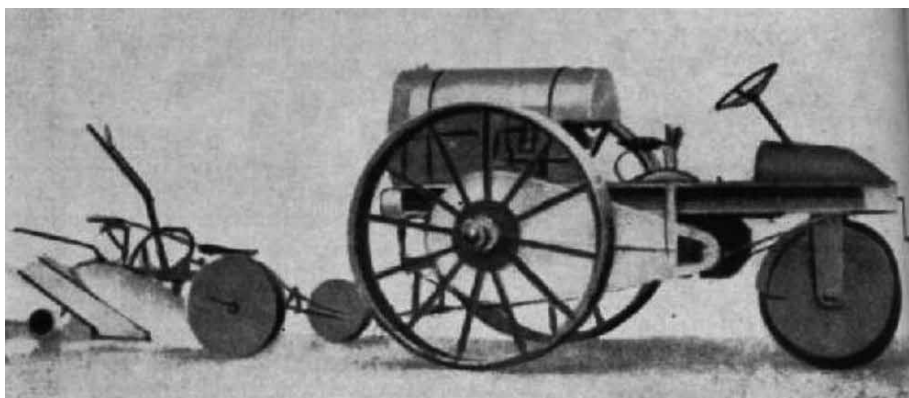


Fig. 2 *Trattore Barancelli*

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 Barancelli 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*

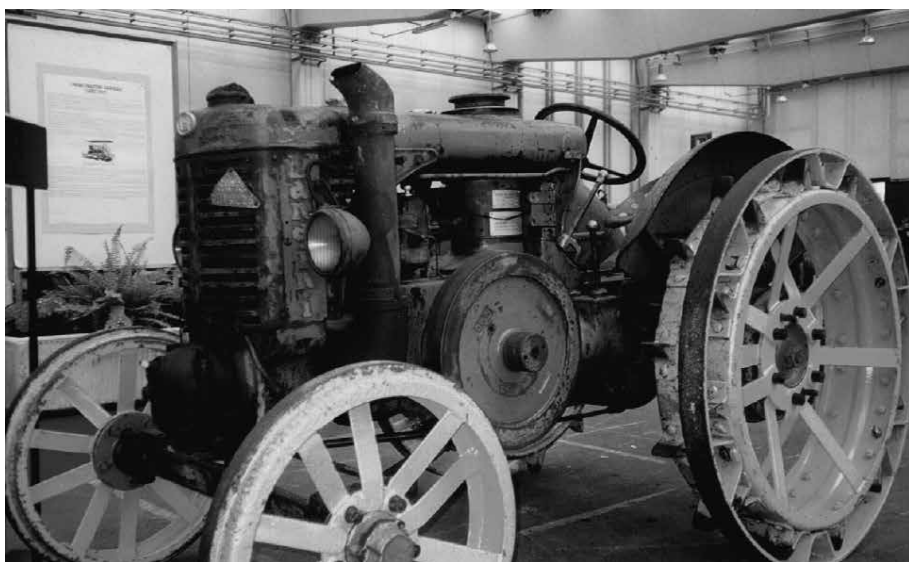


Fig. 4 *Trattore Landini*

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

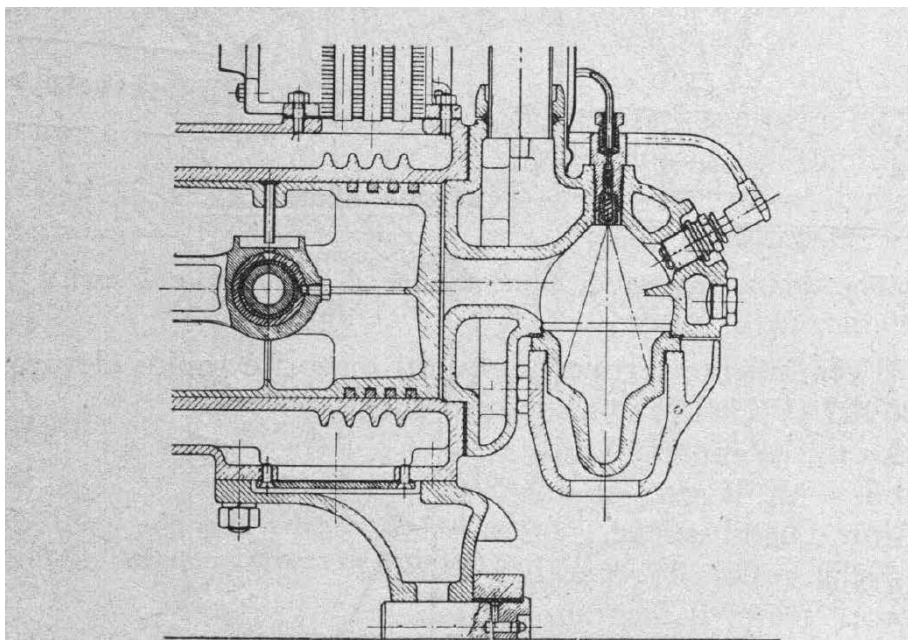


Fig. 5 Schema di motore a testa calda (da Irianni)

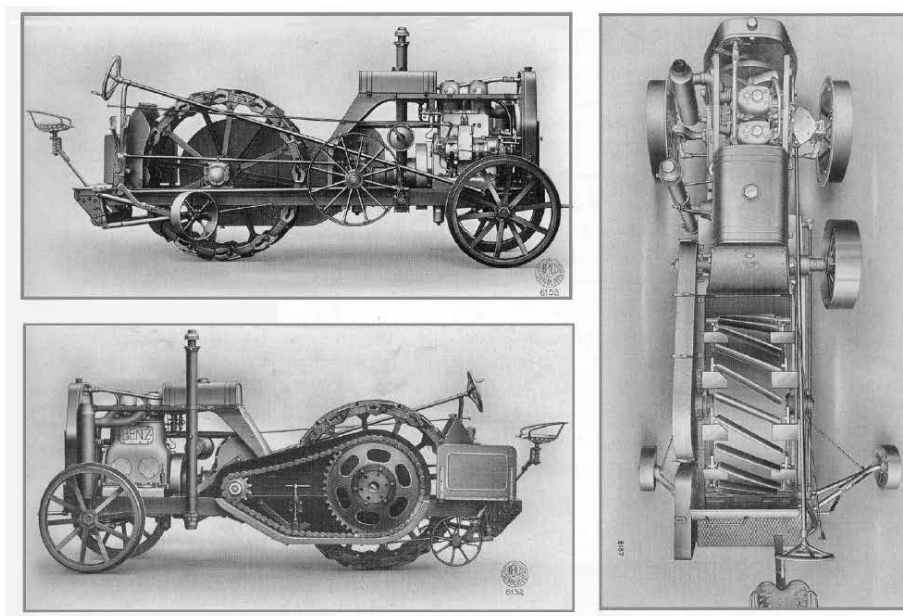


Fig. 6 Trattore Benz Sendling (da Renius)



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 rotoletto 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 cm² 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 pistoncini 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

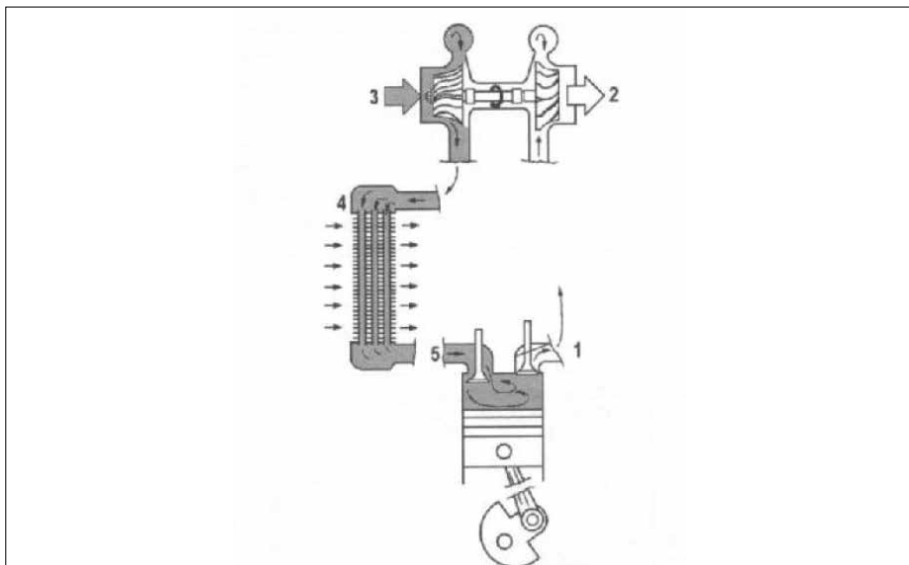


Fig. 8 Schema di turbocompressore "intercooling" (1. valvola di scarico, 2. turbina, 3. compressore, 4. scambiatore, 5. valvola di aspirazione)

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:

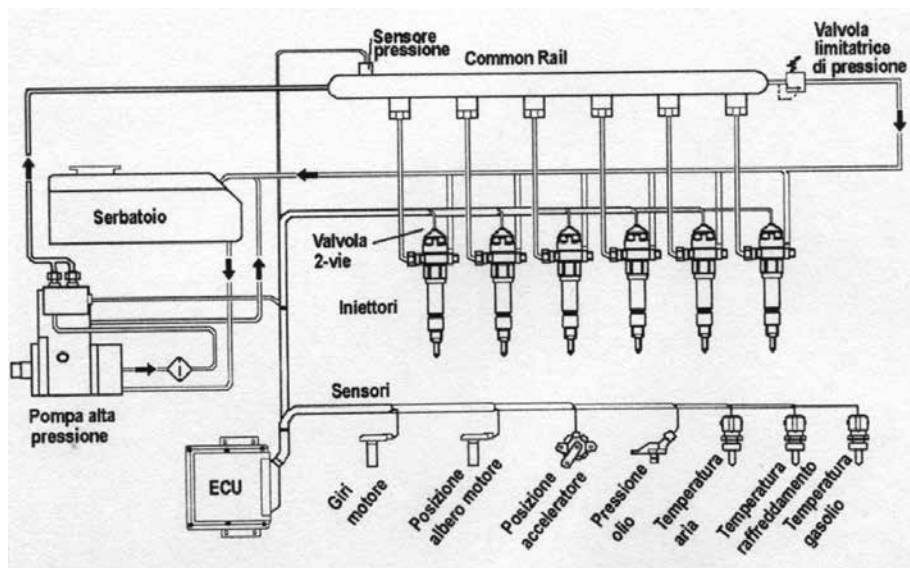


Fig. 9 Schema del sistema di iniezione del combustibile "common rail"

- 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 Explorer⁴. 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 Explorer⁴ 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 ⁴	Explorer ⁴
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 ³	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 Explorer⁴ (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 _x	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_x) 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 (SO_2 e 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 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 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 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 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/

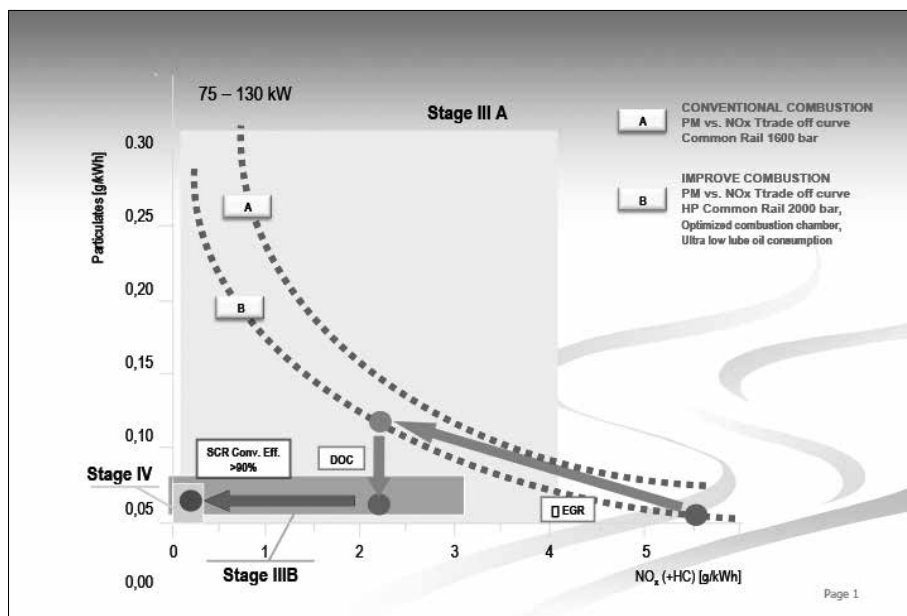


Fig. 10 Soluzione tecnologica per stage IIIB/TIER 4i con combustione innovativa che non necessita l'utilizzo di post trattamento dei gas scarico complessi (DOC) (da SAME - Deutz-Fahr)

kWh (senza eccedere le emissioni di NO_x 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.