

PIETRO PICCAROLO¹

Dall'aratro all'agricoltura 4.0

¹ Vicepresidente dell'Accademia dei Georgofili

L'aratro è stato introdotto per sostituire la vanga, di cui doveva avere la stessa capacità di dissodare e rivoltare la terra, non più utilizzando la forza dell'uomo ma impiegando quella dell'animale. In questa transizione permane però ancora il lavoro gravoso dell'uomo che, in modo continuo, deve guidare attrezzo e animale. Con il passaggio all'agricoltura 4.0, l'uomo programma il lavoro che le macchine vanno a eseguire. In questa transizione si riduce sempre più il lavoro materiale dell'uomo e viene a prevalere quello intellettuale. Due "rivoluzioni" molto diverse ma che, comunque, hanno in comune il fatto di avere portato un profondo cambiamento del modo di fare agricoltura affidandosi all'innovazione portata dalla ricerca scientifica.

I. DALLA VANGA ALL'ARATRO A TRAZIONE ANIMALE

Le prime applicazioni della meccanica agraria volte ad agevolare il lavoro umano, vennero introdotte a partire dal Settecento senza però che ne avvenisse la diffusione. È soltanto nell'Ottocento, grazie all'impegno di diversi studiosi, che si attua l'introduzione significativa di nuove macchine e attrezzature. In particolare, per quanto concerne la lavorazione del terreno, il tema dell'aratura con trazione animale in sostituzione della vangatura eseguita manualmente, vede l'impegno di un buon numero di ricercatori. Tra i primi studi sull'aratro meritano di essere segnalati la Memoria dell'inglese Arboutnot del 1774 e, soprattutto, la Memoria di Thomas Jefferson, terzo presidente degli Stati Uniti d'America (1801-1809), pubblicata a Parigi nel 1802. Entrambe sono soprattutto incentrate sullo studio della migliore soluzione per il rovesciamento della fetta. Queste Memorie hanno stimolato l'interesse e la ricerca da parte di

illustri Agronomi, non solo negli Usa ma anche nel nord e nel centro Europa, quali: Schwertz, Machet, Domblase, Thaer e altri. Questi hanno realizzato aratri che si diversificavano per alcuni particolari degli organi di lavoro, specie del versoio. Il fine era quello di renderli meglio rispondenti alle diverse condizioni del terreno sul quale dovevano operare.

Charles Pictet nel 1822 pubblica, su «*Bibliothèque Universelle Agriculture*», lo studio *Comparaison de trois charrues*, nel quale sono riportati i risultati delle prove comparative di tre modelli di aratri ritenuti tra i migliori del momento: le charrue Belge-Machet; le charrue Belge-Schwertz; le charrue Dombasle, tutti a versoio fisso e senza ruote. Si tratta di prove eseguite con la misura dinamometrica della forza di trazione su diversi terreni e per differenti larghezze e profondità di lavoro. Pictet conclude che, esaminati i punti di forza e di debolezza, i tre modelli si sono dimostrati validi, anche se la scelta del migliore è poi caduta sull'aratro Machet. L'immagine dei tre succitati aratri è riportata sulla copertina del volume *Evoluzione dell'aratro nella Toscana dei Lorena*, pubblicato nel 2002 in occasione della Mostra e del Convegno allestiti per presentare l'evoluzione degli strumenti aratori nell'Ottocento. La Mostra, curata da Guido Gori, direttore della Fondazione Scienza e Tecnica, venne promossa dall'Accademia dei Georgofili, dal Gabinetto G.P. Vieusseux e dall'Istituto e Museo di Storia e della Scienza, con la collaborazione dell'Istituto Tecnico Statale per Geometri e Commerciale "G. Salvemini – E.F. Duca D'Aosta" e dell'Università di Pisa. Il volume, come scrive Gori nella presentazione, oltre presentare i modelli di aratro più significativi, illustra anche il clima nel quale si è sviluppato il dibattito sulla evoluzione dell'aratro nella prima metà dell'Ottocento.

In Italia, sotto lo stimolo di quanto avveniva oltre confine, l'interesse verso l'impiego dell'aratro in sostituzione della vanga, si sviluppa particolarmente in Toscana, dove l'aratro veniva chiamato coltro. L'Accademia dei Georgofili, recependo questo desiderio di innovazione, il 23 marzo 1823 emana un Programma nel quale si decreta l'assegnazione di un premio di 40 Zecchini a chi «avrà costruito avanti la fine del mese di Luglio 1824 un tale Istrumento aratorio il quale non contenendo i difetti degli aratri, e coltri comuni soddisfaccia a quelle condizioni, alle quali per ora sebbene incompletamente, soddisfa la sola vanga, serva cioè a lavorare il terreno fino a una conveniente profondità, a completamente rovesciarlo e a ridurlo in parti minutissime».

Sempre nel 1824 il marchese Cosimo Ridolfi, in relazione al Concorso dell'Accademia, presenta la Memoria *D'un nuovo coltro da sostituirsi alla vanga*, nella quale, avvalorando i risultati della sperimentazione di Pictet, rende noto di avere chiesto allo stesso «un Coltro Machet d'accuratissima costruzione, ed egli con la solita bontà, che tanto lo distingue, me ne trasmesse uno

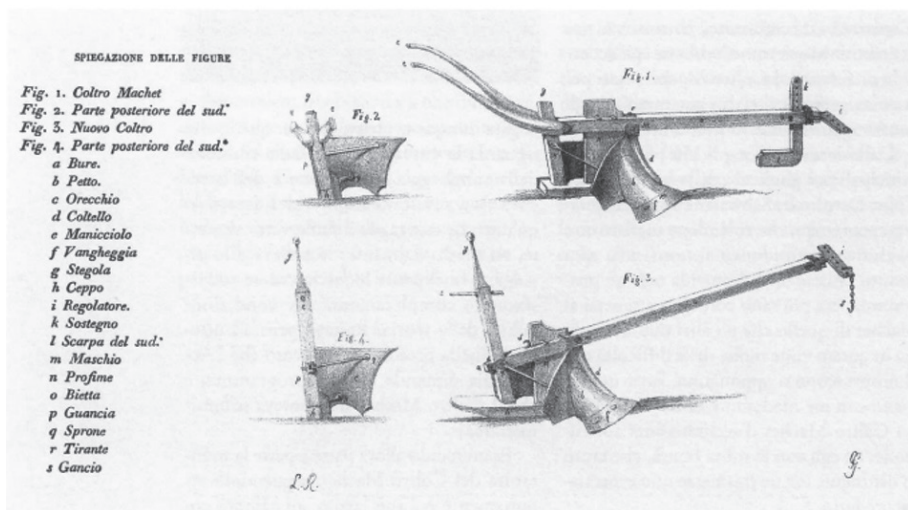


Fig. 1 Aratro Machet e aratro-coltro Cosimo Ridolfi

espressamente fatto». Dell'aratro il marchese voleva verificarne la rispondenza alla profondità di lavoro richiesta dal Concorso dell'Accademia. Constatato che il modello inviato non consentiva di raggiungere una sufficiente profondità, Ridolfi apporta diverse modifiche, tra le quali l'allungamento della bure e la soppressione dei due manici sostituiti con una sola stegola. Scrive Ridolfi: «Sotto queste nuove forme il mio Coltro non ebbe alcuna pena ad approfondirsi un terzo più di prima nel suolo, ma trattandosi di rompere a questa profondità un sodo costante, un vecchio prato, ecc. la salute di un solo paio di Bovi sarebbe stata compromessa dalla necessaria fatica, e risolvetti di raddoppiarli». Nasceva così il Coltro Ridolfi a una sola stegola di guida (fig. 1).

Al Bando indetto dall'Accademia parteciparono cinque concorrenti. L'organizzazione e la valutazione delle diverse prove di lavorazione a cui dovevano essere sottoposti i cinque modelli di aratro furono affidate a una Commissione di sei persone, presieduta dal dottor Gioacchino Taddei che, nell'Adunanza del 26 settembre 1824, presenta all'Accademia i risultati delle prove con una particolareggiata relazione, dal titolo *Rapporto della Deputazione ordinaria sugli aratri-coltri presentati al concorso dell'anno 1824*. Il rapporto precisa che solo tre dei cinque modelli presentati rispondevano ai requisiti richiesti dal Bando e illustra poi i risultati delle prove di lavoro. Questi dimostrarono che, mentre non significative erano le differenze tra un aratro e l'altro, rimarchevole era risultata, rispetto a quanto richiesto dal Bando, la differenza con il lavoro effettuato con la vanga, specie per quanto attiene l'ottenimento dello

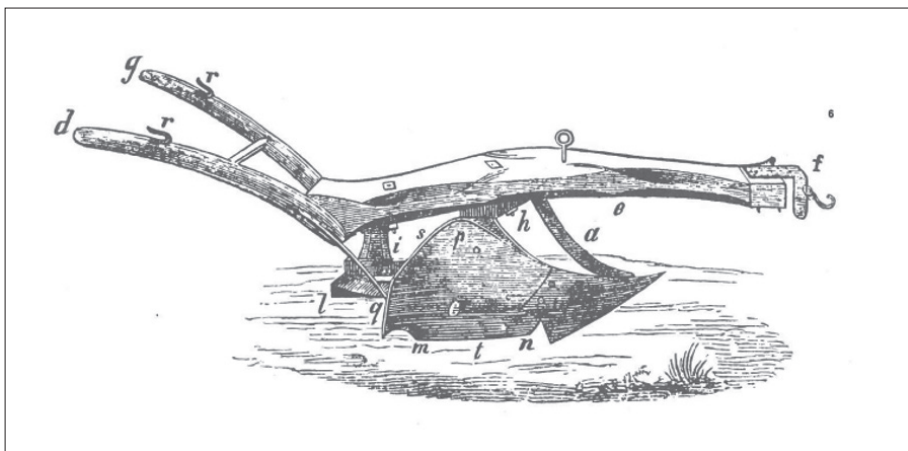


Fig. 2 *Primo aratro-coltro Lambruschini Ridolfi*

sminuzzamento del terreno. Il premio di 40 zecchini non fu quindi assegnato ma, considerando il contributo di conoscenza portato dai partecipanti e il forte impegno da essi dimostrato, previo il consenso dell'Accademia, la Commissione accordò 25 zecchini a titolo di incoraggiamento all'aratro-coltro presentato dal marchese Ridolfi, in quanto aveva fornito i migliori risultati e, sempre a titolo di incoraggiamento, 15 zecchini all'aratro-coltro dell'esperto bifolco Gennai che, comunque, presentava alcune innovazioni. Il terzo aratro del signor Romanelli ricevette solo una menzione in quanto non presentava elementi di novità.

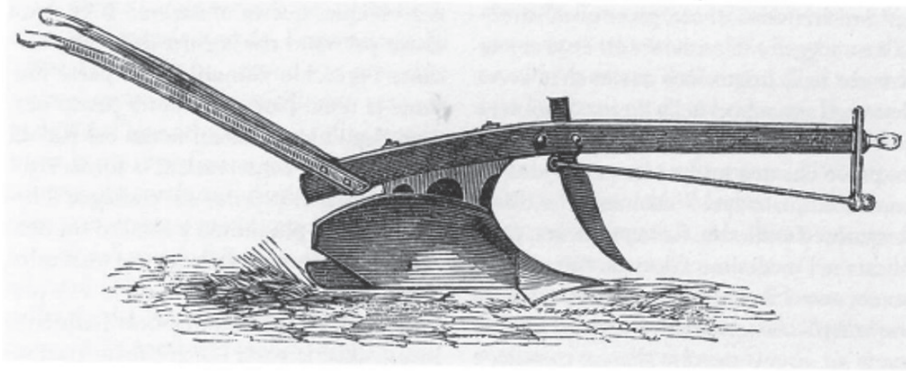
In un dotto articolo pubblicato nel 1832 sul «Giornale agrario toscano», Raffaello Lambruschini sostiene che fin dal 1827 fu stimolato «a studiare con profonda attenzione l'azione dell'orecchio degli aratri e de' i coltri nel rovesciare la terra». Partendo da quanto sostenuto da Jefferson e anche da Arbuthnot, egli analizza le tre fasi del rovesciamento della zolla, sostenendo che avviene disegnando una curva circolare differente da quella del circolo. Non si tratta di una cicloide ma di una spirale. Precisamente, sostiene Lambruschini, «la spirale prodotta dalla sua simultanea rotazione è la spirale cilindrica, cioè l'elice». Nel 1828 Lambruschini conduce prove di aratura adattando al coltro Ridolfi l'orecchio realizzato secondo quanto emerso dai suoi studi. Ebbe così modo di constatare che «la sua azione nel rovesciare la terra mi si mostrò appunto quale io la desiderava e l'aspettavo». In accordo con il marchese vennero quindi apportate alcune modifiche al coltro Ridolfi che portarono alla costruzione del coltro Lambruschini Ridolfi, non più con una sola stegola ma con due (fig. 2).

Nel 1835, sempre sul «Giornale agrario toscano», Cosimo Ridolfi scrive: «Poi vennero le belle ricerche del Lambruschini sulla miglior curvatura dell'orecchio da coltro, ed io ne adottai le conseguenze ingegnose fabbricando dei coltri notabilmente migliorati così, non solo per uso mio, quanto ancora per altri coltivatori esteri e nazionali». Sull'esempio della Scuola di Meleto aperta in Val d'Elsa da Ridolfi, cominciarono a sorgere in Italia, come già avveniva all'estero, le fabbriche di strumenti aratori che venivano venduti ai proprietari terrieri stimolandone così l'interesse e la diffusione.

L'aratro del marchese Ridolfi fu presentato a Torino in occasione della seconda riunione degli scienziati italiani (1840) a cui parteciparono diversi membri dell'Accademia dei Georgofili, i quali erano anche membri della Reale Accademia di agricoltura di Torino. L'aratro fu oggetto di una relazione, molto apprezzata, letta dal conte Villa di Montpascal e poi anche sperimentato, alla presenza di Cosimo Ridolfi e di Dombasle, nell'Orto Georgico della Crocetta di proprietà dell'Accademia torinese. Il risultato venne molto apprezzato e, da quel momento, l'aratro Ridolfi iniziò a diffondersi anche in Piemonte. Del resto nell'Ottocento le Esposizioni e soprattutto i Concorsi, rappresentavano il modo più efficace per fare conoscere e diffondere le nuove strumentazioni.

Questo mi spinge ad aprire una parentesi sulle riunioni degli scienziati italiani che si svolsero in modo itinerante con cadenza annuale dal 1839 al 1847 e ripresero a Firenze nel 1861 per poi concludersi a Palermo nel 1875. È interessante rilevare che, prima che si realizzasse l'unità d'Italia, gli scienziati italiani, già si riunivano. Dopo la Restaurazione, sotto la spinta della prima rivoluzione industriale, in diversi Paesi europei si tenevano incontri tra gli scienziati, e questo stimolò una simile iniziativa anche nel nostro. Il merito è anche di Giovan Pietro Vieusseux in quanto, grazie ai suoi rapporti con l'ambiente ginevrino, a Firenze, la rivista «Antologia» dal 1821 iniziò a pubblicare i resoconti delle adunanze di scienziati tenute in Svizzera e in Germania. Non è infatti casuale che la prima riunione abbia avuto luogo a Pisa, la seconda come abbiamo detto a Torino e la terza a Firenze sotto la presidenza di Cosimo Ridolfi.

Si è detto dell'affermarsi in Piemonte dell'aratro Ridolfi. Il piemontese Emilio Balbo Bertone di Sambuy, in un articolo pubblicato nel 1843 sulla «Gazzetta dell'Associazione agraria» dal titolo *Considerazione sopra un nuovo aratro*, da un lato elogia l'aratro Ridolfi in quanto «svolge un lavoro di gran lunga superiore a quello dell'aratro piemontese ch'io adoperava», dall'altro lamenta il fatto che l'aratro esigeva una forza eccessiva che, sostiene Sambuy, «rendeva alquanto restii i miei bifolchi ad usarlo». Decide quindi di studiare e ricercare possibili miglioramenti basandosi sui già citati studi del Lambruschi-

Fig. 3 *Aratro Sambuy*

ni pubblicati sul «Giornale agrario toscano» nel 1832. Concorda con Lambruschini che la superficie curva dell'orecchio non può che essere un'elicoide cilindrica di cui però ritiene necessario prolungare la lunghezza dell'orecchio. Apporta altre modifiche come quella di non tenere il coltello fisso al vomere. Nasceva così l'aratro Sambuy, fatto costruire nello Stabilimento di Lesegno (Mondovì) di proprietà dello stesso Sambuy. Questo aratro venne premiato nel 1843 nel Congresso Agrario di Alba (fig. 3).

Nel 1845, il «Giornale agrario toscano» pubblica una lunga Memoria di Luigi Ridolfi dal titolo *Considerazioni sulla teoria degli strumenti aratori, e specialmente di quelli a un solo orecchio*. L'autore ritiene che Lambruschini abbia perfettamente definito la «teoria meccanica dell'orecchio», e che abbia anche dimostrato con rigore «qual sia la foggia che più convenga assegnarli onde si abbia la massima economia di forza motrice». Nel contempo però sostiene la necessità di definire esattamente le dimensioni dell'orecchio prendendo in considerazione l'effetto dei tre parametri che regolano l'azione dell'orecchio e cioè: attrito, aderenza e resistenza alla torsione. Afferma poi che l'azione dell'orecchio è influenzata dal rapporto larghezza della fetta e profondità del lavoro e, sulla base di queste e di altre considerazioni teoriche, giunge a proporre che «la matrice della parte anteriore dell'orecchio piuttosto che da un semi-cilindro si ricavasse da un mezzo cono troncato la cui altezza eguagliasse la lunghezza che vuol darsi all'orecchio, e la cui base minore avesse per raggio la larghezza della fetta, mentre l'altra fosse di tanto maggiore quanto si reputa necessario».

Raffaello Lambruschini ritorna a occuparsi dell'aratro dopo che all'ottavo Congresso degli scienziati italiani tenutosi a Genova nel 1846 vide esposto l'aratro Sambuy. Lo rende noto un articolo del 1854 pubblicato sul «Giornale agrario toscano» dal titolo *Breve dichiarazione degli strumenti aratori presen-*

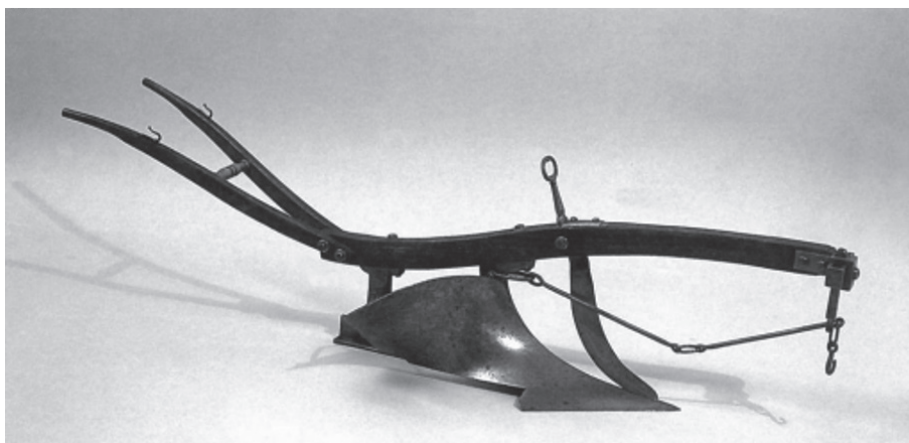


Fig. 4 Aratro-coltro Lambruschini Ridolfi premiato a Parigi (1855) e a Firenze (1861)

tati da Raffaello Lambruschini alla pubblica Esposizione Toscana preparatoria alla Universale di Parigi. Sulla base di argute argomentazioni, Lambruschini afferma di avere portato modifiche al modello Sambuy realizzando un aratro impiegato in Valdarno e nel Mugello col quale, sostiene «si fa molto lavoro in poco tempo: si rivolta e si stritola minutamente la terra; si va comunemente alla profondità di 33 e 34 centimetri, si giunge anche a 36 e 38; e un pajo di buoi basta a tirare il coltro». L'aratro che ne deriva, viene premiato alla Esposizione Universale di Parigi del 1855 e alla prima Esposizione Internazionale di Firenze del 1861 (fig. 4).

Si tratta, come si può ben comprendere, di una materia in continua evoluzione che porta a costruire modelli di aratro realizzati per rispondere alle diverse condizioni del terreno. Interessante in proposito è quanto scrive Luigi Della Fonte in occasione della prima grande Esposizione di Firenze del 1861, durante la quale vennero esposti molti modelli di aratro provenienti da diverse parti: «Ora si potrebbe domandare, fra tutti gli aratri presentati quale fosse il migliore? Credo che una replica decisiva non potesse dare né Trimolemo, né Sant'Isidoro. E noi che non abbiamo divinità ci consentiamo di dire ai coltivatori quel che per convinzione sentiamo. Ognuno deve scegliersi quell'aratro che meglio si adatta alle proprie condizioni». Termina il suo scritto fornendo suggerimenti per la scelta dell'aratro in relazione alle condizioni di alcune località toscane.

Questa evoluzione costruttiva, porta a superare l'iniziale empirismo artigianale. Grazie alla progressiva sostituzione delle parti in legno con materiali in ghisa e in acciaio e al lento sommarsi di innovazioni, durato circa un seco-

lo, si arriva così alla costruzione di modelli di aratri con struttura portante e organi di lavoro (coltello, vomere e versoio), sempre più evoluti e in grado di rispondere alle diverse condizioni fisico-meccaniche e orografiche dei terreni.

A conclusione di questa rapida rassegna sull'evoluzione dell'aratro a trazione animale, ritengo sia utile fare rilevare che i risultati delle prove di campo dimostrarono che, a pressoché parità di condizioni, l'introduzione dell'aratro Ridolfi consentì di ridurre di tredici volte il tempo di esecuzione della lavorazione. Infatti, mentre per effettuare la vangatura di una superficie di poco meno di un quarto di ettaro (2360 metri quadri) occorrevano 10,3 giornate di 10 ore di un uomo, cioè 103 h-uomo, con l'aratura, lavorando sulla stessa superficie, l'operazione veniva ultimata in una sola giornata di 8 ore ($103/8 = 12,8$). Riferendo i tempi di lavoro a un ettaro di terreno si ottengono valori pari 436 h/ha con la vangatura e a 34 h/ha con l'aratura.

2. DALLA TRAZIONE ANIMALE ALLA TRAZIONE MECCANICA DELL'ARATRO

La prima macchina con la quale si cercò di sostituire la trazione animale dell'aratro con quella meccanica, fu la macchina a vapore. I primi esperimenti vennero condotti in Inghilterra già all'inizio dell'Ottocento e prevedevano la trazione diretta dell'aratro da parte di una locomotiva. In Italia Pietro Ceresa-Costa cercò di introdurre questa soluzione utilizzando una locomotiva stradale costruita dalla ditta Marshall Sons and C. di Gainsborough (fig. 5). L'investimento ammontava a 16.000 lire (15.000 per la locomotiva 1.000 per l'aratro trivomere), pari al valore di 10 coppie di buoi. Questa soluzione che consentiva di effettuare l'aratura alla profondità di 70 cm in 15 h/ha, non trovò applicazioni significative, sia per l'elevato investimento, sia perché le locomotive erano particolarmente pesanti creando problemi di compattamento e negli spostamenti.

Il ricorso alla trazione diretta fu così superato, già a partire dagli anni '30 dell'Ottocento, dalla trazione funicolare. Il merito è di John Fowler di Leeds che propose l'impiego di una locomotiva fissa a bordo campo azionante un cavo, che trascinava l'attrezzo di lavoro, guidato da pulegge e carro-ancora posto sul lato opposto del campo. La soluzione di Fowler ebbe grande successo. In seguito venne modificata impiegando due locomotive fisse ai lati opposti del campo. Successivamente, i Fratelli James e Frederick Howard di Bedford riproposero l'idea di impiegare una sola locomotiva fissa a bordo campo che azionava una corda di trazione dell'aratro disposta in modo da circondare il campo. In Italia l'interesse verso la trazione meccanica con macchine a vapore si sviluppa a partire dalla seconda metà dell'Ottocento. Nel 1872 vengono svolte prove di aratura con macchina a vapore nell'Agro romano con il sistema

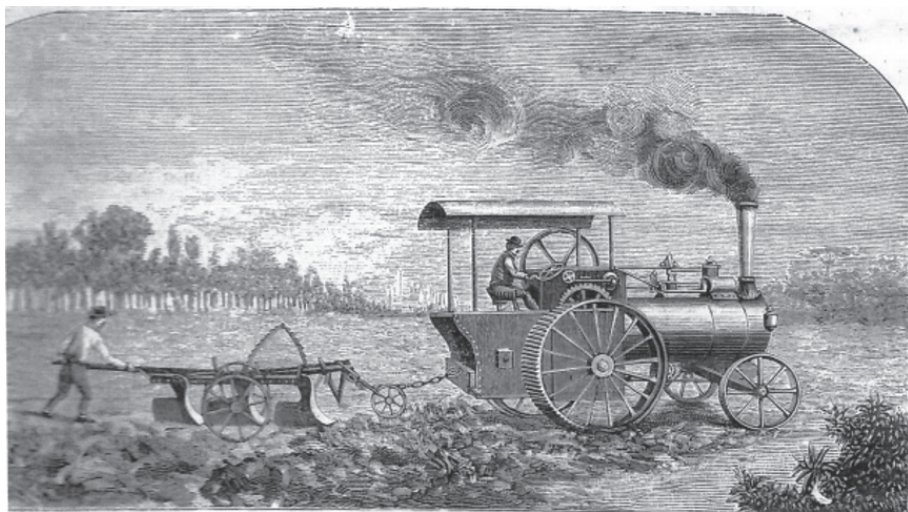


Fig. 5 *Aratura sistema Ceresa-Costa con macchina a vapore*



Fig. 6 *Aratura funicolare con macchina a vapore sistema Ferretti-Fioruzzi*

Howard e, successivamente, con l'impiego del primo sistema Fowler. Sistemi di trazione funicolare a vapore furono costruiti anche in Italia. Merita di essere ricordato quello di Ferretti-Fioruzzi che si rifaceva al secondo sistema Fowler, prevedendo l'impiego di due locomotive (fig. 6).

Il tema della trazione funicolare, non con macchine a vapore ma con animali al fine di ridurre il compattamento del terreno fu, tra gli altri, affrontato da Antonio Pacinotti, meglio noto come inventore della dinamo, con i suoi studi sulla trazione Polispastica, oggetto di due comunicazioni all'Accademia

dei Georgofili, la prima nel 1904, la seconda nel 1906. Il sistema non si diffuse per il contemporaneo evolversi dei mezzi meccanici motorizzati.

All'inizio del Novecento vennero realizzati trattori a vapore senza particolare successo e continuarono le proposte anche della trazione funicolare e, nel contempo, cominciarono a essere presentate le prime macchine azionate con motore endotermico. Il concreto diffondersi della trazione meccanica si ebbe proprio con l'introduzione e con l'affermazione di questi motori. A questo proposito non si può ignorare che il 5 giugno 1853, Padre Barsanti e Felice Matteucci depositarono, presso l'Accademia dei Georgofili, la prima Memoria sui risultati delle comuni esperienze compiute a partire dal 1851, che li portarono, nello stesso anno, alla costruzione del primo motore a scoppio Barsanti-Matteucci nella Fonderia fiorentina di Pietro Benini.

Ai primi del Novecento, negli Usa cominciarono a comparire i primi trattori e i primi apparecchi di motoaratura a trazione diretta azionati da motore a scoppio. A Milano gli ingegneri Pavesi e Tolotti costruirono un modello di motoaratrice, azionata con motore a petrolio da 30 kW di potenza, con tre corpi di aratro su un telaio a tre ruote, di cui una motrice, una direttrice e la terza portante. La macchina venne presentata all'Esposizione di Torino del 1911 e fu anche premiata al concorso di motoaratura. Ebbe una discreta diffusione anche all'estero, ma venne rapidamente sostituita a seguito della diffusione dei trattori costruiti non solo negli Usa, ma anche in Europa e in Italia. Sul mercato americano, i primi trattori a ruote azionati da motore a scoppio apparvero nel 1902, mentre al 1907 risale la trazione a cingoli e al 1931 l'introduzione delle ruote gommate in sostituzione delle ruote metalliche. Il primo trattore italiano è del 1912 e fu costruito dalla ditta Baroncelli di Ravenna in due modelli da 11 e 25 kW, dotati di due ruote motrici posteriori e una sola ruota anteriore direttrice. Nel 1917, l'ingegner Pavesi realizzava il primo trattore a quattro ruote motrici; soluzione che si affermò solo dopo la Seconda guerra mondiale. Nel 1922 la ditta Bubba costruiva un trattore con motore semi-diesel a testa calda e i fratelli Cassani di Treviglio, nel 1927, applicarono per primi il motore a ciclo Diesel al trattore, proponendo così la soluzione destinata a soppiantare, nel Secondo dopo guerra, il motore a benzina (fig. 7).

Nel 1930 la Ditta Sacerdoti realizzò con scarso successo due modelli di trattore elettrico con alimentazione a cavo della potenza, rispettivamente, di 18 e 26 kW. Nel 1931 la Fiat costruiva il primo trattore a cingoli, mentre la trazione su ruote in gomma nel nostro Paese si affermò solo negli anni '50; bisogna però aspettare gli anni '80 prima di avere l'impiego di pneumatici larghi ed extralarghi a bassa pressione di esercizio per ridurre il compattamento prodotto da trattori di sempre maggiore potenza e anche di maggior peso.

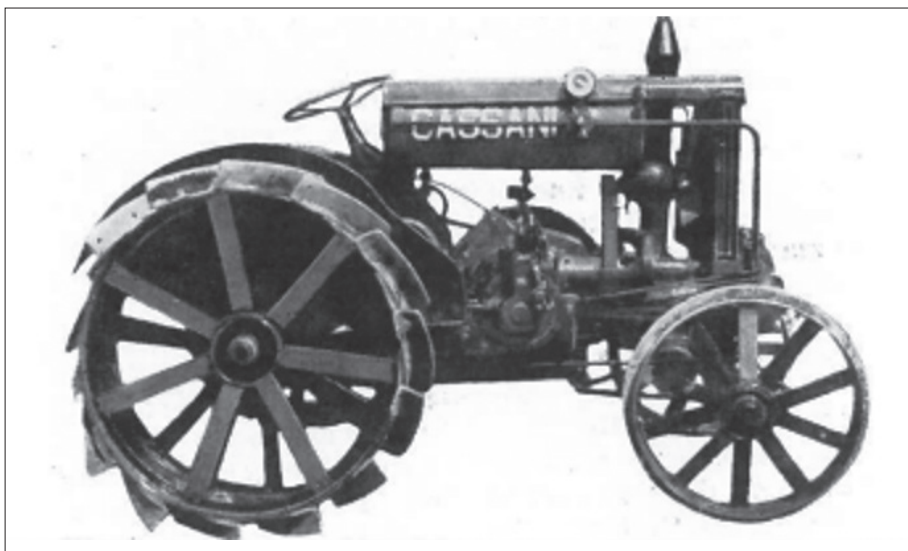


Fig. 7 *Trattore dei Fratelli Cassani con motore diesel*

Tra le innovazioni più significative comparse nel lento evolversi del trattore vanno segnalati: il sollevatore idraulico e la presa di potenza, inizialmente applicati solo posteriormente e, successivamente, anche anteriormente. Il dispositivo di sollevatore idraulico a controllo automatico fu presentato da Fergusson alla fine degli anni '30. Esso rivoluzionò il collegamento trattore-operatrice e permise di passare da un accoppiamento solo trainato a uno portato o semiportato. Lo stretto collegamento motrice-operatrice rende il cantiere di lavoro simile a un mezzo semovente che utilizza la centrale idraulica del trattore per posizionare correttamente l'operatrice. La presa di potenza, inizialmente solo meccanica e poi anche idraulica, venne adottata intorno agli anni '50. Essa consente di azionare le operatrici che operano con organi mobili. Migliora anche la sicurezza dell'operatore con l'introduzione dei telai e delle cabine di guida e di comandi sempre più servoassistiti. Il trattore, da mezzo destinato prevalentemente alla trazione e alla lavorazione del terreno, diventa generatore mobile di potenza per le diverse macchine operatrici.

Anche l'aratro viene adeguato alla trazione meccanica diretta e con il crescere della potenza motore cresce anche il numero dei vomeri (aratri polivomere). In questo settore i costruttori italiani si distinguono in virtù della lunga tradizione. Confronti tra le prestazioni ma soprattutto tra l'usura del versoio di aratri in lamiera di costruzione nazionale ed estera, effettuati dall'Istituto di Meccanica agraria dell'Università di Torino dal 1938 al 1942, dimostrarono la superiorità degli aratri italiani in quanto i versoii nel corso delle prove subirono una minore

usura. Aratri particolari sono i polivomeri a geometria variabile, con i quali è possibile avere una diversa larghezza di lavoro per ogni singolo corpo e, quindi, anche dell'aratro nel suo complesso. L'esigenza di normalizzazione delle tipologie di aratri, ha spinto i costruttori, pur con le necessarie varianti, verso tre modelli fondamentali di superficie convenzionale del versoio: cilindrico, elicoidale e mista. In linea di massima si può dire che il versoio cilindrico è il più adatto per terreni tendenzialmente sciolti; quello elicoidale risponde meglio nella lavorazione di terreni caratterizzati da una certa compattezza; quello misto svolge una funzione intermedia tra i due. La lunghezza del versoio è variabile entro ampi limiti. Essa, come già veniva detto nell'Ottocento, deve essere opportunamente scelta in funzioni delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno. Negli anni sono stati poi realizzati tipi non convenzionali di versoio. Tra questi il versoio a losanga e il versoio fenestrato. Quello a losanga dà luogo a fette di sezione romboidale con due lati curvi. Questo consente una serie di vantaggi, quali: maggiore larghezza di lavoro a parità di lunghezza dell'attrezzo, minore forza di trazione, miglior rivoltamento della fetta. Il versoio fenestrato presenta fessure sulla sua superficie. Ciò riduce l'attrito radente del terreno sul versoio e, quindi, anche la forza di trazione.

L'accoppiamento trattore-aratro polivomere consente di avere capacità di lavoro molto elevate. Rispetto alle 34 h/ha dell'aratro del marchese Ridolfi, l'aratura con un trivomere richiede meno di 1 h/ha. All'evolversi del trattore si è legato anche l'evolversi dell'intero parco macchine con un conseguente crescente aumento della produttività del lavoro. In pratica per l'intero ciclo di coltivazione del frumento, si passa dalle circa 400 h-uomo/ha della fase definita di motorizzazione dell'agricoltura degli anni '40, alle 20-25 h-uomo/ha della fase definita di meccanizzazione dell'agricoltura degli anni '70. Fase quest'ultima che investe non solo il potenziamento quantitativo del parco macchine ma implica anche la scelta corretta dello stesso per l'espletamento dell'intero ciclo di lavoro. L'evento e l'attuazione dell'agricoltura conservativa, con la quale oltre alla minima lavorazione si pratica anche la semina su sodo, e il conseguente evolversi del parco macchine, fanno ulteriormente crescere la produttività del lavoro e, sempre con riferimento al ciclo di coltivazione del frumento, si arriva a tempi di lavoro sotto le 10 h/ha.

3. DALLA MECCATRONICA ALL'AGRICOLTURA 4.0

Nella seconda metà degli anni '70, la prima elettronica 3.0 invade la meccanica dando luogo alla meccatronica, cioè alla combinazione meccanica-elettronica-informatica. Un'innovazione che è stata gradualmente introdotta nelle macchine agricole in generale e nel trattore in particolare, consentendo di rea-

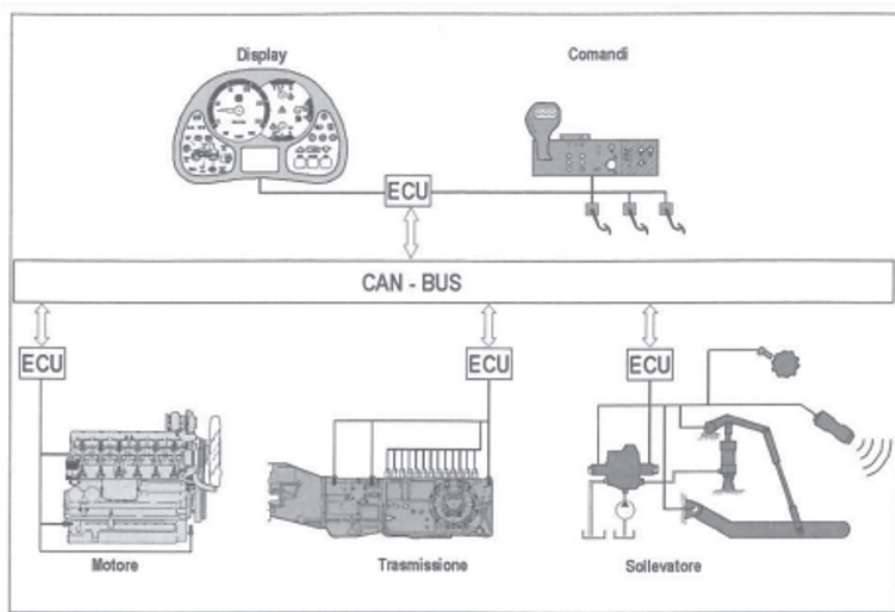


Fig. 8 Interconnessione tra diversi ECU tramite CAN-Bus nel trattore

lizzare sistemi completamente automatici di controllo. Un sistema di controllo è sostanzialmente costituito da: sensori, controllori e attuatori. I sensori di varia natura rilevano i dati che vengono elaborati dai controllori i quali mandano comandi agli attuatori. Ciò avviene mediante il Bus, ossia tramite un sistema di linee elettriche attraverso le quali vengono scambiati pacchetti digitali di dati. I controllori sono indicati con il simbolo ECU (*Electronic Control Unit*). Sono sostanzialmente dei microprocessori che elaborano i dati ricevuti e in continuo confrontano il risultato con il valore impostato e, in caso di scostamento, trasmettono la correzione all'attuatore. Ogni ECU controlla un determinato sottosistema (motore, trasmissione, sollevatore idraulico ecc.). Il Bus consente di mettere in contatto le azioni di più ECU tramite l'interconnessione CAN-Bus (*Controller Area Network*). Il coordinamento dei diversi sottosistemi è affidato all'unità centrale posta in cabina che elabora la combinazione funzionale ottimale o, comunque, quella voluta dall'operatore (fig. 8).

L'adozione di protocolli standardizzati di comunicazione consente di interrogare ciascuna ECU da remoto, attraverso dispositivi di telefonia mobile, GSM o altri più avanzati. Questo consente, ad esempio, di aggiornare il software del microprocessore, o di fare interventi di manutenzione preventiva e altro. Un'ulteriore evoluzione è stata portata dall'ISO-Bus, cioè dal canale

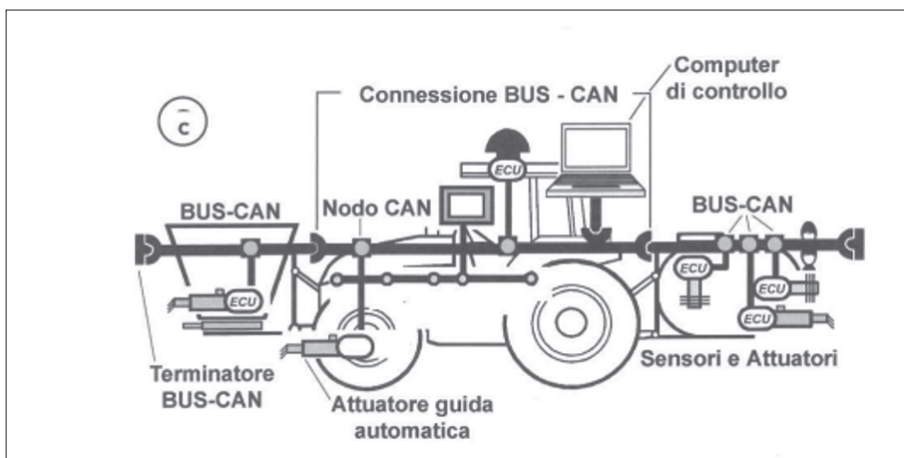


Fig. 9 Sistema di comunicazione trattore operatrice

di comunicazione tra i sensori montati sugli attrezzi accoppiati al trattore con l'unità centrale della cabina. Trattore e attrezzo accoppiato diventano così una sola unità controllata dall'unità centrale. Ne deriva che quanto più un trattore è tecnologicamente evoluto, tanti più ECU saranno presenti (fig. 9).

All'inizio degli anni '90, sotto la spinta di ciò che avveniva negli Usa, anche nel nostro Paese nasce l'interesse per l'agricoltura di precisione (AdP), che consiste nel fare una razionale gestione agronomica sul singolo appezzamento di terreno e sulla coltura considerando la loro variabilità spaziale e temporale. Si parla di agricoltura a "sito specifico", cioè di una forma di gestione agronomica nella quale singole parti di uno stesso appezzamento vengono trattate come unità separate in funzione delle specifiche condizioni ed esigenze agronomiche, colturali e sanitarie. Questo consente di ottenere le stesse produzioni, o anche rese superiori, con minori input, specie chimici, evitando così inutili sprechi a vantaggio del reddito e dell'ambiente. L'innovazione tecnologica degli ultimi anni inoltre consente non solo di vedere la variabilità, ma anche di conoscere attraverso modelli meccanicistici, i fattori che la generano e, quindi, di anticipare eventuali problemi legati, ad esempio al possibile insorgere di attacchi parassitari, mettendo così in atto strategie di prevenzione anziché interventi curativi spesso tardivi.

L'applicazione dell'AdP si basa su cinque pilastri:

- mecatronica montata sul trattore e sulle macchine operatrici;
- sistema di posizionamento geografico determinato da costellazioni di satelliti (GBS, GLONASS, GALILEO);

- rete di sensori di varia natura e Big Data;
- sistemi di elaborazione dati e definizione di modelli decisionali;
- sistemi di connettività podereale e interpodereale.

Lo sviluppo dell'innovazione in questi singoli pilastri rende l'AdP sempre più performante e porta, per step successivi caratterizzati da crescenti livelli di innovazione, a quella che viene definita agricoltura 4.0. Un primo step, consentito dalla mecatronica e dal sistema di posizionamento satellitare della macchina abbinato al segnale RTK (sistema di correzione che permette di raggiungere livelli di precisione di pochi centimetri), è la guida parallela, assistita o anche autonoma. Ne deriva un minor numero di passaggi, quindi minor compattamento e maggiore capacità di lavoro, oltre che di minor stress dell'operatore. Negli step successivi cresce il livello di innovazione per quanto attiene sia la rilevazione dei dati, sia la gestione sempre più smart degli interventi. Un esempio è dato dagli interventi a "rateo variabile", cioè la somministrazione di un dato input in funzione delle condizioni del suolo, dello stadio vegetativo, dello stato sanitario, del grado e tipo di infestazione, ecc. Riguarda diverse operazioni, come la semina, la concimazione, il diserbo, i trattamenti, l'irrigazione, e può essere effettuato con mappe di prescrizione o in real-time. Nel primo caso si utilizzano informazioni acquisite prima dell'intervento, la cui elaborazione fornisce indicazioni puntuali sullo stato del terreno o della coltura definendo, di conseguenza, la modalità di intervento che viene riportata sulla mappa di prescrizione. Questa viene importata sulla macchina georeferenziata e il microprocessore che controlla lo specifico sottosistema di erogazione governa, durante l'avanzamento della macchina, le variazioni di input (semente, concime, diserbante, pesticida) secondo quanto contenuto nella mappa (fig. 10).

Il real-time invece utilizza sensori che consentono di regolare i tassi di applicazione dell'input durante l'avanzamento della macchina, nello stesso istante in cui il dato è rilevato. Nella concimazione azotata in copertura a rateo variabile con la tecnica del real-time, ad esempio, si utilizzano sensori che forniscono l'indice di vigore vegetativo della coltura (NDVI), in funzione del quale viene regolata la dose di fertilizzante. Con il rateo variabile si ottengono riduzioni significative dell'input: sementi 10%, fertilizzanti 10-20%, diserbanti sino al 50%.

Gli step più avanzati portano all'agricoltura 4.0, la cui introduzione è spinta dall'industria manifatturiera. Si tratta di storia recente, in quanto è solo da una decina di anni che si sente parlare di Industria 4.0, e anche di quarta rivoluzione industriale. In Italia il primo Piano di Industria 4.0 è del 2016. Da quella data, sempre più sono le applicazioni delle tecnologie 4.0 utilizzate dalle imprese ma-

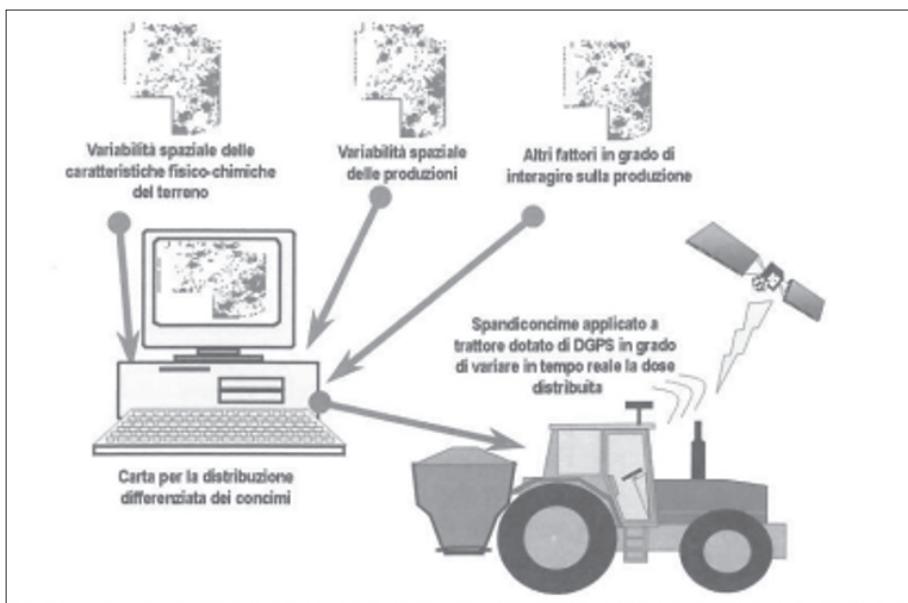


Fig. 10 *Concimazione con mappa di prescrizione*

nifatturiere. Le più diffuse prevedono l'impiego di Internet delle cose (IoT) e dell'Intelligenza Artificiale (AI) e portano verso la transizione digitale di queste imprese che, per esprimersi al massimo della potenzialità, hanno però bisogno di una connessione rapida (connessione 5G o 6G). Nel nostro Paese le applicazioni dell'agricoltura 4.0 e della digitalizzazione, per le quali, oltre alla connettività, è richiesta anche una adeguata formazione di tecnici e utenti, sono ancora limitate. Per attuare compiutamente l'agricoltura 4.0. occorre infatti realizzare un modello di agricoltura che utilizzi tecnologie digitali tra loro completamente interconnessi e finalizzate a ottimizzare i processi produttivi in modo sostenibile. Siamo ancora lontani dall'avere aziende nelle quali l'intero ciclo produttivo è diretto e controllato dal centro aziendale, ma è indubbio che si tratta di un processo in continua evoluzione verso un'automazione crescente, già attuata in alcuni comparti come quello delle colture protette e della zootecnia.

Ogni anno aumenta l'interesse e crescono gli investimenti per la digitalizzazione dei processi produttivi. Nel 2019, secondo uno studio del Politecnico di Milano, in Italia l'investimento in agricoltura di tecnologie 4.0 sarebbe stato pari a ben 450 milioni di euro. Secondo l'International Data Corporation (IDC), la spesa globale a livello mondiale della trasformazione digitale, nel 2025 potrebbe raggiungere 2.800 miliardi di dollari, raddoppiando così

l'importo del 2020. Gli Usa saranno il più grande mercato con circa un terzo del totale mondiale, seguiti dall'Europa occidentale. L'Italia non può perdere questo treno e tanto meno lo può perdere il nostro settore agricolo.

4. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Per attuare un'agricoltura intensiva sostenibile, necessaria per soddisfare le esigenze alimentari di una popolazione mondiale in continua crescita, non basta favorire gli investimenti in tecnologie digitali, ma è anche necessario finanziare la ricerca del settore, attuare una formazione adeguata a livello universitario e non solo, con un'attenzione particolare alle *e-skill*, favorire il ricambio generazionale, mettere in rete le imprese agricole per farne crescere il peso nella catena del valore.

Affinché l'impresa agricola riesca a coniugare competitività e sostenibilità ambientale, all'introduzione delle tecnologie proprie dell'agricoltura 4.0, si dovrebbero però affiancare altre innovazioni e, in particolare, quelle della genomica di precisione, cioè delle nuove tecniche di miglioramento genetico (TEA), quali il *genome editing*. Le nuove sfide, come quelle portate dalla transizione ecologica, dalla transizione digitale, dalla globalizzazione dei mercati con l'arrivo di sempre nuovi e parassiti e dal cambiamento climatico, non possono essere vinte con i metodi del passato, ma vanno affrontate con le innovazioni portate dalla ricerca, come è avvenuto nell'Ottocento con l'introduzione dell'aratro.

RIASSUNTO

La relazione illustra la transizione tra la vangatura manuale e l'aratura, prima a trazione animale poi a trazione meccanica. Analizza poi l'arrivo all'agricoltura di precisione (AdP) e all'agricoltura 4.0. L'AdP non solo riduce gli inputs (semente, fertilizzanti, prodotti chimici) fornendo supporto per l'utilizzazione ottimale delle risorse (terra, lavoro, acqua), ma anche incrementa la produttività e taglia i costi di produzione.

ABSTRACT

From plow to agriculture 4.0. The report illustrates the transition between manual soil digging and plowing, first to animal traction then with mechanical traction. Then analyzes the arrival at the precision farming (PF) and agriculture 4.0. PF not just reduces inputs (seeds, fertilizers, chemicals) and support optimal utilization of resources (land, labour, water), but also increase productivity and cut down production cost.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2002): *Evoluzione dell'Aratro nella Toscana dei Lorena*, Firenze.
- BARALDI G., PICCAROLO P. (1995): *Il ruolo e le funzioni dell'innovazione tecnologia nella meccanizzazione agricola*, in *50 Anni di Meccanizzazione Agricola – La storia e le sfide*, Unacoma, Roma, pp. 62-75.
- BODRIA L., PELLIZZI G., PICCAROLO P. (2013): *Meccanica e meccanizzazione agricola*, Edagricole, Bologna.
- DELLA FONTE L. (1862): *La meccanica agraria nella prima grande Esposizione Italiana*, Tipografia Galileiana, Firenze.
- LAMBRUSCHINI R. (1832): *D'un nuovo orecchio da coltro*, «Giornale agrario toscano», Firenze.
- LAMBRUSCHINI R. (1854): *Breve dichiarazione degli strumenti aratori presentati da Raffaello Lambruschini alla pubblica Esposizione Toscana, preparatoria all'Universale di Parigi*, «Giornale agrario toscano», Firenze.
- LAZZARI M., MAZZETTO F. (2009): *Prontuario di meccanica agraria e meccanizzazione*, REDA, Torino.
- NERLI N. (1967): *I pionieri italiani della meccanizzazione agricola*, Agricoltura e civiltà delle macchine, Ente autonomo per le Fiere di Verona, Verona.
- PICCAROLO P. (1995): *Il contributo della ricerca all'evoluzione della meccanizzazione*, in *50 Anni di Meccanizzazione Agricola – La storia e le sfide*, Unacoma, Roma, pp. 76-86.
- PICCAROLO P. (2017): *Dalla rivoluzione verde al digitale. L'evoluzione dei processi produttivi*, Atti del Convegno «Sguardo al futuro», Cia Agricoltori Italiani, Firenze.
- PICTET C. (1822): *Comparaison de trois charrues*, Bibliothèque Universelle, Agriculture vol. 7, Ginevra.
- RIDOLFI C. (1824): *D'un nuovo coltro da sostituirsi alla vanga*, «Atti dell'I. e R. Accademia Economica Agraria dei Georgofili», Firenze.
- RIDOLFI C. (1835a): *Catalogo degli strumenti agrari perfezionati della Fabbrica annessa al Podere Modello e Sperimentale di Meleto di Val d'Elsa in Toscana*, «Giornale agrario toscano», Firenze.
- RIDOLFI C. (1835b): *Sul perfezionamento degli strumenti rusticali*, «Giornale agrario toscano», Firenze.
- RIDOLFI L. (1845): *Considerazioni sulla teoria degli strumenti aratori, e specialmente di quelli con un solo orecchio*, «Giornale agrario toscano», Firenze.
- SAMBUI E.B. (1843): *Considerazioni sopra un nuovo aratro*, «Gazzetta della Associazione Agraria», Torino.
- SANTINI A. (2012): *L'Ingegneria agraria. La Scuola Agraria di Portici e la modernizzazione dell'agricoltura 1872-2012*, Musa – Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli.