

L'Ingegneria agraria

La Scuola Agraria di Portici
e la modernizzazione dell'agricoltura
1872-2012

Alessandro Santini





Centro Museale "Musei delle Scienze Agrarie" – MUSA

Università degli Studi di Napoli Federico II

Reggia di Portici

Via Università, 100

80055 Portici (NA)

tel. 081 2532016

www.centromusa.it

segreteria@centromusa.it

Tutte le foto provengono dalla collezione Alessandro Santini, tranne dove diversamente indicato.
In copertina: aratura profonda in Puglia negli anni Trenta.

Prima edizione

ISBN 978-88-89972-52-6

© 2015 Doppiavoce

Napoli

www.doppiavoce.it

Tutti i diritti riservati.

È vietata ogni riproduzione.

Indice

I primi docenti delle discipline di Ingegneria agraria	5
Giovanni Domenico Mayer	23
Carlo Santini	43
Gli studi di Meccanica agraria	46
Gli studi sulle Costruzioni rurali	60
L'attività e gli studi nel campo della bonifica	62
Gli sviluppi dell'Idraulica agraria dopo la Seconda guerra mondiale	73
Le ricerche di Roberto Carravetta	73
Le reti irrigue in pressione	79
L'idrologia del suolo	84
Lo sviluppo di modelli matematici	90
Gli studi ambientali	94
L'evoluzione recente della Meccanica agraria, della Topografia e delle Costruzioni rurali	99

I primi docenti delle discipline di Ingegneria agraria

Le applicazioni in agricoltura dei progressi dell'ingegneria meccanica, civile, idraulica ed elettrica hanno contribuito in modo significativo allo sviluppo di una moderna agricoltura e in particolare hanno condotto progressivamente l'agricoltura italiana verso una posizione di avanguardia. Questi progressi hanno accresciuto in maniera considerevole le possibilità delle scelte economiche sugli ordinamenti produttivi e hanno reso possibili nel tempo le conquiste sociali e i tangibili benefici per le categorie rurali, nonché le trasformazioni degli impianti per la lavorazione e la conservazione dei prodotti agricoli secondo sistemi sempre più razionali.

A partire dal Settecento furono migliorati gli attrezzi per agevolare il lavoro umano e degli animali in agricoltura e furono introdotti i primi meccanismi e strumenti innovativi per rendere più efficaci le tecniche di coltivazione. Jethro Tull in Inghilterra propose, nel 1701, una prima macchina per la semina razionale (Figura 1), che normalmente veniva eseguita a mano spargendo in modo non uniforme i semi sulla superficie del terreno, e poi una zappatrice trainata da un cavallo per contenere lo sviluppo delle piante infestanti. Furono anche ideati in quel secolo diversi meccanismi e congegni che non ebbero però una significativa diffusione e restarono allo stato di prototipi privi di potenzialità operativa, ma che, ideati da precursori fantasiosi, in alcuni casi furono successivamente utilizzati, per la loro funzionalità, nelle macchine agricole fondamentali.

Soltanto nell'Ottocento l'attenzione di un discreto numero di inventori si orientò in modo consistente verso macchine e attrezzature agricole. Al problema dell'aratura si rivolse la maggior parte degli interessati e la struttura portante in legno dell'aratro fu progressivamente sostituita da elementi in ghisa e acciaio, studiati e realizzati con criteri ingegneristici, abbandonando il campo dell'empirismo artigianale; con il lento sommarsi di innovazioni, spesso anonime, si giunse alla costruzione di numerosi modelli di aratro che furono prodotti industrialmente e diffusi con il nome del costruttore che ne aveva depositato il brevetto. A rendere più razionali e meno dure le fatiche dell'uomo e degli animali impegnati nei lavori di campo contribuì anche la costruzione e l'introduzione delle prime seminatrici, falciatrici, sgranatrici, mietitrici e trebbiatrici funzionali e negli Stati

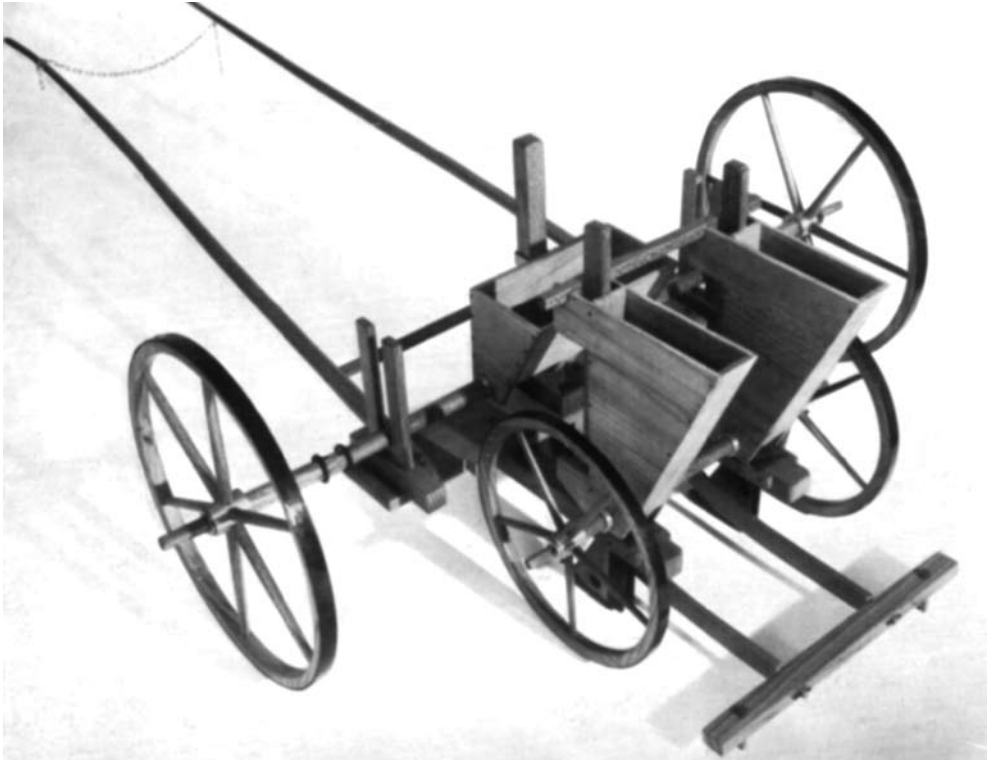


Figura 1. Seminatrice di Jethro Tull (inizi del Settecento) di costruzione leggera; l'assolcatore apriva i solchi per i semi che venivano depositati a cinque centimetri sotto la superficie del terreno, il sistema di distribuzione dipendeva da una parte dentata dell'asse delle ruote attraverso un sistema che consentiva di far cadere il seme ad intervalli regolari durante l'avanzamento.

Uniti, a partire dal 1835, furono realizzate e commercializzate le prime mietitrebbiatrici trainate da cavalli o da muli. Le macchine a vapore, che risultavano troppo pesanti e ingombranti per i lavori agricoli nei campi, vennero impiegate con profitto specialmente per la trebbiatura, anche se sin dalla fine del Settecento in Francia era già stato realizzato per l'artiglieria un trattore a ruote azionato da un proprio motore a vapore (Figure 2-5).

Nella seconda metà dell'Ottocento nelle campagne americane e d'Europa si è assistito ad un'evoluzione delle apparecchiature e delle macchine agricole sostenuta dai crescenti risultati della rivoluzione industriale, mentre in Italia si registravano pochi segnali innovatori in questo settore, solo qua e là qualche accenno ma nulla di esteso e di continuativo. Con la fondazione della R. Scuola Superiore

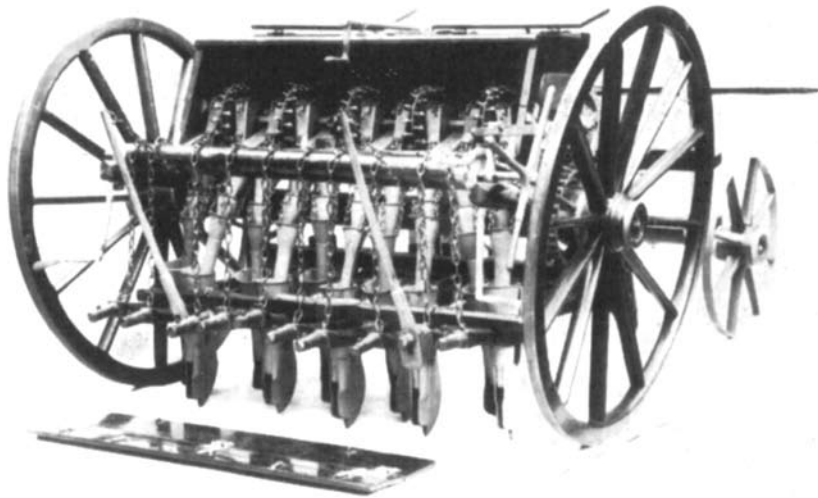


Figura 2. Seminatrice per cereali del 1842; costruita in Inghilterra e caratterizzata da una notevole precisione e da una eccezionale durata.

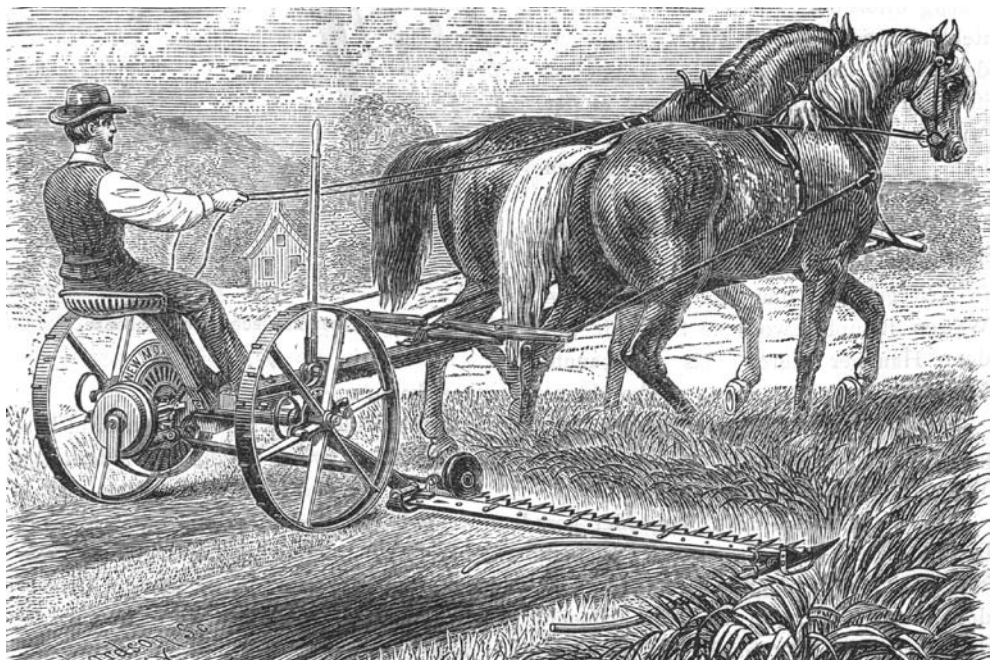


Figura 3. Falciatrice trainata da cavalli (Wust A., *Landwirtschaftliche Maschinenkunde*, Verlag von Paul Parey, Berlin, 1882, pp. 456).



Figura 4. Stampa (seconda metà dell'Ottocento) che illustra l'impegnativo lavoro di mietitura e trebbiatura del grano nella grandi aziende del Dakota.

di Agricoltura in Portici, però, le notizie che venivano dall'estero, in particolare dalla Germania, nel settore della meccanica e in generale dell'ingegneria applicata all'agricoltura, portarono, fin dall'inizio delle attività della Scuola, all'istituzione di un corso di Meccanica e costruzioni agrarie, affiancato e sostenuto da corsi di Fisica e meteorologia agraria, di Disegno e di Agrimensura¹.

¹ L'insegnamento di Fisica e meteorologia agraria era inizialmente un corso speciale costituito da pochi seminari tenuti durante l'anno scolastico, prima da Luigi Palmieri, senatore del regno, e poi da Francesco Contarino, per fornire agli studenti le nozioni necessarie allo studio delle discipline tecnologiche. Una Cattedra di Fisica e meteorologia fu istituita stabilmente solo nel 1890 e, a seguito di concorsi, fu ricoperta prima da Carlo Marangoni e poi da Giuseppe Gerosa. Quando il Gerosa si trasferì alla R. Accademia Navale di Livorno (1898), fu nominato professore incaricato di ruolo Filippo Campanile che prestò la sua opera nella Scuola di Portici con passione e competenza per oltre trentacinque anni. Il Campanile affiancava l'insegnamento teorico ad esercitazioni pratiche per le quali istituì un Gabinetto di Fisica dotandolo man mano di apparecchi, in parte acquistati e in parte appositamente costruiti nell'Officina meccanica della Scuola. A Portici nel parco della reggia in alcuni locali del "Castello" allestiti anche un Osservatorio Meteorologico dotato di barometro campione a mercurio, di termometri a massimo e a minimo, di igrometro, di evaporimetro, di pluviometro, di anemoscopio e anemometro, e poi di apparecchi registratori continui:



Figura 5. Mietitrice-trebbiatrice della ditta Shippee (1883) trainata da ventidue muli, in azione in California; costruita su scala industriale utilizzava i più efficienti brevetti dell'epoca.

Nel 1875 presso la Scuola di Portici fu nominato professore di ruolo di Meccanica e costruzioni agrarie Francesco Milone, socio corrispondente del R. Istituto di Incoraggiamento in Napoli, che ricoprì anche la carica di direttore del Deposito Governativo di macchine agricole annesso alla Scuola e istituito con un assegno speciale del Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio (Maic)². Il Milone (1845-1911) (Figura 6), dottore in matematica e laureato nella R. Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Napoli, fu insegnante di grande valore, cu-

igrometro, termografo eliografo di Campbell e attinometro doppio registratore nonché di un sismografo a pendolo. Successivamente, allo scopo di avere dati comparativi a due quote, fu raggiunto un accordo con il comm. R.V. Matteucci, direttore dell'Osservatorio Vesuviano, per fornire i due Osservatori di apparecchi identici fra i quali si ricorda anche un ozonometro. L'Osservatorio Meteorologico e Geodinamico della Scuola fu ufficialmente riconosciuto e inviava regolarmente le sue osservazioni decadiche all'Ufficio centrale di Roma, all'Ufficio idrografico del Genio Civile di Napoli e, su richiesta, a pubbliche Amministrazioni e a privati. Il corso di Disegno fu tenuto per incarico da Angelo Mazzia, dal dicembre 1872 fino alla sua morte avvenuta nel gennaio 1991, e poi fu accorpato alla Cattedra di Idraulica agraria. L'insegnamento di Agrimensura costituiva solo un corso speciale, per il quale si avvicendarono come incaricati Giovanni Celi, fino al 1882, Pietro Fossi, della R. Scuola d'Applicazione per Ingegneri in Napoli, Luigi Luise e Raffaele Ruotolo, finché, dopo il 1891, fu sostituito dal corso di Geometria pratica (Topografia). AA.VV., *Il R. Istituto Superiore Agrario di Portici. 1872-1928*, Arti grafiche Panetto & Petrelli, Spoleto, 1928, pp. 601. Vedi anche: AA.VV., *La R. Scuola Superiore di Agricoltura in Portici nel passato e nel presente: 1872-1906*, Premiata Stabilimento Tipografico E. Della Torre, Portici, 1906, pp. 331.

² Anche presso la R. Scuola Superiore d'agricoltura in Milano fin dalla sua istituzione, seguendo il criterio consolidato di dare spazio a materie d'ingegneria agraria, vennero attivati i corsi di Elementi di meccanica applicata e di costruzioni rurali, di Fisica e meccanica agraria, di Disegno e di Geometria pratica. AA.VV., *Scuole superiori agrarie all'estero*, Annali di Agricoltura, Tipografia eredi Botta, Roma, 1887, p. XXVII. A Milano l'insegnamento di Meccanica agraria venne affidato inizialmente all'ing. Giovanni Morosini che svolse prove ed esperienze per far conoscere agli agricoltori le macchine che in quel periodo venivano timidamente diffuse.

rò con passione e competenza il suo corso di insegnamento³ e predispose per la prima volta un testo che veniva utilizzato dagli allievi (Figura 7). Dal 1884 ricoprì presso la R. Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Napoli anche l'insegnamento di Macchine termiche, idrauliche e agricole dove curò l'omonimo Gabinetto che potenziò con una sala per le macchine in movimento; fu autore di un trattato completo su *Le Macchine*⁴ in due volumi molto apprezzato in quell'epoca, e guidò gli studenti di ingegneria di Napoli nei primi viaggi di istruzione all'estero.

Le prime applicazioni delle macchine a vapore in agricoltura per l'aratura erano state sviluppate all'inizio dell'Ottocento in Inghilterra ma non avevano portato ad applicazioni pratiche in quanto i primi esperimenti prevedevano la trazione diretta dell'aratro con locomotive che in quell'epoca erano particolarmente pesanti e mal si adattavano agli spostamenti nei campi. Con l'idea di trascinare le apparecchiature di lavorazione del terreno con un cavo azionato da una locomotiva fissa, iniziarono, a partire dagli anni Trenta dell'Ottocento, proposte per soluzioni effettivamente praticabili ed economicamente convenienti di "aratura a vapore". I maggiori contributi in questo settore per soluzioni razionali si ebbero dagli studi di John Fowler di Leeds che impiegò inizialmente una sola locomotiva su un lato del campo per azionare un cavo, che trascinava gli attrezzi di lavoro, guidato da pulegge e carro-ancora (Figura 8). Il sistema proposto da Fowler fu accolto con entusiasmo nelle campagne inglesi e lodato con l'appellativo *Flower is very strong* e fu man mano perfezionato impiegando due unità a vapore e cercando anche di ridurre i costi. Successivamente i fratelli James e Frederick

³ Il corso era articolato in due parti distinte: la Meccanica agraria e le Costruzioni rurali. Per la Meccanica agraria, dopo un breve esame degli organi meccanici e degli elementi di macchine, necessario per rendere agevole la descrizione di qualsivoglia macchina, si passava ad un esame approfondito delle macchine termiche, allo studio delle macchine motrici e all'aratura "a vapore", che iniziava a praticarsi nei latifondi italiani dove era scarsa la manodopera. Passati in rassegna i diversi tipi di aratura, venivano singolarmente trattate le macchine operatrici da spandimento, da raccolta e le macchine per il trattamento dei prodotti agrari. Lo studio era svolto con l'ausilio di tavole murali, pezzi di macchine e macchine intere che erano custodite nel Deposito a lui affidato. Venivano anche eseguite per gli studenti prove sulle diverse macchine studiate, sia nei campi annessi alla Scuola che in altri poderi quando accorrevano maggiori spazi o diverse tipologie di terreni. Per le Costruzioni rurali il programma di studio prevedeva l'esame di diversi casali rustici nei poderi, partendo dalle parti in cui si articolavano e dal loro posizionamento. Venivano poi illustrati i ricoveri per gli animali e i fabbricati a questi annessi, quali le concimaie, i fienili e simili. L'importanza che rivestivano in quell'epoca nell'Italia meridionale le industrie del vino, dell'olio e del latte avevano indotto il Milone a trattare in modo approfondito lo studio degli stabilimenti enotecnici, delle latterie, dei caseifici e degli oleifici, soffermandosi anche sugli impianti e su singole macchine proprie delle diverse industrie agrarie.

⁴ Il I volume riguardava le macchine termiche e il II le macchine idrauliche; esaurita la prima edizione del I volume il Milone ne propose una seconda edizione, riveduta e largamente ampliata, che comprendeva 592 pagine e 597 figure intercalate nel testo.



Figura 6. Francesco Milone.



Figura 7. Raccolta delle lezioni di Francesco Milone a Portici: *Le Macchine Agricole* (a sinistra), *Costruzioni Rurali* (a destra).

Howard di Bedford proposero un loro sistema di aratura a vapore detto *round-about*, in quanto la corda di trazione circondava il campo (Figura 9), e utilizzarono come motrice una locomobile da loro studiata, la *Farmer's Engine* che poteva essere impiegata anche per altre attività aziendali (Figura 10). Alla fine dell'Ot-



Figura 8. Sistema di aratura funicolare Fowler, con locomotiva e carro-ancora, che ebbe un ruolo importante nell'incremento della produzione di alimenti nel Regno Unito.

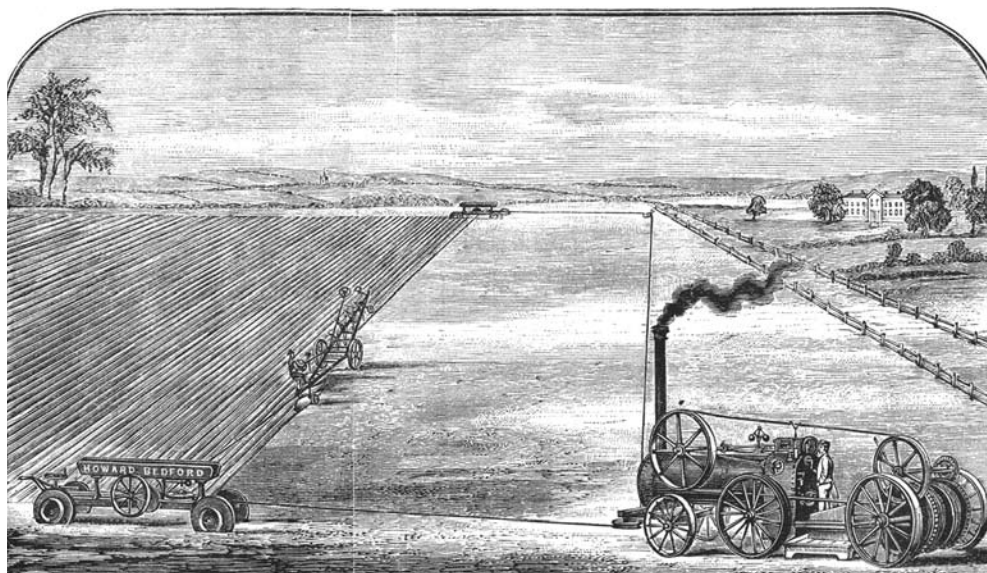


Figura 9. Sistema di aratura funicolare Howard *round-about* con locomotiva e carro-ancora; il sistema fu provato nel 1872 nell'Agro romano per iniziativa del Maic.

tocento furono proposti anche sistemi funicolari italiani legati ai nomi di Selmi-Zangirolami e specialmente di Ferretti-Fioruzzi (Figura 11), che nella loro officina di Piacenza costruirono alcuni apparecchi, compresi i polivomeri, che furono provati nei terreni compatti e resistenti del piacentino. Questi primi sistemi ita-

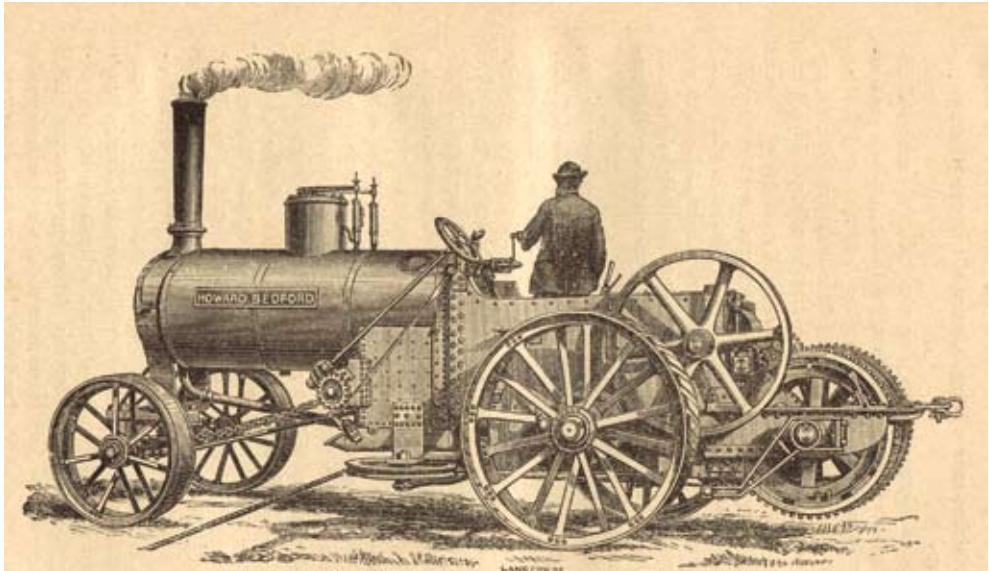


Figura 10. Locomotiva Howard *Farmer's engine*, impiegata con l'omonimo sistema di aratura funicolare ma utilizzata anche per diverse operazioni dagli agricoltori inglesi.



Figura 11. Sistema di aratura funicolare Ferretti-Fioruzzi con due locomotive.

liani ebbero però scarsa diffusione e il loro studio fu limitato principalmente agli aspetti tecnico-economici.

Tuttavia il problema di applicare anche in Italia “l’aratura a vapore” aveva richiamato alla fine dell’Ottocento anche l’attenzione del Maic, che iniziò a provare, nel 1872, apparecchiature funicolari a vapore Howard nell’Agro romano (Figura 9). Pochi anni dopo nella provincia di Ferrara furono eseguite varie prove con il primo sistema Fowler (Figura 12) e con sistemi italiani. Nel 1883, il Consorzio agrario di Roma fece eseguire prove di aratura, con un sistema a vapore a trazione diretta proposto da Pietro Ceresa-Costa di Piacenza⁵ (Figure 13 e 14), alla presenza di propri consiglieri che compilarono una relazione letta in un’adunanza del Consiglio. Il Maic poi, notando in Italia un risveglio per “l’aratura a vapore”, concesse anche sovvenzioni a diversi Comizi agrari per far eseguire, nei rispettivi territori, esperimenti utili per raccogliere dati in diverse condizioni. I risultati degli esperimenti non risolsero però il problema di individuare i sistemi più efficienti per le diverse applicazioni, pertanto il Maic, in accordo con l’Accademia e il Consorzio agrario di Torino, prese l’iniziativa di tenere nel settembre 1884, in occasione dell’Esposizione generale nazionale di Torino, un Concorso Internazionale di apparecchi di aratura a vapore, allo scopo di stabilire quale sistema fosse più conveniente; in quella occasione vennero sottoposti a prova, oltre al sistema Ceresa Costa, anche il sistema funicolare Howard e il sistema proposto da Giacomo Tomaselli di Cremona⁶.

⁵ L’idea di Pietro Ceresa-Costa consisteva nell’utilizzare per la trazione diretta dell’aratro una locomotiva stradale che era già impiegata per il traino dei cannoni e dei carri militari. La necessità di far avanzare la locomotiva sul terreno non lavorato, per non comprometterne l’aderenza, determinava però il tiro deviato degli aratri creando non poche difficoltà di guida. Studi sull’equilibrio dinamico del complesso locomotiva aratro e l’applicazione di anelli taglianti (armille) alle ruote anteriori di guida e di organi di presa sul terreno ai cerchioni delle ruote motrici, riuscirono ad ridurre gli inconvenienti e a rendere il sistema accettabile in determinate circostanze di tempo e di luogo. L’idea del Ceresa-Costa, però, trovò scarsa applicazione e le statistiche registrarono solo 37 apparecchi di quel tipo in esercizio. La trazione meccanica diretta delle macchine agricole fu ripresa molto dopo in Italia con l’introduzione dei motori a combustione interna e con i concorsi di Parma (1913) e di Vercelli (1914) nei quali si videro, a fianco delle trattrici americane e tedesche, competere le produzioni italiane.

⁶ Sebbene le domande di ammissione al concorso di Torino fossero state sette, tuttavia solo tre concorrenti vi parteciparono e fu notata l’assenza della casa Fowler di Leeds, i cui apparecchi erano universalmente e giustamente apprezzati, e del sistema Ferretti-Fioruzzi che a quell’epoca lasciava intravedere buoni risultati. La giuria composta da: prof. ing. Agostino Cavallero (presidente), prof. ing. Angelo Bottiglia (segretario-relatore), conte Giulio Ripa di Meana, conte Carlo Alberto Filippo di Baldissero, prof. Girolamo Caruso, conte, sen. Giovanni Guarini, avv. Augusto Poggi, ing. Orlandino Bignami, scelse per le prove diverse zone della provincia di Torino con terreni diversi, fece eseguire numerosi esperimenti di confronto dei sistemi in concorso ed espresse la seguente deliberazione unanime: «I due sistemi di aratura a vapore, a trazione diretta Ceresa-Costa e funicolare Howard, hanno dato risultati pratici, tecnici ed economici tali da doversi



Figura 12. Locomotiva del sistema di aratura funicolare Fowler.

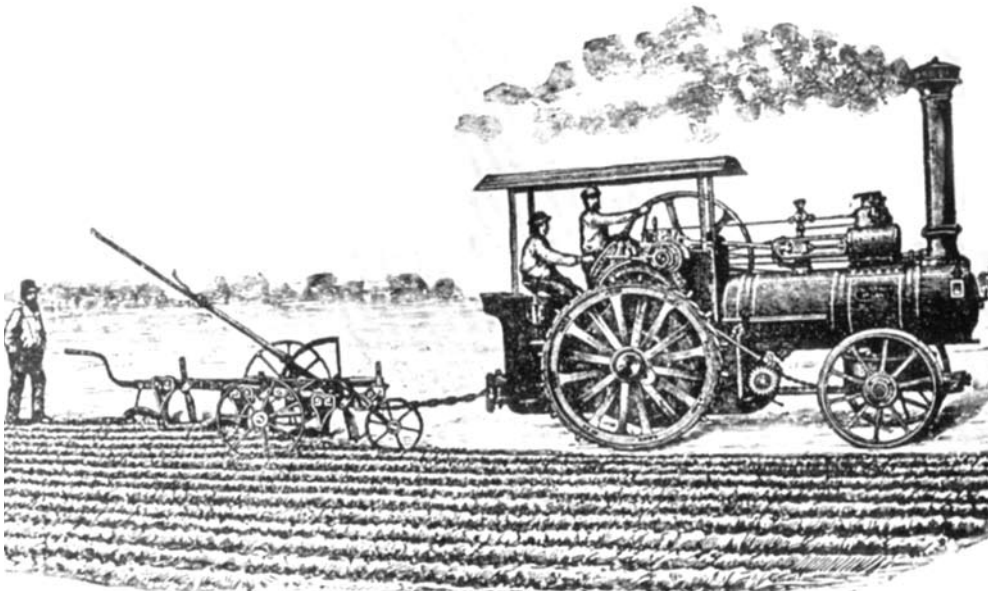


Figura 13. Sistema di aratura a trazione diretta Ceresa-Costa.

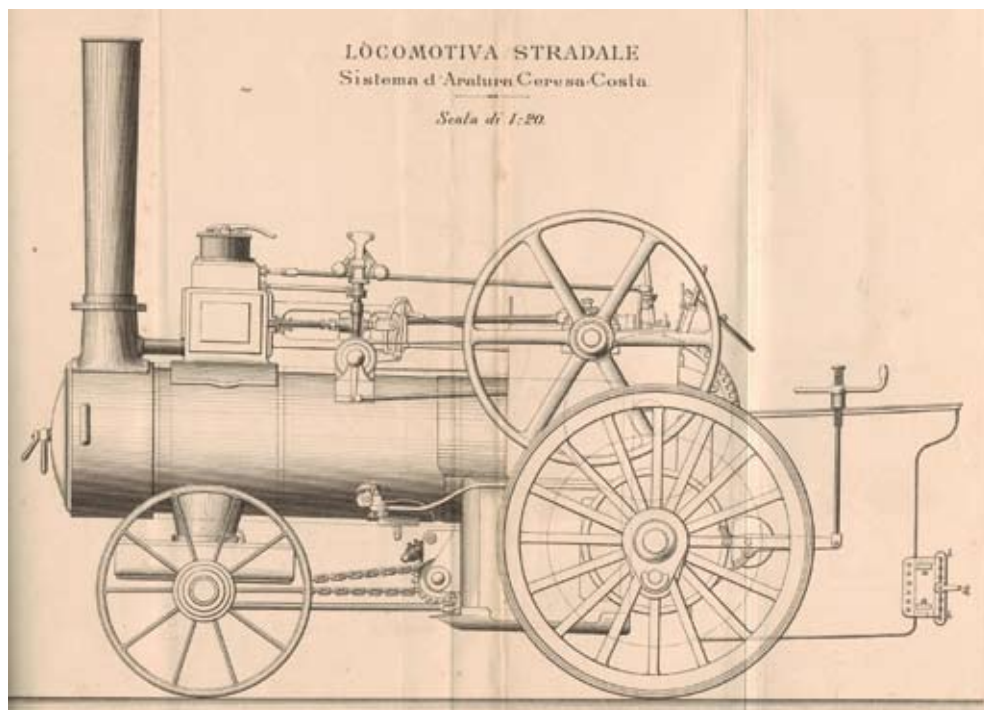


Figura 14. Locomotiva stradale delle officine Marshall Sons and C° di Gainsborough impiegata nel sistema di aratura Ceresa-Costa.

A Portici fu il Milone a occuparsi di ricercare l'entità delle perdite che correverano a ridurre il rendimento dei sistemi di aratura funicolare, precisando come un cattivo dimensionamento dell'aratro in relazione al gruppo motore-argano e una scarsa utilizzazione dell'aratro stesso potevano abbassare il rendimento del sistema al disotto dei limiti di convenienza. Francesco Milone sviluppò anche i primi studi sulle seminatrici, sulle trebbiatrici, sulla sostituzione del motore a vapore con il motore elettrico nella trazione funicolare, e su alcune macchi-

egualmente raccomandare agli agricoltori per le specialità di lavoro al quale ciascuno di essi è meglio indicato. Nessuno però dei due sistemi rispondendo completamente alle condizioni del concorso per terreni di composizione diversa, la Commissione giudicatrice non crede si possa conferire il primo premio quale è assegnato dal Ministero. Conseguentemente la Commissione propone che a ciascuno dei sopra nominati concorrenti sia assegnato il secondo premio e lire mille cadauno». Bottiglia A., *Aratura a vapore. Concorso Internazionale di Torino, settembre 1884, relazione*, Annali di Agricoltura del Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, Tipografia eredi Botta, Roma, 1885, pp. 114.

ne e fabbricati per le piccole industrie rurali; a lui si deve anche la progettazione e l'assistenza durante le lavorazioni della serra in metallo e vetro, voluta dal Pedicino, professore di Botanica a Portici, e ubicata ancora oggi nell'Orto botanico, nonché il progetto, commissionato dal Maic, del R. Istituto Zootecnico di Palermo⁷ (Figure 15 e 16). Il Milone lasciò anche un'interessante documentazione di alcuni dei primi concorsi di macchine agricole in Italia (quelli di Pisa, di Caserta, di Foggia) che, con le loro graduatorie stabilite in base a prove dirette, ebbero grande efficacia nella divulgazione di apparecchiature tra gli agricoltori e che, facendo competere tra loro i costruttori, li spinsero a perfezionare i loro prodotti e a meglio evidenziare i vantaggi e i difetti propri e altrui⁸.

Quando la Scuola di Portici ritornò alle dipendenze del Maic fu preso in esame il suo ordinamento, unitamente a quello della Scuola di Milano, per valutare se fosse necessario introdurre modifiche, per meglio adeguarlo ai suoi fini istituzionali. In quell'occasione sembrò opportuno al Maic di intraprendere un'indagine comparativa che includesse quanto si faceva nei paesi europei più avanzati; furono così analizzati gli ordinamenti e l'organizzazione di ventitré Scuole Superiori di interesse agrario (cioè quante ne contavano insieme la Germania, l'Inghilterra, il Belgio, l'Austria-Ungheria e la Francia) e si ravvisò la necessità di introdurre nuovi insegnamenti, di allargarne i confini a molti di essi, e, in taluni casi, di staccare alcune parti in modo da costituirne insegnamenti propri e distinti. L'indagine in particolare fece «scorgere che [nelle Scuole di Milano e di Portici convenisse] innanzitutto ampliare e rafforzare l'insegnamento delle discipline agrarie, zootecniche, tecnologiche e delle altre che per brevità chiameremo d'ingegneria rurale, completando nelle Scuole stesse gli insegnamenti matematici e di cultura generale scientifica»⁹. La realizzazione poi in quel periodo di grandi sistemi irrigui nel Nord dell'Italia e di complessi sistemi per la bonifica idraulica di estesi territo-

⁷ Il Maic, nell'affidare al Milone la progettazione di tutti i fabbricati occorrenti per il R. Istituto Zootecnico di Palermo, prescrisse che le strutture dell'Istituto dovessero comprendere: l'ufficio e le abitazioni del direttore e del vice direttore, un convitto per ventiquattro alunni, una stalla per trenta grossi capi e vitelli, un porcile per circa sessanta capi, un ovile per ottanta capi, le concimaie, il deposito delle macchine agricole, una cascina. Il Milone studiò la migliore disposizione da assegnare ad ogni parte del complesso che doveva sorgere nel podere Luparello, a poca distanza da Palermo, e predispose poi i disegni esecutivi di ciascun fabbricato. Milone F., "Il R. Istituto Zootecnico di Palermo in corso di esecuzione", *Annali della R. Scuola Superiore di Agricoltura di Portici*, prima serie, vol. I, 1899.

⁸ In Europa la Royal Agricultural Society of England, la Deutsche-Landwirtschafts-Gesellschaft, la Société des Agriculteurs de France e altri sodalizi minori organizzavano, con larghezza di mezzi e a varie riprese, in diverse regioni, numerose prove comparative di macchine agricole con indirizzo scientifico e applicativo, che contribuirono al loro perfezionamento e alla loro diffusione.

⁹ AA.VV., *Scuole superiori agrarie all'estero*, cit., pp. V-XXX.

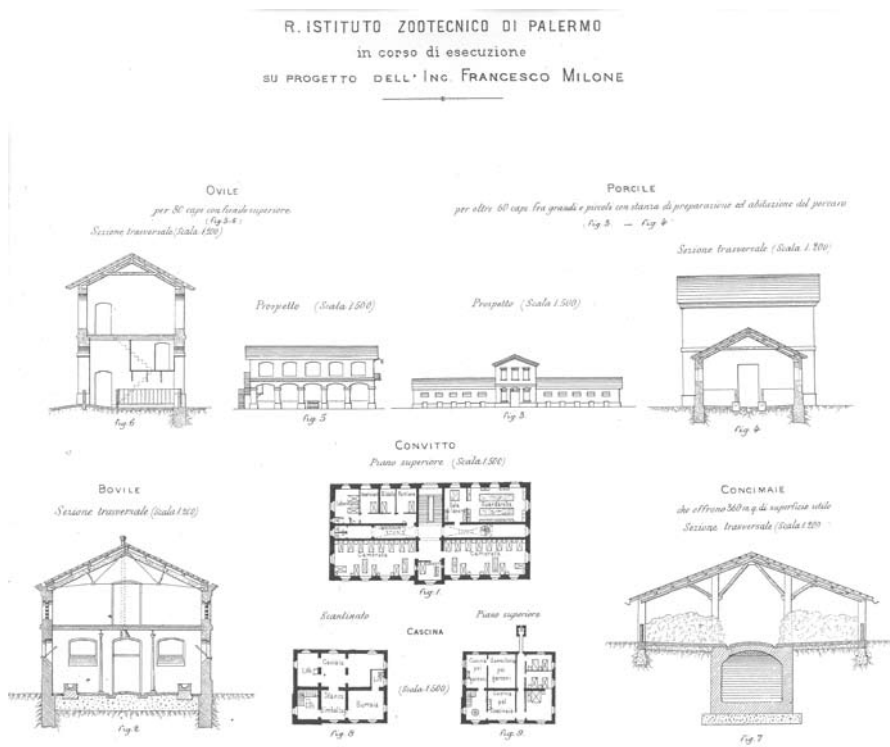


Figura 16. Disegno di progetto del R. Istituto Zootecnico di Palermo a cura di Francesco Milone (Milone F., *Il R. Istituto Zootecnico di Palermo in corso di esecuzione*, cit.).

triche e per il rilievo delle velocità e delle portate nelle correnti a pelo libero. Il Gabinetto fu successivamente dotato di apparecchiatura per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei suoli e per il rilievo delle permeabilità, necessarie per lo studio di progetti tecnici riguardanti l'irrigazione e il drenaggio. Il Galli, inoltre, raccolse e catalogò numerosi strumenti di topografia, molti dei quali oggi fanno parte del patrimonio museale della Facoltà di Agraria di Portici, e riorganizzò i programmi degli insegnamenti a lui affidati¹⁰ (Figura 18).

¹⁰ Il corso di insegnamento di Disegno era svolto dal Galli dando pariteticamente spazio a quello ornato e a quello geometrico. Il corso di Topografia terminava con esercitazioni finali che vedevano impegnati gli alunni, durante dieci giorni, ad eseguire un completo rilievo celerimetrico di un terreno scelto nelle immediate vicinanze della Scuola. Ai lavori di campagna seguivano lavori di tavolino per calcoli e disegni. Il corso di Idraulica agraria si svolgeva in tre ore settimanali di lezioni ed era seguito da diverse escursioni sul canale



Figura 17. Eugenio Galli.

Nella sua lunga permanenza a Portici, durata oltre quaranta anni, il Galli sviluppò numerose ricerche sia nel campo delle irrigazioni che in quello della topografia. Gli studi sull'irrigazione riguardarono il costo delle acque irrigue e il problema della loro "dispensa", fondamentale per un esercizio corretto delle reti collettive e per disciplinare la ripartizione tra gli utenti della risorsa, in modo che questi potessero usufruirne in modo soddisfacente durante l'intera stagione irrigua. Questo problema, spesso trascurato all'epoca, trovò un'efficace soluzione con gli studi del Galli relativi ad una distribuzione dell'acqua effettuata in base al tempo¹¹. Sempre nel settore dell'irrigazione il Galli condusse studi sul moto dell'acqua in terreni permeabili, sulla misura delle portate nei canali e sulle sistemazioni dei terreni in relazione a diversi metodi irrigui; curò anche la stesura di relazioni e indagini sul riordino irriguo del bacino del fiume Sarno e sui program-

del Conte di Sarno (Salerno) dove i giovani avevano la possibilità di eseguire misure di portata, ma anche di osservare le applicazioni di luci per la distribuzione delle acque, di studiare i metodi adottati per la dispensa delle acque di irrigazione e le relative sistemazioni dei terreni.

¹¹ Galli E., *Sulla dispensa delle acque irrigue in base al tempo*, Napoli, 1918, pp. 12. Galli E., *Elementi diversi da considerarsi nei problemi di dispensa delle acque irrigue*, Stabilimento Tipografico Francesco Lubrano, Napoli, 1919, pp. 16. Galli E., *Sulla dispensa delle acque irrigue e sulla ricerca razionale degli elementi relativi agli adacquamenti*, Atti del Raduno dei Tecnici agricoli del Mezzogiorno e delle Isole d'Italia, Stabilimento Industrie Editoriali Meridionali, Napoli, 1931, pp. 175-184.



Figura 18. Gabinetto di Idraulica agraria e Topografia: aula di disegno (in alto); una delle sale per gli strumenti di topografia (sopra).

mi di opere irrigue nelle province meridionali. Nel campo della topografia condusse ricerche sulla verifica e la rettifica di alcuni strumenti, sulla determinazione degli errori di chiusura delle poligonali e propose modifiche al tacheometro autoriduttore introducendo un modello noto come "Sanguet-Galli". Nel 1922 fu nominato assistente alla Cattedra di Eugenio Galli Eduardo Cancellara che affiancò e proseguì le ricerche del suo maestro affrontando problemi di gestione degli impianti irrigui e di celerimensura in campo topografico, ma si dedicò anche allo sviluppo di metodologie per proporzionare i sistemi di drenaggio campestre e a studi sulle sistemazioni idraulico-forestali.

Giovanni Domenico Mayer

Dopo la morte di Francesco Milone (22 novembre 1911) il suo insegnamento fu tenuto per incarico, durante l'anno accademico 1911-12, da Gustavo Dominelli e successivamente fu nominato (febbraio 1913), a seguito di concorso, professore di ruolo di Meccanica agraria e costruzioni rurali Giovanni Domenico Mayer (Figura 19) che era aiuto alla Cattedra di Meccanica applicata alle macchine della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Napoli (che dal 1905 aveva assunto il nome di R. Scuola Superiore Politecnica di Napoli). Il Mayer, nato a Perugia il 13 settembre 1868, si laureò giovanissimo in Ingegneria e fu poi assistente di tre eminenti figure della Scuola Politecnica di Napoli: Paolo Boubèe, titolare della Cattedra di Costruzioni metalliche; Gaetano Bruno, titolare di quella di Costruzioni idrauliche; Ernesto Cavalli, titolare di Meccanica applicata alle macchine. Il Bruno coinvolse il Mayer anche nell'attività professionale affidandogli delicati incarichi per lavori della fognatura di Napoli. Il Mayer si interessò, con grande competenza, rigore e dedizione, alla costruzione di alcuni tronchi fognari principali e al progetto dell'importante impianto di sollevamento di Piedigrotta, necessario per convogliare i liquami all'emissario di Cuma; svolse le funzioni di perito e arbitro acuto e integro, fu consigliere di amministrazione di società industriali, curò la costruzione dell'acquedotto di Castrovillari. In quel periodo trattò, in interessanti memorie scientifiche, della fognatura di Francoforte sul Meno, del calcolo dei ponti metallici ferroviari a travata rettilinea, della rovina del Cassone Venezia nel porto di Napoli. Successivamente, raggiunta una piena maturità scientifica, divenne, dal 1907, aiuto alla cattedra di Ernesto Cavalli, conseguì la libera docenza in Meccanica applicata alle macchine e si dedicò con grande competenza all'ordinamento del corso di Meccanica e disegno di macchine e alla ricerca scientifica. Nel 1912 pubblicò un originale e importante studio sui motori a cilindri rotanti¹, che l'ingegnere Ottorino Pompilio, costruttore di aeroplani, volle tradurre in francese in modo che avesse una maggiore diffusione.

Giovanni Domenico Mayer ricoprì presso la Scuola di Portici la Cattedra di Meccanica agraria e costruzioni rurali dal 1913 al 1925. Anche se fu contempo-

¹ Mayer G.D., *Studio dinamico dei motori a cilindri rotanti*, Stabilimento Tipografico Franco Lubrano, Napoli, 1912, pp. 116.



Figura 19. Giovanni Domenico Mayer.

raneamente incaricato per diversi anni del corso di Meccanica applicata alle macchine presso la Scuola Politecnica di Napoli, in sostituzione del prof. De Biase suo amico morto giovanissimo, il Mayer si dedicò con grande impegno al campo tecnico agricolo, prima spinto dalla curiosità e affascinato dalle sfide che ponevano i nuovi problemi da risolvere e poi con passione e animato dal rigore scientifico che lo contraddistingueva. Seguendo l'impostazione di Francesco Milone arricchì i programmi del corso di studio da lui tenuto con le innovazioni che in quell'epoca si andavano affermando sui motori usati in agricoltura, sulla tecnica ed economia delle macchine da coltura e da raccolta e sulle costruzioni speciali agrarie. Riunì e arricchì il materiale del Deposito Governativo delle macchine agricole che fece trasferire in dotazione alla sua Cattedra quando lo stesso venne soppresso.

Nella prima monografia in campo agrario il Mayer trattò nella sua interezza un aspetto fondamentale delle trasformazioni fondiari: il problema delle costruzioni rurali nel Mezzogiorno². Non si limitò però ad illustrare la necessità di creare più civili condizioni di vita per le classi agricole, abbandonate in strutture

² Mayer G.D., *Il problema delle costruzioni rurali nel Mezzogiorno d'Italia*, Stabilimento Tipografico Franco Lubrano, Napoli, 1912, pp. 81.

deteriorate e in una situazione di “selvaggia” promiscuità per deficienza di spazi, ma volle indicare ai governanti la via da seguire: «Deve l'Ente Stato intervenire non col sistema dei premi e dei sussidi che è oneroso e inefficace, ma con quello della legislazione equamente coercitiva per dare alla proprietà agraria quello assetto e quello indirizzo che i nuovi bisogni impongono».

Il Mayer sin dai primi anni di permanenza a Portici si adoperò anche per la diffusione e per la propaganda delle macchine agricole e in particolare si interessò dell'aratura meccanica. Agli inizi del Novecento negli Stati Uniti d'America erano già comparsi sul mercato, accanto alle locomotive a vapore, i primi apparecchi di motoaratura a trazione diretta azionati da motori a scoppio che si diffusero successivamente in Europa (Figura 20). La Stock Motorpflug Gasellschaft di Berlino costruì nel 1907 una prima motoaratrice che portava tre corpi di aratro su un telaio sul quale era stato anche posizionato un motore a benzina di picco-

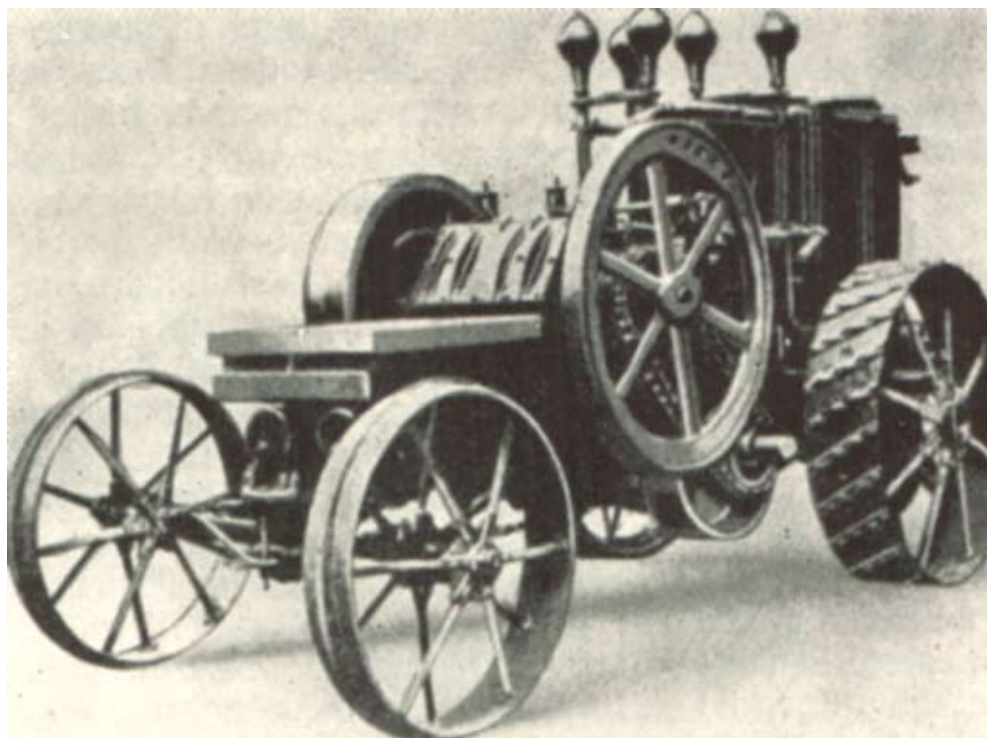


Figura 20. Una delle prime trattrici con motore a scoppio messa in commercio negli Stati Uniti d'America (1903).



Figura 21. Motoaratrice della Stock Motorpflug Gesellschaft di Berlino: un primo modello fu costruito nel 1907 con tre corpi di aratro montati su uno stesso telaio sul quale era posto anche un motore a benzina di 6 kW, successivamente il motore fu potenziato (31 kW) e i corpi di aratro furono portati a sei; possedeva due ruote motrici, di grande diametro con poche palette, sulle quali gravava quasi tutto il peso della macchina in quanto il peso degli aratri e del motore si equilibravano ed erano posti da parti opposte dell'asse delle ruote motrici.

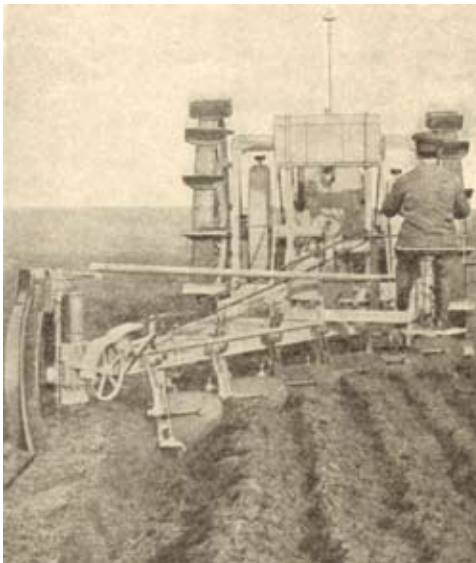


Figura 22. Motoaratrice Stock vista da dietro.

la potenza (6 kW), successivamente sostituito con uno di maggiore potenza (31 kW), e che fu apprezzata per la sua rapidità, per la sua semplicità e per la razionalità della meccanica (Figure 21 e 22). In Italia le motoaratrici furono studiate dagli ingegneri Pavese e Tolotti di Milano che costruirono un modello a tre corpi di aratro su un telaio a tre ruote delle quali una motrice, una direttrice e una semplicemente portante (Figura 23); questa motoaratrice, in due modelli con motori alimentati a benzina e a petrolio, fu presentata per la prima volta e premiata al concorso di motocoltura che si svolse a Torino nel 1911 in occasione dell'Esposizione ed ebbe una discreta diffusione anche in alcune nazioni estere. Ma le motoaratrici furono rapidamente sostituite dalle trattrici che, proposte da diversi costruttori, si diffusero con successo negli Stati Uniti d'America e che vennero introdotte anche in Europa specialmente in Francia, Germania e Inghilterra. Inoltre, nei primi anni del Novecento in Europa per stimolare il progresso della meccanica agraria erano presenti numerose Stazioni sperimentali e di prova (Figura 24) che, promosse da enti che rivestivano carattere uff-

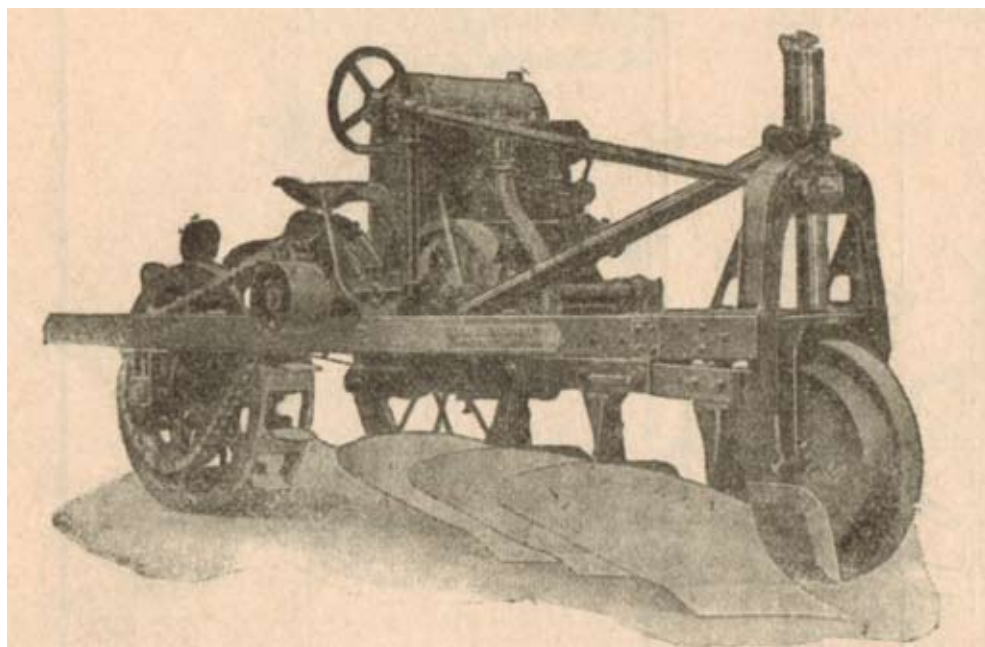


Figura 23. Motoaratrice Pavese-Tolotti con tre corpi di aratro e motore (da 12 kW o 30 kW) montato su un telaio a tre ruote, di cui una a motrice, una direttrice e una terza semplicemente portante.

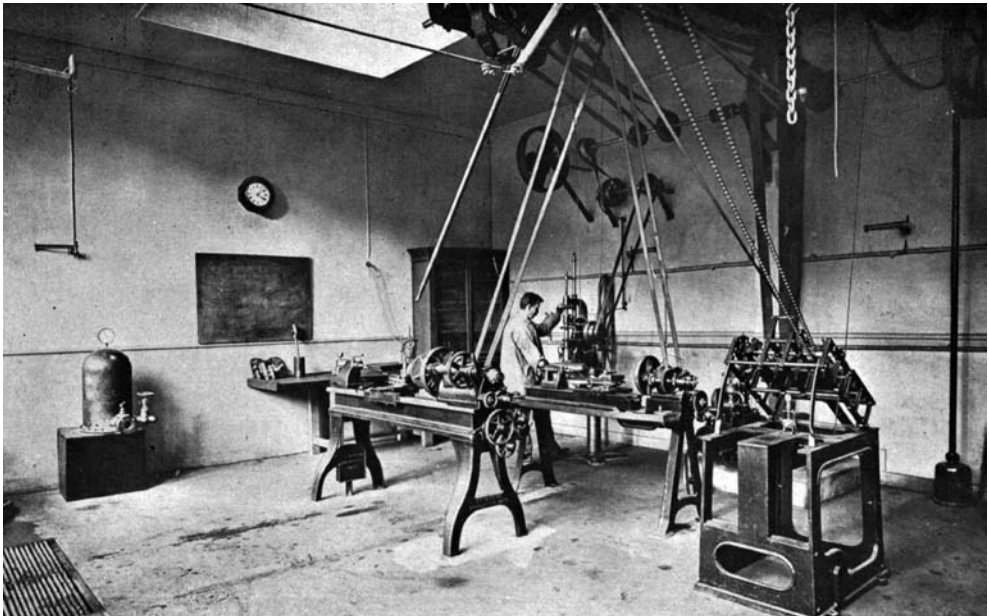
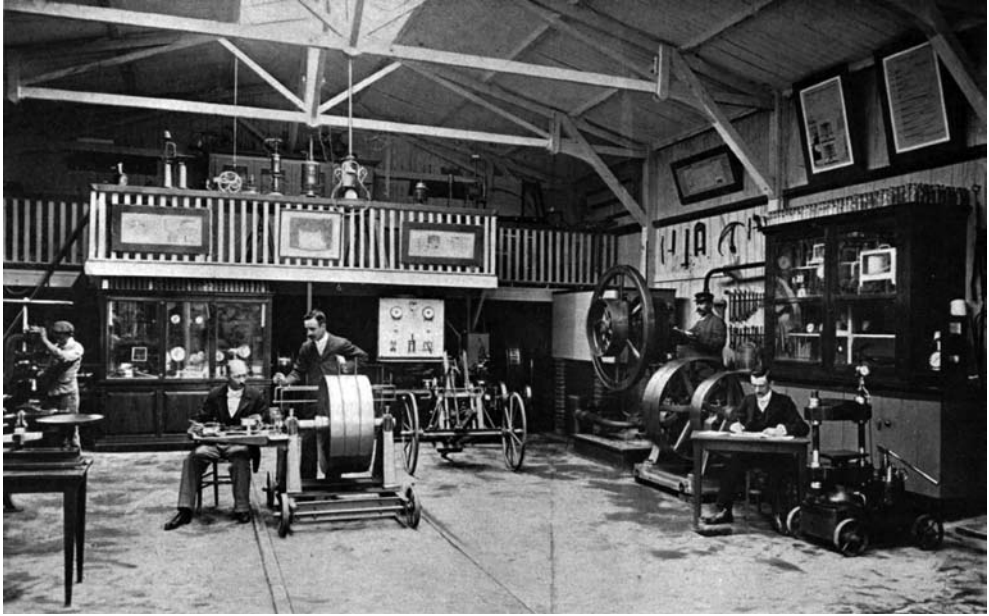


Figura 24. Parigi: Stazione Sperimentale di Meccanica Agraria, una sala di prova (in alto); Istituto Nazionale Agronomico, un angolo del laboratorio di ricerche meccaniche (sopra) (Giordano F., *Le ricerche sperimentali di meccanica agraria. Strumenti di misura, dispositivi di prova, laboratori e istituzioni*, cit.).

ciale e dotate di adeguate strutture, apparecchiature e personale, svolgevano un ruolo fondamentale nel provare e selezionare il macchinario agricolo, nel consigliare i possibili miglioramenti, nell'eliminare i tipi difettosi, nel diffondere quelli ben rispondenti agli scopi e nel suggerire agli agricoltori i prodotti più consoni alle loro esigenze³.

In Italia la propaganda e la diffusione delle macchine agricole avvenne attraverso l'insegnamento e le dimostrazioni pratiche, le pubblicazioni e gli opuscoli illustrativi, il prestito gratuito di macchine attraverso i Depositi Governativi e i Comizi agrari, le Esposizioni, ma principalmente con i Concorsi di macchine agricole che con le loro graduatorie stabilite in base a prove dirette ebbero grande significato ed efficacia. In questo contesto Giovanni Domenico Mayer tenne nel 1912 conferenze ai soldati del Presidio di Napoli e partecipò, in qualità di giurato, al grande Concorso di Motoaratura tenutosi a Parma nel 1913 che, promosso dalla Federazione Italiana dei Consorzi agrari e dalla Cattedra ambulante d'agricoltura di Parma, ebbe un notevole successo non solo per la lunga preparazione e per la larghezza dei mezzi messi a disposizione, ma anche per il numero e la varietà degli apparecchi posti a concorso (Figure 25-27). Il Mayer con Mario Castelli curò anche le relazioni sulle prove eseguite che furono dense di insegnamenti, fecero emergere le migliori idee e delinearono alcune vie da seguire per un più sicuro progresso. In quella occasione accanto ad aratri trainati da locomotive a vapore e a sistemi funicolari, furono anche sperimentati rimorchiatori con motori a scoppio e aratri automobili di produzione italiana ed estera e furono fatti raffronti tra i diversi prototipi presentati al concorso impiegati in varie condizioni⁴. Al concorso di Parma seguì l'anno successivo a Vercelli un'altra importante

³ Giordano F., *Le ricerche sperimentali di meccanica agraria. Strumenti di misura, dispositivi di prova, laboratori e istituzioni*, Leopoldo Beretta Editore, Milano, 1906, pp. 321.

⁴ Furono presentati al concorso di Parma: sei locomotive a vapore (due della J. & H. McLaren di Leeds di 45 e 75 kW; una della Ch. Burrell e C. di Thetford, una della Marshall Sons e C. di Gainsborough, una della Clayton e Shuttleworth di Lincoln, una della Avery Manufacturing C. di Peoria, Illinois); quattro apparecchiature funicolari (due con motrici a vapore e ad olio pesante di Francesco Casali e figli di Suzzara, una a gas povero e una con motore elettrico della Tescari-Violati di Ariano Polesine); quattro rimorchiatori a benzina (uno della Compagnie international des Machines Agricoles, uno della ditta Emerson di Rockford Illinois, due della ditta Alberto Baroncelli di Ravenna); tre aratri automobili (uno della Stock Motorpflug Gesellschaft di Berlino e due della Pavesi-Tolotti di Milano); un'aratrice delle officine Otav di Grumello al Piano; una vangatrice automatica della ditta Montini di Orvieto. Il concorso ebbe una notevole risonanza negli ambienti dell'agricoltura italiana per la partecipazione significativa di prodotti nazionali accanto a prototipi stranieri. Castelli M., Mayer G.D., *Concorsi di aratura meccanica e di motori agricoli, relazioni dei giurati*, Cattedra ambulante d'agricoltura di Parma; Federazione italiana dei consorzi agrari; Touring Club italiano, Capriolo & Massimino, Milano, 1914, pp. 234. Federico Giordano del Politecnico di Milano in una relazione inviata al Maic sulle possibilità di impiego nell'Agro romano delle macchine presentate al Concorso di Parma,

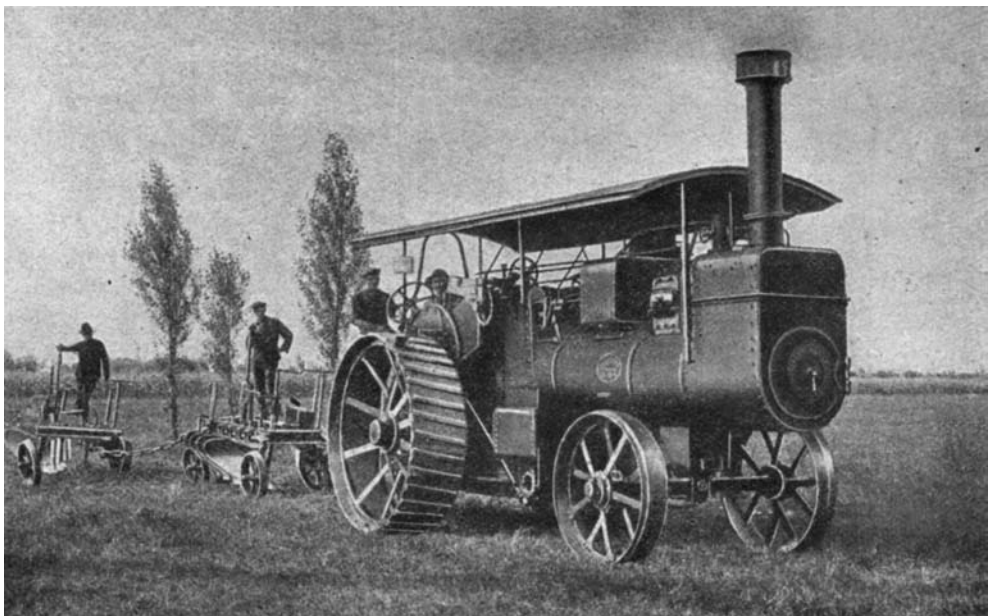
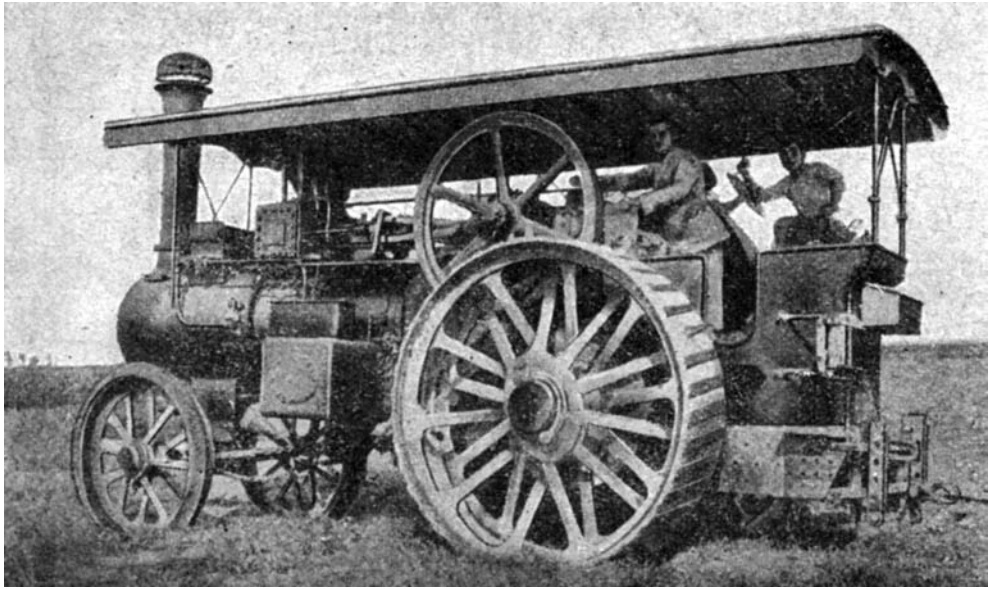


Figura 25. Concorso per Motocoltura di Parma (1913), locomotive a vapore presentate: ditta Ch. Burrell e C^o Thetford (da 45 kW) (in alto); ditta J.H. Mc Laren di Leeds (da 75 kW) (sopra) (Giordano F., *Le risultanze del Concorso di motoaratura di Parma, 1913, in rapporto alle condizioni dell'Agro Romano*, cit.).

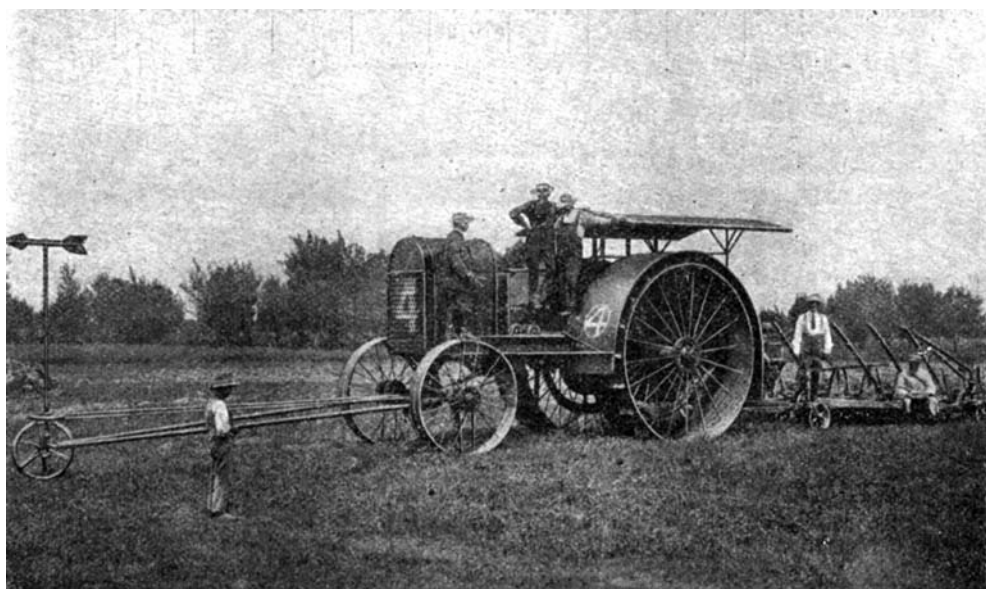
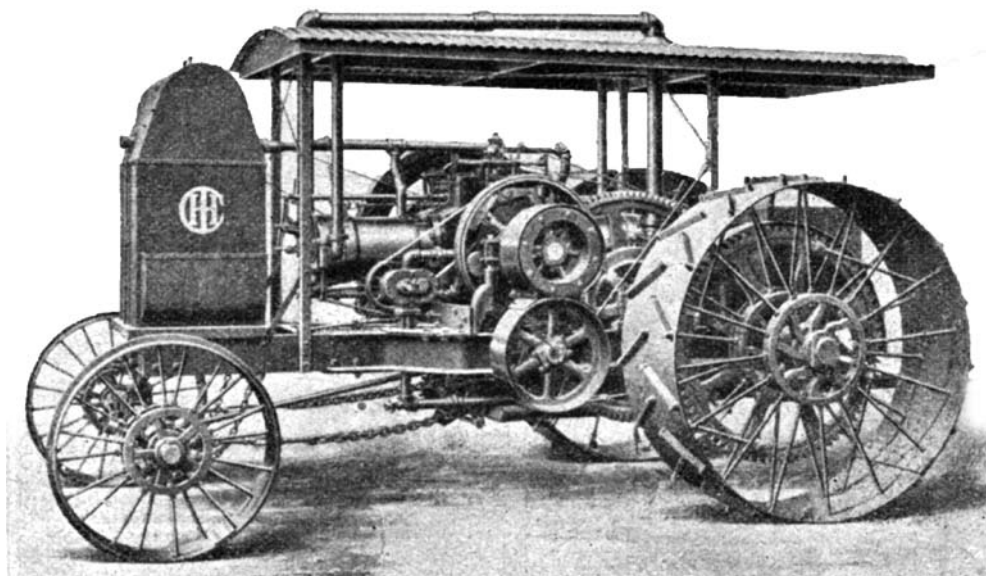


Figura 26. Concorso per Motocoltura di Parma (1913), rimorchiatori automobili a benzina presentati: Compagnie Internationale des Machines Agricoles di Parigi – rappresentante francese della International Harvester e Co di Cicogo – (da 34 kW) (in alto); ditta Emerson-Brantingham Implement Co di Rockford, Illinois (tipo Big Four da 46 kW) (sopra) (Giordano F., *Le risultanze del Concorso di motoaratura di Parma, 1913, in rapporto alle condizioni dell'Agro Romano*, cit.)

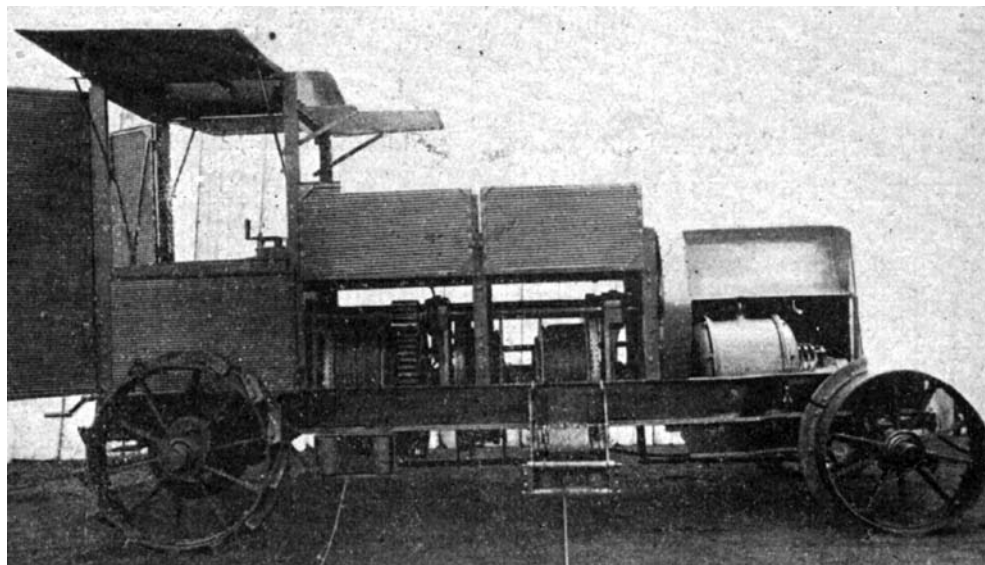
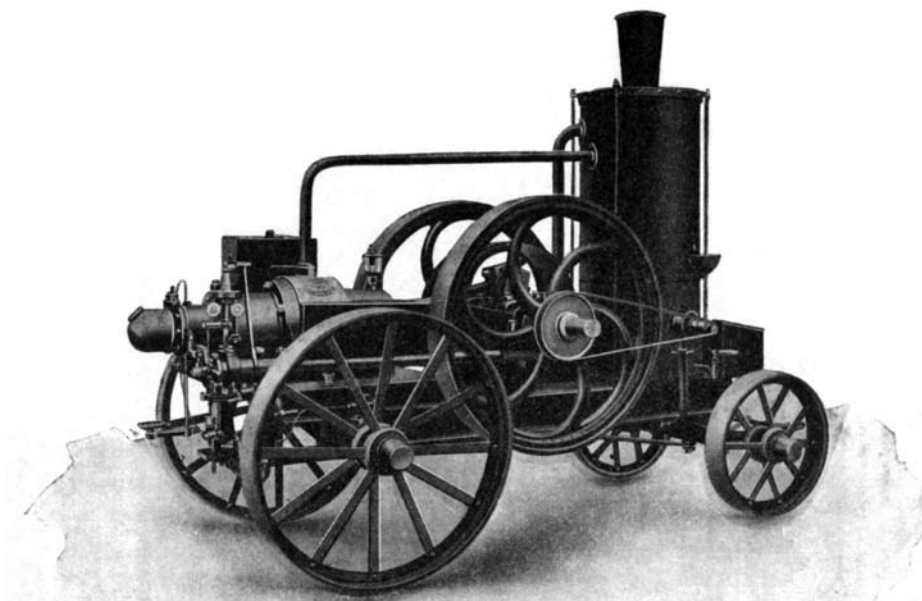


Figura 27. Concorso peri Motocoltura di Parma (1913), apparecchi a trazione funicolare presentati: ditta Francesco Casali e Figli di Suzzara, comandato da motore a olio pesante della National Gas Engine Co di Askon (da 9 kW) (in alto); ditta Tescari-Violati di Ariano Polesine, comandato da motore elettrico della Brown Boveri di Baden (da 34 kW) (sopra) (Giordano F., *Le risultanze del Concorso di motoaratura di Parma, 1913, in rapporto alle condizioni dell'Agro Romano*, cit.).

manifestazione, con prove di aratura meccanica in risaia, voluta dalla locale Stazione Sperimentale di risicoltura per la grande importanza che le lavorazioni del terreno con mezzi meccanici avevano nelle risaie di quel territorio (Figure 28-30). A Vercelli le apparecchiature che parteciparono furono sette divise in due categorie (a trazione diretta e funicolari)⁵ e nella prima categoria venne classificato al primo posto il rimorchiatore a benzina della ditta Alberto Baroncelli di Ravenna, mentre tra le apparecchiature funicolari furono ritenuti a pari merito i primi due classificati: la ditta Francesco Casali e figli di Suzzara, con una locomobile con motore ad olio pesante, e la ditta Persici e Ferretti di Reggio Emilia, con l'apparecchio Santachiara dotato di motore a vapore. Tuttavia, prima della Grande guerra mondiale, le macchine per l'agricoltura erano scarsamente utilizzate in Italia, mentre in Germania e negli Stati Uniti d'America, per il consistente sviluppo industriale della meccanica, si producevano trattori in numero consistente, costruiti con i criteri della resistenza e della durata, ma ancora troppo pesanti e poco maneggevoli, adatti solo a vasti territori e certo non impiegabili in molti ambienti del nostro Paese.

Solo dopo lo scoppio della Prima guerra mondiale si determinarono ulteriori sviluppi e perfezionamenti dettati dalle necessità per il traino dei cannoni e per assicurare le operazioni nelle campagne, mentre gli uomini validi erano chiama-

tra l'altro, osservava che per il dissodamento del terreno i soli rimorchiatori a vapore avevano dimostrato di essere applicabili; nel caso di normale coltura ottime prestazioni avevano fornito per le operazioni di motoaratura le macchine Pavesi-Tolotti, anche se una scelta appropriata delle macchine da impiegare era da farsi caso per caso in rapporto all'estensione dell'azienda, alla natura dei terreni e alla facilità di approvvigionamento dell'acqua e dei carburanti. Giordano F., *Le risultanze del Concorso di motoaratura di Parma, 1913, in rapporto alle condizioni dell'Agro Romano*, Premiata Tipografia Agraria, Milano, 1914, pp. 68.

⁵ A Vercelli i giurati furono trentuno e assunse la presidenza Angelo Bottiglia professore al Politecnico di Torino e segretario relatore fu nominato Andrea Tarchetti, direttore della Sezione meccanica della Stazione Sperimentale di risicoltura. Uno dei giurati, Eusebio Saviolo, mise a disposizione il suo castello e la sua tenuta a Sali Vercellese per le prove che si svolsero dal 30 marzo al 5 aprile 1914. Le apparecchiature a trazione diretta presentate a concorso furono: il locomotore della ditta Alberto Baroncelli di Ravenna con motore a benzina a quattro cilindri (18 kW) e con aratro bi-vomere; il locomotore della ditta Ferretti-Goggi di Tortona con motore a un cilindro (22 kW) e con aratro penta-vomere; la motoaratrice Pavesi-Tolotti con motore a benzina a due cilindri (12-15 kW) e tre vomeri; la motoaratrice Stock con motore a benzina o benzolo (32 kW) e sei vomeri. Le apparecchiature funicolari presentate furono: l'apparecchio Casali della ditta Francesco Casali e Figlio di Suzzara con una locomobile con motore a olio pesante a un cilindro (10 kW), argano a due tamburi e aratro a bilanciante mono-vomere; l'apparecchio Santachiara della ditta Persici e Ferretti di Reggio Emilia con locomotiva a vapore (13 kW), argano Santachiara e aratro a bilanciante bi-vomere; l'apparecchio Violati-Tescari della ditta Violati-Tescari di Ariano Polesine con motore elettrico (31 kW), argano Violati-Tescari e aratro a bilanciante mono-vomere. Tarchetti A., *L'aratura meccanica in risaia. Relazione della giuria sulle Prove d'aratura eseguite a Sali Vercellese nella primavera 1914*, Premiata Tipo-Litografia Gallardi & Ugo, Vercelli, 1914, pp. 163.

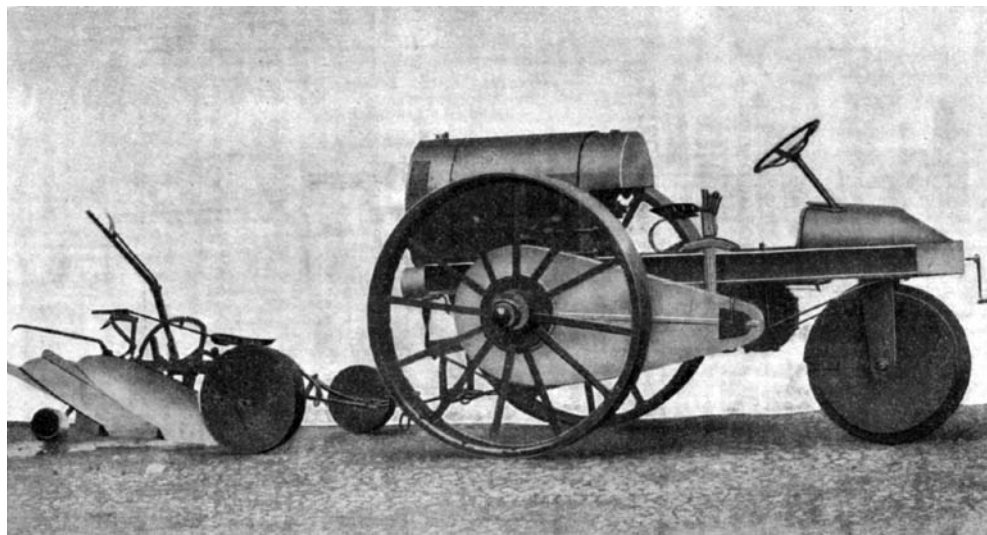
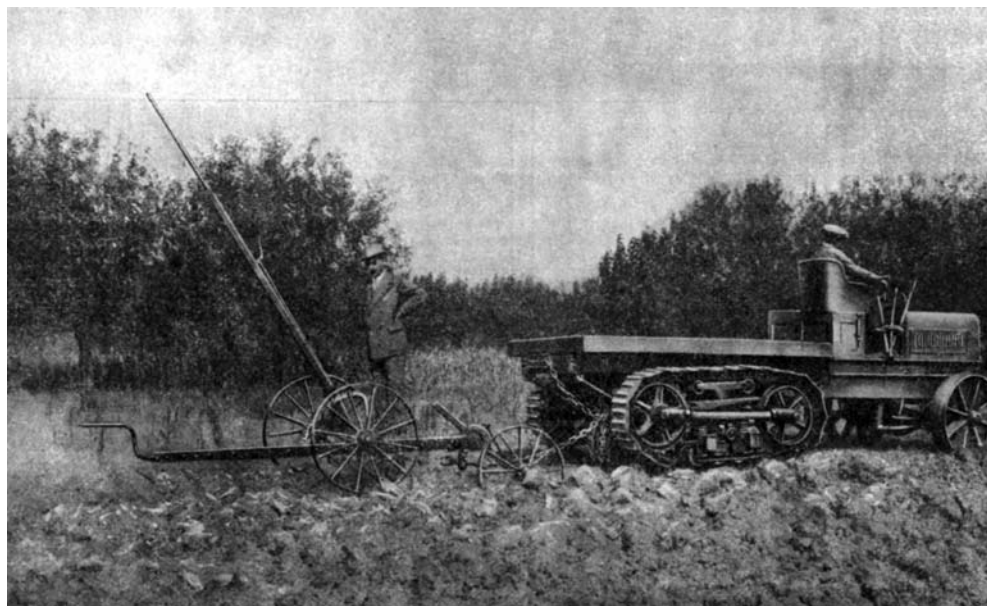


Figura 28. Concorso per Aratura Meccanica in Risaia di Vercelli (1914), apparecchi a trazione diretta presentati: locomotore della ditta Ferretti-Goggi di Tortona con aratro (motore a benzolo da 22 kW costruito dalla ditta Soller di Basilea) (in alto); locomotore della ditta Alberto Baroncelli di Ravenna con bi-vomere (motore a benzina da 18 kW costruito dalla ditta Luigi Rossi di Piacenza) (sopra) (Tarchetti A., *L'aratura meccanica in risaia. Relazione della giuria sulle Prove d'aratura eseguite a Sali Vercellesi nella primavera 1914*, cit.).

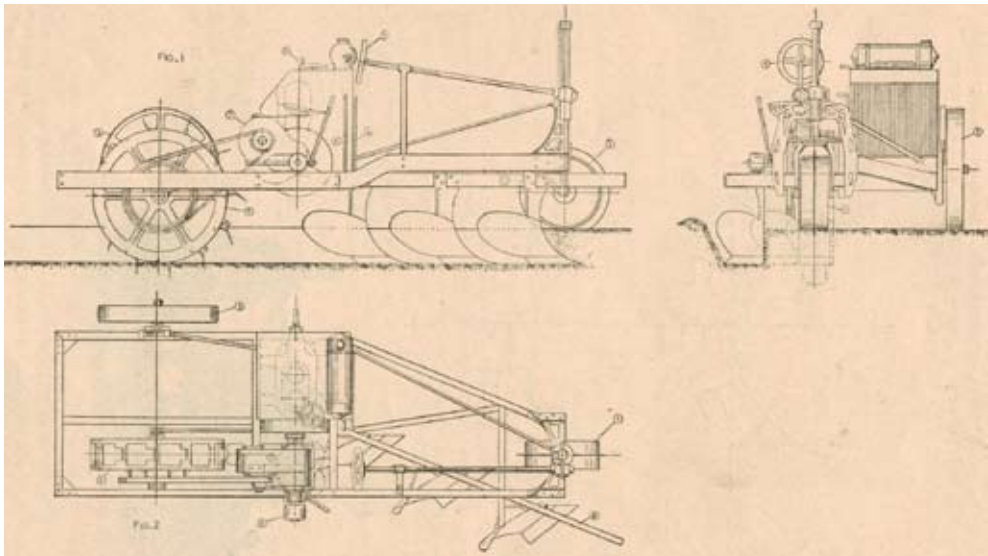


Figura 29. Concorso per Aratura Meccanica in Risaia di Vercelli (1914): disegni della motoaratrice Pavese-Tolotti presentata dalla Società anonima “La Motoaratrice” di Milano con motore a benzina da 12-15 kW (Tarchetti A., *L’aratura meccanica in risaia. Relazione della giuria sulle Prove d’aratura eseguite a Sali Vercellesi nella primavera 1914*, cit.).

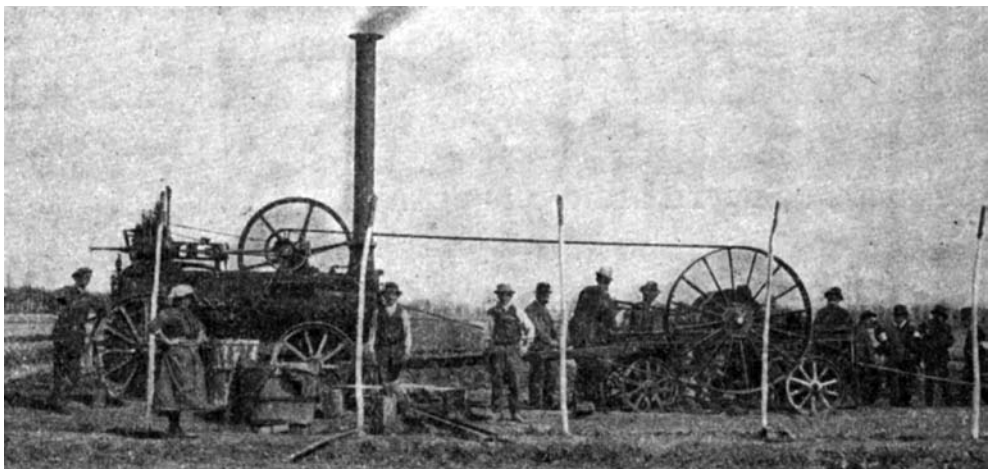


Figura 30. Concorso per Aratura Meccanica in Risaia di Vercelli (1914): gruppo locomotiva-argano “Santachiara” presentato dalla ditta Persici e Ferretti di Reggio Emilia (con locomotiva da 13 kW della ditta Richard Garrett and Sons Ltd di Leiston) (Tarchetti A., *L’aratura meccanica in risaia. Relazione della giuria sulle Prove d’aratura eseguite a Sali Vercellesi nella primavera 1914*, cit.).

ti a combattere. Dopo un anno di guerra, trascorso senza risultati apprezzabili e con nessuna prospettiva di vedere a breve la cessazione delle ostilità, si fece sempre più strada la convinzione che lo Stato dovesse sostenere le principali operazioni nei campi, impiegando nei lavori agricoli i soldati della milizia territoriale e promuovendo una maggiore diffusione delle macchine agricole. Nella Gazzetta ufficiale n. 198 del 22 agosto 1917 venne pertanto sancito un accordo tra il Ministero dell'Agricoltura e quello delle Armi e Munizioni per un servizio di Motoaratura di Stato che affidava a quest'ultimo ministero non solo il materiale e i macchinari che era possibile reperire e quelli che ritenesse necessario acquistare per il buon espletamento del servizio (furono importati durante la guerra complessivamente circa 6.000 trattrici⁶) (Figure 31-33), ma anche l'onere del relativo funzionamento con reparti militari⁷. In quel periodo anche il Mayer volle sensibilizzare il mondo agricolo sul problema dell'aratura meccanica. Prendendo spunto da un questionario che il senatore francese dr. C. Chauveau aveva indirizzato a numerosi tecnici, rivolse a diverse personalità italiane che operavano nel campo dell'agricoltura tre domande: che cosa pensare della sostituzione dell'energia degli animali con quella meccanica nella lavorazione dei campi a) dal punto di vista sociale; b) dal punto di vista agricolo; c) dal punto di vista meccanico. Pubblicò poi le risposte che gli erano pervenute unitamente ad una sua argomentata disamina dei problemi posti e, nonostante avesse ricevute risposte contraddittorie e non sempre favorevoli, espresse giudizi incoraggianti sulle prospettive della meccanizzazione e sulla nascente industria italiana nel settore⁸.

Dopo la guerra, infatti, aumentò in Italia, con progressione continua, il numero delle trattrici impiegate nei campi, sia per effetto della campagna di Aratu-

⁶ Giovanni Domenico Mayer insieme a Mario Castelli fecero parte di una commissione che doveva indicare le macchine da acquistare e, accanto a poche trattrici Baroncelli e qualche motoaratrice Gelardi e Patruzzo di fabbricazione nazionale e alle trattrici americane "Mogul", "Titan", "Steel mule" ed "Emerson", proposero l'acquisto dagli Stati Uniti di trattrici "Case" che erano nuove in Italia, ma, per le buone prove fatte all'estero in molti concorsi internazionali, erano considerate tra le più interessanti in quell'epoca, sia nei modelli minori (13-15kW) che in quelli maggiori (18 e 30 kW). Con i primi arrivi dall'estero delle macchine ordinate iniziarono i montaggi da parte della Federazione dei Consorzi agrari e delle ditte Cosimini e Giusti; a Napoli furono concentrate le trattrici "Case" per le quali il Ministero delle Armi e Munizioni eseguì direttamente il montaggio e i collaudi a mezzo di operai soldati che furono istruiti opportunamente nella Scuola agraria di Cremona. Mayer G.D., *Le vie nuove dell'Agricoltura. Conferenze e articoli vari*, Stabilimento Tipografico Lubrano, Napoli, 1919, pp. 121.

⁷ Durante il periodo bellico si stabilì anche che in caso di necessità si sarebbero concessi macchinari e militari, non idonei alla guerra, per la conduzione di mietitrici e trebbiatrici, dove mancassero gli operatori (Trebbiatura di Stato).

⁸ Mayer G.D., *L'aratura meccanica ed il suo avvenire (pareri e proposte)*, Stabilimento Tipografico Lubrano, Napoli, 1917, pp. 162.



Figura 31. Trattori importate dagli Stati Uniti d'America durante la Prima Guerra mondiale per il Servizio di Motoaratura di Stato: trattore "Mogul" (in alto); trattore "Steel Mule" (sopra).



Figura 32. Servizio di Motoaratura di Stato: montaggio (a sinistra) e collaudo (a destra) a Napoli delle trattrici americane “Case”, con l’impiego di militari.

ra di Stato, che diffuse e fece conoscere e apprezzare le prime macchine agricole e fece intuire quali nuovi orizzonti venivano a schiudersi alle possibilità delle aziende, ma anche per il progresso e i perfezionamenti derivanti da un’industria che in Italia, in questo settore, usciva dalla fase artigianale e produceva con procedimenti industriali trattrici mosse da motori a combustione interna che soppiantarono definitivamente le pesanti e poco maneggevoli locomotive⁹. Dopo la guerra venne evidenziata anche la mancanza di mano d’opera qualificata per la conduzione delle nuove macchine agricole, per cui in occasione del Congresso della Società degli Agricoltori italiani, tenutasi a Roma nel 1921, venne proposta l’istituzione di una Scuola pratica di Meccanica agraria per istruire gli agricoltori sull’uso delle macchine. Con R. decreto (n. 1923 del 19 luglio 1924) la Scuola fu istituita a Roma come ente consorziale autonomo, con personalità giuridica sotto la vigilanza ministeriale, con lo scopo di «preparare meccanici rurali e conducenti di macchine agricole», e alla quale vennero assegnati i locali, il macchinario, i veicoli e quanto altro era residuo dal cessato servizio di Motoaratura di Stato¹⁰.

⁹ L’ing. Pavesi ideò alla fine della guerra la prima trattrice a quattro ruote motrici; la Fiat nel 1919 costruì la sua prima trattrice con ruote metalliche e motore a petrolio a quattro cilindri; nel 1927 i fratelli Cassani costruirono la prima trattrice al mondo con motore diesel a due cilindri; la Fiat nel 1932, prima in Europa, avviò la produzione in serie di una trattrice cingolata (la 700 C di 25 kW).

¹⁰ La Scuola ebbe sede alle Capannelle (Roma) e fu dotata di una consistente attrezzatura di macchine agricole nonché di un convitto con una recettività di quaranta allievi. L’affluenza alla scuola di agricoltori e di giovani coltivatori da tutt’Italia fu tale da richiedere anche l’istituzione di quattro Succursali: in Emilia, in Sicilia, in Capitanata e in Sardegna. Nel Secondo dopoguerra il rapido incremento della meccanizzazione

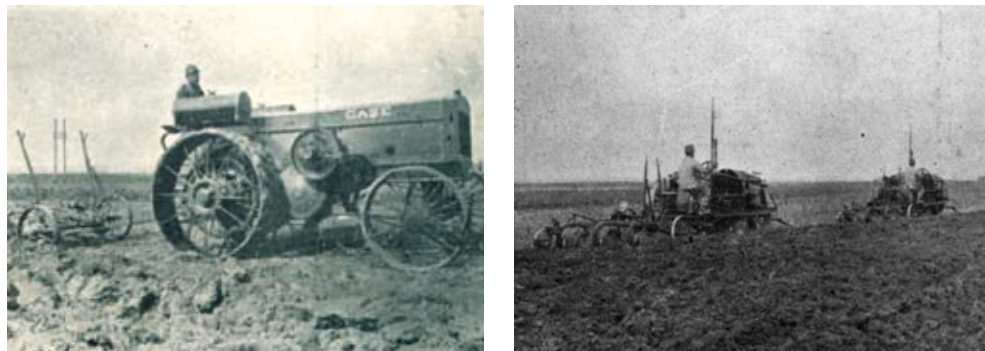


Figura 33. Servizio di Motoaratura di Stato: Trattore “Case” (9/18 kW) al lavoro (a sinistra); trattori “Case” impegnate in Puglia per l’aratura (a destra).

Un altro problema ampiamente affrontato con continuità dal Mayer nei suoi studi a Portici fu quello delle lavorazioni del terreno agrario che all’epoca non aveva trovato soluzioni soddisfacenti e che continuò ad essere dibattuto per molti anni dalla comunità scientifica di quell’epoca. Un primo opuscolo, ricco di erudizione classica, introdusse a questo tema¹¹, nel quale il Mayer risalì alle opinioni dei massimi scrittori latini, da Catone a Virgilio, fino a giungere, attraverso il Medio Evo con Pietro de Crescenzi¹², all’analisi delle teorie più recenti, che andavano sotto il nome di “neo-coltura”, per ricercare in che modo i mezzi meccanici potessero venire in ausilio agli agronomi. Successivamente il Mayer, attraverso ricerche di tipo analitico-meccanico, intraprese lo studio rigoroso delle varie parti dell’aratro¹³. Tratteggiò le finalità di questo mezzo, il più usato per il lavoro dei campi, e mise in rilievo il contributo che vi dette Leonardo da Vinci tramandandoci la «potente figurazione dell’aratro del rinascimento», il contributo

agricola e il riscontro di istituzioni estere nel settore determinarono la creazione, sempre a Roma, di una Scuola Nazionale di Stato per la Meccanica agraria che recepì il patrimonio della precedente Scuola pratica di Meccanica agraria che era stata soppressa.

¹¹ Mayer G.D., Mayer G., *Le caratteristiche della migliore lavorazione del terreno, in corrispondenza ai vari momenti ed alle diverse colture e nei riguardi dei mezzi meccanici*, Stabilimento Tipografico Franco Lubrano, Napoli, 1920, pp. 24.

¹² Pietro de Crescenzi nacque a Bologna il 1233 dove morì nel 1321. Compose un trattato d’agricoltura, che dedico a Carlo II d’Angiò (*Ruralium commodorum libri XII*), nel quale l’autore utilizzò ampiamente le fonti antiche, ma apportò anche notevoli contributi personali. Il libro ebbe grande fortuna ed è considerato quanto di più importante nella materia ci ha lasciato il Medioevo.

¹³ Mayer G.D., *La forma del versoio*, Atti dell’Istituto sperimentale di meccanica agraria, Milano, 1923, pp. 9.

del Lambruschini e quello più completo del Ridolfi, apprezzato anche all'estero, per giungere alle considerazioni degli studiosi francesi e americani. Ma le conclusioni sui risvolti pratici della sua indagine teorica gli fecero comprendere che il problema era complesso e che poteva trovare soluzioni concrete solo attraverso opportune indagini sperimentali.

Con la collaborazione di Emanuele De Cillis, docente di Agronomia a Portici, il Mayer iniziò studi comparativi sui vari metodi di lavorazione del terreno che tenevano conto dei progressi scientifici sulla fertilità, la chimica, la batteriologia e le proprietà fisico-meccaniche dei terreni¹⁴. Il Mayer affermava che era necessario che: «i tecnici meccanici chiedessero a quelli agrari quali siano precisamente gli scopi da realizzare con la lavorazione del terreno, quali le strutture migliori per le diverse piante e nei vari momenti delle coltivazioni, presumendo che, se il risultato da realizzare fosse sempre sicuramente additato, essi potrebbero facilmente fornire gli strumenti e i congegni veramente adatti e economici per ogni caso». Quando Federico Giordano¹⁵ fondò a Milano l'Istituto Sperimentale Nazionale di meccanica agraria il Mayer fu chiamato a dirigere la Sezione distaccata regionale meridionale con sede a Portici, e, nel tracciarne il programma al congresso della Società del Progresso delle Scienze del 1923 a Catania, affermò definitivamente la necessità di impiantare nel Mezzogiorno campi sperimentali per lo studio comparativo dei diversi metodi di lavorazione del terreno perché: «se l'agricoltura è scienza generale, l'agricoltura è arte di località. [Tanto più] che il bisogno sospinge novellamente le genti verso il Sud nei paesi dei futuri sfruttamenti».

L'attività del Mayer si rivolse anche verso altri problemi di meccanica agraria che erano in quel tempo di attualità. Con riferimento all'impiego delle macchine agricole trattò il problema del frumento in relazione alle macchine da impiegare; la coltura dei vigneti venne esaminata con riferimento a speciali dispositivi di aratura¹⁶; in un corposo trattato sull'impiego "dell'Elettricità" in agricoltura, con una sintesi efficace, espose le più moderne teorie sulle azioni "dell'Elettricità" nella vegetazione, sull'impiego di questa fonte energetica nelle lavorazioni agri-

¹⁴ Mayer G.D., De Cillis M., *Il problema agronomico-meccanico delle lavorazioni del terreno*, Atti dell'Istituto Sperimentale di meccanica agraria, Milano, 1923, pp. 29.

¹⁵ Federico Giordano fu docente di Costruzioni di macchine nel Politecnico di Milano e si dedicò con grande passione e non comune rigore ai più importanti problemi di meccanizzazione agricola dell'epoca, che affrontò su basi scientifiche e con procedimenti razionali.

¹⁶ Mayer G.D., *La lavorazione meccanica dei vigneti*, Atti dell'Istituto sperimentale di meccanica agraria, Milano, 1923.

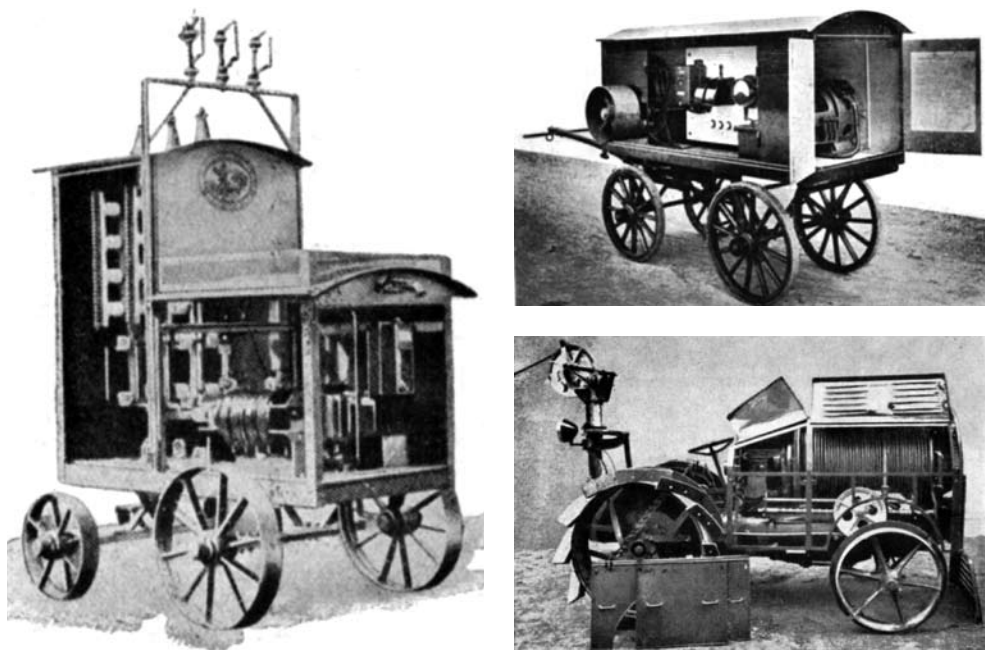


Figura 34. Aratura “Elettrica”: carro trasformatore (a sinistra); locomobile (in alto, a destra); trattrice elettrica Roulph-Sacerdoti (sopra, a destra). Questi sistemi di aratura furono sperimentati con un discreto successo nel periodo di sviluppo in Italia delle Società idroelettriche, ma col tramonto delle politiche autarchiche furono superati dai progressi della trazione diretta con motori a combustione interna.

cole, in particolare nell'utilizzo di motori elettrici per l'aratura sia funicolare che con trattrici, e nelle industrie agrarie¹⁷ (Figura 34). La fine immatura del Mayer (10 luglio 1925) lo colse impegnato, dal punto di vista tecnico, nel forte risveglio agricolo che caratterizzava la sua epoca. In virtù della sua profonda competenza acquisita a Portici sui problemi del Mezzogiorno, da lui conosciuto pienamente nei bisogni e nelle grandi risorse e da lui difeso, nel suo ultimo scritto sull'impiego delle macchine nell'agricoltura estensiva meridionale affermava: «ormai i tecnici veramente competenti hanno a sufficienza sfatato la leggenda di un Mezzogiorno agricolo arretrato per ignavia e incapacità, o forse meglio di essi sono

¹⁷ Mayer G.D., *L'Elettricità nell'agricoltura: problemi, esperienze, impianti, macchinari, bibliografia*, Ulrico Hoepli, Milano, 1924, pp. 105.

riusciti a distruggere [tale leggenda] i silenziosi lavoratori di questo paese, meravigliosi esempi di sane virtù patriottiche, custodi di una tradizione agricola millenaria, che non falla» (Figura 35).



Figura 35. Anno accademico 1924-1925: Giovanni Domenico Mayer con gli allievi del corso, seduto al centro Carlo Santini, in alto a destra il tecnico del Laboratorio di Meccanica agraria.

Carlo Santini

Furono assistenti del Mayer: Amedeo Bordiga (1920), che fu a capo della corrente degli astensionisti del Partito Socialista Italiano che portò, nel 1921, alla fondazione del Partito Comunista d'Italia dopo il congresso di Livorno; Antonio Solimene (1921); Carlo Santini (dall'aprile 1921 e dal 1923 aiuto), che tenne l'insegnamento di Meccanica agraria e costruzioni rurali per incarico dal 1925 al 1928 e dopo il 1928, a seguito di concorso, in qualità di professore di ruolo.

Carlo Santini (Figura 36) nacque a Napoli nel luglio 1895, si iscrisse alla Scuola Superiore Politecnica di Napoli, ma interruppe gli studi per servire la patria in guerra quale ufficiale di fanteria, al fronte dal 1915 dove gli fu conferita la medaglia d'argento al valore. Ritornato agli studi, conseguì nel 1921 la laurea in Ingegneria civile e fu prescelto dal Mayer quale assistente alla Cattedra di Meccanica agraria iniziando subito quell'intensa attività di studio e di ricerca che gli permise di ottenere rapidamente la libera docenza e di giungere nel 1928, presso l'Istituto Superiore di agricoltura di Portici, alla Cattedra di Meccanica agraria e costruzioni rurali (Figure 37 e 38); poi, a seguito del passaggio dell'Istituto Superiore



Figura 36. Carlo Santini.



Figura 37. Anno accademico 1926-1927: Carlo Santini con gli allievi del corso nell'Orto botanico della Scuola, nei pressi della fontana della "Flora" con tritoni e sirene.



Figura 38. Visita al Laboratorio di Meccanica agraria del ministro Giacomo Acerbo (al centro) accolto da Alberto De Dominicis (a sinistra) e da Carlo Santini (a destra), 27 giugno 1926.

di Portici alla Facoltà di Agraria dell'Università di Napoli nel 1935, divenne professore ordinario di Meccanica agraria e topografia e successivamente professore ordinario di Meccanica agraria. Il Santini per la sua profonda cultura fu ricercatore versatile che, anche in linea con i tempi, non limitò i suoi studi ad un ristretto campo di ricerca, ma, sia per la struttura dei vecchi ordinamenti che per gli incarichi pubblici affidatogli, approfondì, per oltre quaranta anni, quasi tutti i settori in cui si sviluppava l'ingegneria agraria, anche se il campo nel quale ha lasciato i maggiori contributi è stato quello della meccanica agraria¹.

¹ Candura G., *Il Genio Rurale in Italia e l'opera del prof. Carlo Santini*, Atti del 1° Convegno nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Portici 14-15 aprile 1966, Giuseppe Laterza & Figli, Bari, 1967, pp. 17-33.

Gli studi di Meccanica agraria

Inizialmente il Santini riordinò in modo organico gli esemplari di macchine agricole raccolte dai suoi predecessori costituendo un museo che, in più ambienti e per una superficie complessiva di circa duemila metri quadrati, ospitava, ordinate in modo da formare un'esposizione permanente: macchine motrici e da raccolta, macchine per la lavorazione del terreno, macchine per la semina e per il trapianto. Potenzì poi l'attività sperimentale, iniziata dal Mayer, sulle macchine agricole per la lavorazione del terreno, prima in piccoli campi ubicati nelle regioni meridionali più caratteristiche (a Taranto, a Crotone, a Catania a Cagliari) e poi nel grande campo di Cerignola (Foggia) sotto l'appassionata ed eccellente direzione di Emanuele De Cillis² (Figure 39-41). Le ricerche sulla lavorazione del terreno del Santini furono principalmente di carattere sperimentale e considerarono non solo l'aspetto dinamico del problema, ma anche la qualità delle lavorazioni e gli effetti di queste sulle coltivazioni. Nel Campo sperimentale di Cerignola fu svolto uno studio comparativo tra le varie macchine operatrici per la lavorazione del terreno e, per la prima volta in Italia, venne misurata, con un innovativo dinamometro di rotazione, costruito e messo a punto a Portici, l'energia assorbita dall'organo di lavoro e venne determinata l'energia richiesta dalle differenti categorie di macchine operatrici impiegate nelle stesse condizioni. Per la valutazione della qualità del lavoro di aratura fu proposto un metodo che teneva conto del grado di sminuzzamento del terreno a seguito delle lavorazioni e del coefficiente di variazione della profondità di aratura. Le conclusioni delle ricerche eseguite a Cerignola dimostrarono chiaramente che, da un punto di vista agronomico e in ordine alla produzione delle colture, l'aratro rovesciatore era lo strumento migliore per le lavorazioni del terreno; dal punto di vista batteriolo-

² Il Comitato permanente del grano nel 1925 venne nella conclusione non solo di dotare di mezzi sufficienti gli Istituti esistenti nel settore, ma anche di creare nuovi centri di ricerca tra cui un Campo di aridocoltura a Cerignola in Puglia, la cui conduzione venne affidata al Laboratorio delle Coltivazioni del R. Istituto Superiore Agrario di Portici diretto da Emanuele De Cillis. Il problema delle coltivazioni fu affrontato integralmente a Cerignola con ricerche sulle relazioni esistenti tra mezzi tecnici e produzioni da un lato e ambiente fisico e produzione dall'altro e si avvale di competenze specifiche nelle varie branche, attivando collaborazioni con: Enrico Pantanelli, per ricerche sulle variazioni fisiche e chimiche del suolo; Giacomo Rossi, per ricerche sulle variazioni biologiche del suolo; Carlo Santini, per lo studio meccanico delle lavorazioni del terreno. Alle sperimentazioni di Cerignola parteciparono anche assistenti del De Cillis e in particolare: Luigi Leggieri per la tecnica delle coltivazioni; Nicola Carretto per gli studi di ecologia agraria; Nissim Masciah per gli esperimenti di indole biologica e per ricerche nella letteratura scientifica e tecnica. De Cillis E., *I primi quattro anni di sperimentazione nel Campo di aridocoltura di Cerignola*, Premiata Stabilimento Tipografico Ernesto della Torre, Portici, 1931, pp. 771.



Figura 39. Personale tecnico del Laboratorio di Meccanica agraria durante prove di aratura.

gico, sebbene le lavorazioni eseguite con vari tipi di attrezzi dimostrarono tutte un'azione favorevole all'aumento della flora batterica, gli strumenti rovesciatori, a preferenza degli altri, portavano più rapidamente ad un equilibrio numerico tra le varie categorie microbiche³.

Nel maggio 1932 si svolse a Roma la Settimana della Meccanica Agraria organizzata con grande impegno e larghezza di mezzi dal Sindacato Nazionale dei Tecnici Agricoli, sotto l'egida del Ministero dell'Agricoltura e Foreste; la manifestazione aveva lo scopo di far conoscere, apprezzare e meglio valutare i pregi delle macchine agricole che la nascente industria italiana offriva agli agricoltori, e fu articolata attraverso diverse iniziative: il Primo Congresso Nazionale di Meccanica Agraria; una Mostra di macchine e attrezzi di uso agricolo; Dimostrazioni pratiche del funzionamento delle diverse macchine; Conferenze propagandistiche illustrative dell'importanza della meccanizzazione in agricoltura. Il Congresso si svolse dal 12 al 14 maggio e fu solennemente inaugurato, alla presenza di numerose personalità del modo politico e tecnico, in Campidoglio, nella sala Giulio

³ Le conclusioni delle indagini si possono così riassumere: meno energia richiedevano gli aratri ad orecchio e quelli a disco; di più, una volta e mezzo, il ripuntatore; circa il doppio la fresatrice; il lavoro meccanico assorbito dalla fresatrice si riduceva sensibilmente mano a mano che la macchina avanzava a maggiore velocità; l'epicatura, sia eseguita con l'erpice a dischi che con l'erpice a denti, richiedeva quasi uguale spesa di energia, sebbene la qualità del lavoro non fosse la stessa.



Figura 40. Campo sperimentale di Cerignola, prova della fresatrice Siemens, 26 kW: vista d'insieme (in alto); particolare del dinamometro a rotazione con registratore (a sinistra).



Figura 41. Campo sperimentale di Cerignola, prove di aratura.

Cesare, dal Ministro per l'Agricoltura e le Foreste Giacomo Acerbo che nel suo discorso inaugurale si soffermò sull'importanza che le macchine avevano nella riduzione dei costi di produzione e assicurò il suo interessamento per una concreta diffusione delle applicazioni dell'energia elettrica in agricoltura, che avrebbe arrecato vantaggi all'economia agricola. Presidente e segretario generale del Convegno furono nominati rispettivamente Emanuele De Cillis e Carlo Santini del R. Istituto Superiore Agrario di Portici e la relazione conclusiva fu tenuta da Arrigo Serpieri, sottosegretario di Stato per la bonifica; i lavori si conclusero con l'approvazione di un ordine del giorno e con la visita all'Istituto Sperimentale di Frutticoltura ed Elettrogenetica a Grottarossa, dove i congressisti visitarono anche l'azienda annessa all'Istituto e le coltivazioni di varietà di grano elette⁴.

⁴ Tutto il materiale relativo alle relazioni e alle discussioni del Primo Congresso nazionale di Meccanica Agraria fu raccolto a cura di Carlo Santini e pubblicato dal Sindacato Nazionale dei Tecnici Agricoli. Il volume iniziava con i dati relativi all'organizzazione, con i testi dei discorsi pronunciati all'apertura e alla chiusura del Congresso e con gli ordini del giorno approvati durante i lavori. Il materiale di studio era riunito in sei gruppi di argomenti: il primo riguardava i problemi della lavorazione del terreno e quelli delle trattrici, il secondo e il terzo si riferivano al macchinario per l'irrigazione e per le colture speciali e comprendevano undici relazioni; il quarto raccoglieva gli studi sull'economia dell'impiego delle macchine agricole e conteneva i risultati di un'indagine svolta dall'Istituto Nazionale di Economia Agraria in sei regioni: Lombardia, Veneto, Emilia, Toscana, Campania e Sicilia; nel quinto erano esposti i vari aspetti dell'impiego "dell'Elettricità" in agricoltura a cura di dieci esperti del settore; l'ultimo gruppo di relazioni riguardava i problemi della meccanica agraria considerati in rapporto a quelli della difesa nazionale e della mobilitazione, esaminati da Federico Giordano e dal generale Pugnani del Ministero della Guerra. *Atti del*

L'importanza del Primo Congresso di Meccanica Agraria fu accresciuta anche dalla contemporanea apertura della Mostra nazionale di Macchine agricole che evidenziava gli importanti progressi fatti dall'industria italiana del settore per contenere le importazioni di macchinari dall'estero e costituiva un importante mezzo per la diffusione e la valorizzazione dei prodotti italiani. La Mostra fu realizzata in località "Parioli" e, ad ornamento della stessa, negli spazi non occupati dall'esposizione di macchine venne predisposta una Mostra di giardinaggio a cui parteciparono le più importanti ditte e città italiane; inoltre appositi spazi furono riservati per prove dimostrative di funzionamento di macchine e di trattrici. Il R. Istituto Superiore Agrario di Portici allestì, nell'ambito della Mostra, uno stand che suscitò interesse, come riferito dalla stampa, e fu visitato da numerose personalità⁵. Nello stand dell'Istituto di Portici furono esposte anche alcune apparecchiature impiegate dal Santini per i suoi studi fondamentali sull'indice di aderenza e sul rendimento delle trattrici agricole (Figure 42-47) i cui primi risultati erano stati presentati al Primo Congresso Nazionale di Meccanica Agraria⁶. Non potendosi ritenere valide le esperienze acquisite in precedenza per i veicoli a trazione meccanica su strade ordinarie e ferrate, il Santini si preoccupò di approfondire le conoscenze sul modo con cui la trattrice esplicava il suo lavoro su terreno cedevole. Poiché la trattazione teorica, per la complessità del fenomeno, non era sufficientemente rappresentativa e risultava di scarso valore applicativo, a Portici furono condotte ricerche di carattere sperimentale con lo scopo di individuare i fattori che limitavano le capacità di trazione delle macchine, di stabilirne i limiti di variazione e di tracciare un bilancio dinamico completo delle trattrici in pieno campo. Per individuare la capacità massima di trazione venne utilizzato un

Primo Congresso Nazionale di Meccanica Agraria tenutosi a Roma nel maggio 1932, Sindacato Nazionale dei Tecnici Agricoli, Roma, 1932, pp. 700.

⁵ «Il Capo del Governo, ricevuto dal sen. De Cillis e dal prof. Santini, si è quindi soffermato presso gli apparecchi di misurazione ideati e costruiti nel laboratorio meccanico del R. Istituto Superiore Agrario di Portici per lo studio dinamico completo delle trattrici agricole, eseguito a mezzo di bilance dinamografiche applicate alle ruote delle motrici. Interessanti grafici illustrano nello stesso padiglione la attrezzatura del Campo sperimentale di Cerignola diretto dal senatore De Cillis» (*L'Agricoltore D'Italia*, 14 maggio 1932); il Re, Vittorio Emanuele, «si è vivamente interessato alle macchine esposte nel padiglione *Fiat*, che gli sono state illustrate dal colonnello Lambert, allo stand del R. Istituto superiore agrario di Portici, dove è stato ricevuto dal senatore De Cillis e dal prof. Santini» (*Il Giornale d'Italia*, 14 maggio 1932); «il tenente generale Pugnani, ispettore generale dei Servizi automobilistici del Ministero della Guerra, si è recato alla Mostra per prendere visione dell'attrezzatura sperimentale per lo studio dei mezzi di trazione su terreno cedevole studiati nel Laboratorio di meccanica del R. Istituto Superiore agrario di Portici» (*Il Messaggero*, 17 maggio 1932).

⁶ Santini C., *Sull'indice di aderenza e sul rendimento delle trattrici agricole*, Atti del primo Congresso nazionale di meccanica agraria, Stabilimento Tipo-Rotocalcografico Arte della Stampa, Roma, 1932, pp. 1-63.



Figura 42. Prove per la determinazione del rendimento e dell'*indice di aderenza* delle trattrici: disposizione in campo delle apparecchiature.



Figura 43. Prove per la determinazione del rendimento e dell'*indice di aderenza* delle trattrici: argano freno impiegato nelle prove.

indice, detto *di aderenza*, definito come il rapporto tra la potenza massima al gancio, ritraibile su un dato terreno orizzontale, e il peso della trattrice⁷.

⁷ L'*indice di aderenza* veniva determinato con uno speciale argano-freno e un carrello dinamografico, appositamente realizzati a Portici, incrementando gradatamente la sollecitazione al gancio della trattrice finché il motore avesse dato segni di insufficienza, oppure si fossero raggiunti valori eccessivi dello slittamento. Le prove eseguite su macchine di tipo diverso e in situazioni molto differenti, evidenziarono che le migliori condizioni si avevano nei terreni compatti con cotica erbosa non bagnati; le peggiori condizioni si presen-

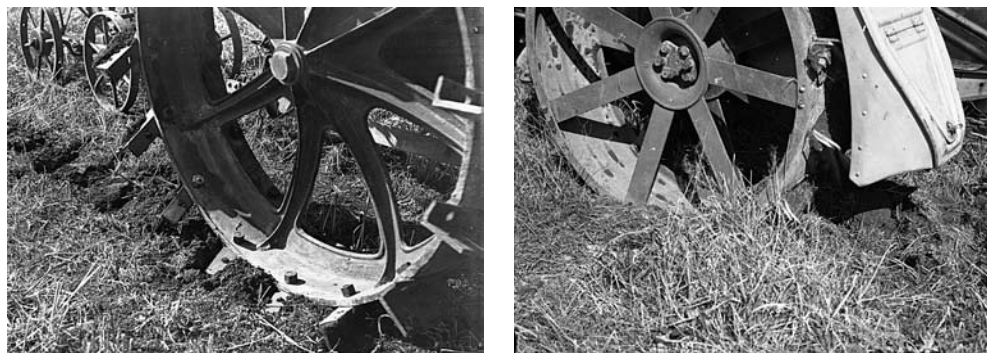


Figura 44. Prove per la determinazione del rendimento e dell'*indice di aderenza* delle trattrici: particolare dell'azione di una ruota a costoloni: si distingue la fase di penetrazione e quella di recesso che sconvolge la compattezza del terreno (a sinistra); quando si determina il distacco del prisma di terreno tra due costoloni, la ruota affonda e inizia a girare con maggiore velocità (a destra).

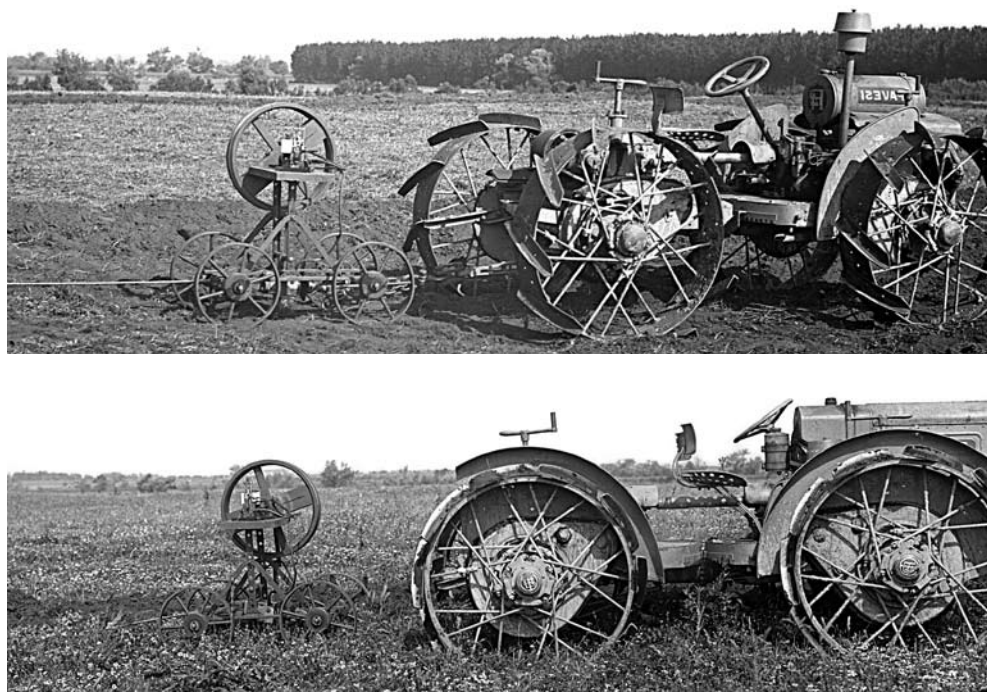


Figura 45. Prove per la determinazione del rendimento e dell'*indice di aderenza* delle trattrici, condotte nel territorio di Eboli (Salerno) con trattrici Pavesi a quattro ruote motrici: P4 (12 kW) (in alto); P4 M (30 kW) (sopra).



Figura 46. Prove per la determinazione del rendimento e dell'*indice di aderenza* delle trattrici: carrello dinamometrico con registrazione.

A Portici il Santini mise a punto originali apparecchiature di misura, da applicare agli alberi delle ruote motrici, che consentirono la determinazione del rendimento degli organi di propulsione delle trattrici (Figura 48); fu così possibile per la prima volta tracciare le curve caratteristiche del comportamento delle trattrici

tavano nei terreni sabbiosi senza cotica erbosa. Si rilevò inoltre che le macchine a cingoli si adattavano bene alle diverse condizioni di aderenza dando la sicurezza di poter sempre utilizzare la potenza disponibile al motore. Altro risultato fu che: «L'indice di aderenza non corrisponde alla prova che dà il massimo valore dello sforzo di trazione perché questo è ottenuto con slittamenti forti e, quindi, con velocità ridotte. Ciò vuol dire che per ogni condizione esiste un valore dello slittamento, che può essere chiamato critico, con il quale si ottiene la massima potenza al gancio. Oltre tale valore dello slittamento non conviene andare perché, incrementandosi ancora lo sforzo al gancio, si riduce troppo rapidamente la potenza utile». Il metodo seguito a Portici fu successivamente adottato in molti Istituti di ricerca e i risultati delle prove rappresentarono un apporto fondamentale allo sviluppo della meccanizzazione agricola dell'epoca.



Figura 47. Prove dimostrative del collaudo di una trattrice a cingoli Caterpillar nel parco della Reggia di Portici, in occasione del Raduno dei Tecnici agricoli del Mezzogiorno e delle Isole d'Italia (1931).

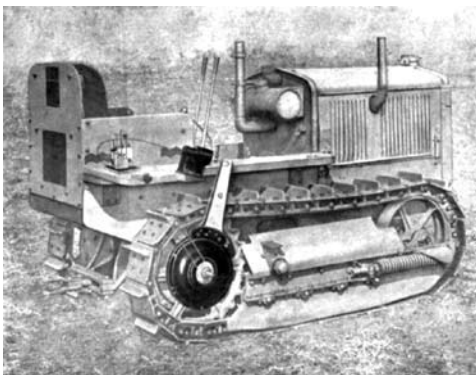


Figura 48. Trattrice a cingoli con dinamometro di rotazione e registrazione applicato all'albero di una ruota motrice.



Figura 49. Madrid 1935, *II Congrès International de Génie Rural*: foto dei partecipanti al ricevimento offerto dall'Associazione Spagnola degli Ingegneri il 25 settembre.

funzionanti in pieno campo, argomento questo oggetto della relazione al Congresso internazionale di Madrid⁸ (Figura 49). Furono poi eseguite anche ricerche per determinare l'influenza del tipo di motore sul comportamento delle trattrici. Si constatò che l'indice di aderenza migliorava con l'adozione di motori elettrici, mentre le trattrici con motore a combustione alimentato con gas di gassogeno facevano registrare al gancio una perdita di potenza notevole in confronto alla normale alimentazione con petrolio, tanto da pregiudicarne all'epoca l'economia dell'impiego.

Riguardo alle prove sulle trattrici agricole (Figura 50) Carlo Santini è intervenuto anche alla *II^{ème} Conférence Internationale sur l'emploi des Machines agricoles* del 1933 tenendo relazioni *Sur l'unification des méthodes d'essai des moteurs e des machines pour le labour du sol* e su *L'emploi des machines agricoles en relation a l'actuelle situation de l'agriculture dans le monde*; successivamente ha fatto parte più volte in Italia della Commissione consultiva per meccanizzazione dell'agricoltura, nominata dal competente Ministero, e di commissioni europee costituite al fine di individuare le norme da adottare in sede di omologazione delle trattrici. A Portici nei terreni annessi alla reggia furono anche realizzate nel dopoguerra apparecchiature con le quali era

⁸ Santini C., *Un nuovo metodo di misura diretta delle perdite di energia meccanica degli organi di propulsione delle trattrici agricole*, Atti del II Congrès International de Génie Rural, Ministerio de Agricultura Servicio de Publicacion agricolas, Madrid, 1935, pp. 220-233.



Figura 50. Seconda metà degli anni Trenta: gli studenti del corso di Meccanica agraria assistono alle prove sulle macchine agricole.



Figura 51. Sistema funicolare centralizzato realizzato a Portici per il collaudo delle trattrici agricole in terreni diversi ricostituiti in quattro vasche. Nella foto si nota, nella parte inferiore a sinistra, una puleggia di rinvio e la prima delle vasche.

possibile provare le trattrici in varie condizioni di impiego mediante un sistema funicolare centralizzato e vasche dove erano ricostituiti suoli diversi (Figura 51).

Il Santini svolse anche diverse ricerche sulle macchine operatrici agricole. La sua prima pubblicazione ebbe per argomento le macchine per piantare e per scavare le patate⁹, dove trattò un problema all'epoca di grande attualità e i risultati a cui giunse furono per diversi anni di riferimento per stabilire la convenienza economica a sostituire la mano d'opera nella coltivazione dei tuberi. La relazione al Concorso internazionale di Vercelli per trapiantatrici da riso¹⁰ (Figura 52), fatta

⁹ Santini C., *Le macchine per piantare e per scavare le patate*, Stabilimento Tipografico Ernesto Della Torre, Portici, 1924, pp. 80.

¹⁰ Il trapianto del riso, introdotto in Italia dalla Stazione sperimentale di Vercelli, si diffuse largamente in Italia. Poiché questa nuova pratica richiedeva grande quantità di mano d'opera, in periodi in cui questa era assorbita da altri lavori, si pensò di meccanizzarla. A questo scopo furono promossi Concorsi internazionali (1926, 1928, 1930), che stimolarono lo studio cinematico di meccanismi ideati per sostituire l'azione dell'uomo nell'esecuzione del trapianto.



Figura 52. Concorso internazionale per la meccanizzazione del trapianto del riso indetto dalla Stazione Sperimentale di Vercelli (1926). In piedi sull'apparecchiatura in prova Carlo Santini.



Figura 53. Prove di mietitura e trebbiatura in provincia di Foggia (1930).

nel 1926, contiene un'impostazione del problema del trapianto meccanico, che risultò di notevole validità. Le trebbiatrici, introdotte in Italia all'inizio del Novecento, furono particolarmente studiate a Portici, per disposizione promossa dal Comitato permanente del grano nell'ambito della "battaglia del grano", e il Santini condusse ricerche tendenti a stabilire le perdite di granella e le caratteristiche di commerciabilità del grano raccolto con varie metodologie, che fecero per lungo tempo testo (Figura 53). Avendo le ricerche fin dall'inizio posto in evidenza che i limiti di variazione erano abbastanza distanti tra loro, si volle precisare l'importanza dei vari fattori che influivano sulle perdite stesse: la portata e le modalità di alimentazione delle macchine, la distanza tra battitore e contro battitore, la velocità del battitore e il relativo grado di irregolarità, la portata del ventilatore e le caratteristiche del motore. Sulle mietitrebbiatrici furono evidenziate le riduzioni di perdita di granella rispetto ad altre procedure, in quanto con queste macchine si annullavano le operazioni di legatura, deposizione e trasporto dei covoni.¹¹

In quel periodo a Portici vennero sviluppati, tra l'altro, da Giovanni Candura, assistente alla cattedra di Meccanica agraria dal 1927, anche studi approfonditi sulle falciatrici. Ai procedimenti grafici proposti da diversi autori il Candura contrappose un procedimento analitico che, individuati tredici elementi caratteristici dell'organo di taglio, giungeva a formule che, per le superfici di taglio, davano: il valore percentuale, le condizioni perché non si sovrapponevano e la velocità con le quali venivano percorse. I risultati a cui pervenne il Candura favorirono un'approfondita e rapida valutazione di apparecchi di taglio già costruiti e forniscono, in sede di progetto, un utile strumento per il loro dimensionamento. Inoltre il procedimento servì di base a ricerche sperimentali miranti alla determinazione dei valori più convenienti, nelle diverse condizioni di impiego, di alcuni elementi caratteristici delle falciatrici, quali la velocità media della sega e quella all'inizio e quella alla fine delle superfici di taglio¹².

Nel secondo dopoguerra il Santini intervenne più volte in tema di meccanica agraria. Sulle prospettive di sviluppo dei tipi costruttivi di macchine evidenziò l'importanza di elevare i rendimenti delle trattrici e l'esigenza di procedere ad un lavoro di unificazione, come avveniva in altri paesi, nella prospettiva di ar-

¹¹ Santini C., *I primi risultati di una indagine sull'impiego delle mietitrici-trebbiatrici in provincia di Foggia*, Stabilimento Tipografico Fulgor, Potenza, 1930, pp. 13.

¹² Candura G., *Studio cinematico dell'apparecchio di taglio delle macchine per la raccolta dei cereali e dei foraggi*, Stabilimento Tipografico Ernesto Della Torre, Portici, 1934, pp. 22. Candura G., "Studio cinematico comparativo delle falciatrici OMI e KRUPP", *Annali della Facoltà di Agraria della R. Università di Napoli*, serie III, vol. X, 1939, pp. 341-355.

recare vantaggi tangibili, sia ai costruttori che, limitando il numero dei tipi, potevano ridurre i costi di produzione e le spese per le scorte, sia ai commercianti, sia agli agricoltori per i quali era facilitata la scelta delle macchine e l'acquisto dei ricambi¹³. Al XX Congresso della bonifica che si tenne a Napoli dal 18 al 21 maggio 1961, illustrò le esigenze di un'agricoltura interamente meccanizzata, come necessità di un'agricoltura produttiva e come fattore di incremento e stabilità nella produzione e nella riduzione dei costi, specialmente nei settori nei quali presentava margini di convenienza limitati. Dopo un ampio esame dei problemi di meccanizzazione per i diversi territori e per le diverse attività agricole, affrontò il problema dell'energia in agricoltura, che nei paesi dell'O.E.C.E. era in continuo aumento, e le azioni da intraprendere per una sua più efficace ed economica utilizzazione¹⁴.

Gli studi sulle Costruzioni rurali

Nel campo delle costruzioni rurali Carlo Santini fornì, fin dall'inizio della sua carriera accademica, contributi che favorirono lo sviluppo del settore. Con la promulgazione delle leggi sulla bonifica integrale le infrastrutture rurali rappresentarono una parte importante dell'opera da compiere in quanto uno degli obiettivi del legislatore era rappresentato dal popolamento delle campagne e dal loro graduale appoderamento. Pertanto, l'interesse per le costruzioni rurali produsse in quell'epoca un processo di rinnovamento del settore da parte di agricoltori lungimiranti, ma specialmente di tecnici e di ricercatori, con l'intento di adeguarlo alle esigenze di un'agricoltura in evoluzione, che in quell'epoca prevedeva anche interventi analoghi nelle colonie africane di recente acquisizione. Questo processo portò l'edilizia rurale a distaccarsi sempre di più dagli schemi di progettazione e di costruzione tradizionali, vecchi di secoli, per l'insorgere di problemi di natura diversa (biologica, economica, agronomica, tecnico-costruttiva), così nuovi e complessi che il vecchio empirismo non era più in grado di affrontare. Il processo di rinnovamento inizialmente interessò prevalentemente l'interno dei fabbricati aziendali rurali e in particolare le loro caratteristiche distributive, dimensionali e di attrezzamento. Successivamente, tenuto presente il clima e i materiali a disposizione, le varie

¹³ Santini C., "Prospettive della meccanica agraria", *L'Italia Agricola*, anno 84, n. 1, Ramo Editoriale degli Agricoltori, Roma, 1947, pp. 41-48.

¹⁴ Santini C., *Macchina ed energia nelle esigenze competitive e nelle prospettive di lavoro nella nuova agricoltura del Mezzogiorno*, Atti del XX Congresso della Bonifica, S.P.A. Tipografica Castaldi, Roma, 1961, pp. 83-112.

parti delle costruzioni rurali furono studiate in maniera da farle risultare efficienti in ordine alla loro destinazione e all'ordinamento delle produzioni, determinando modifiche, anche profonde, nelle più appariscenti caratteristiche costruttive e architettoniche. L'organizzazione dei fabbricati aziendali nei piani di bonifica o di messa a coltura di vasti territori, venne sempre più perseguita in base ai criteri di razionalità, di economia, di comodità e di estetica propri dell'urbanistica.

Carlo Santini inizialmente si interessò del problema pubblicando, nel 1924, una monografia sulle stalle per vacche da latte¹⁵, nella quale inquadrava e approfondiva, con precisione e in maniera esaustiva, le principali problematiche: il problema della ventilazione, la distribuzione planimetrica delle stalle e dei locali annessi, i particolari costruttivi, l'arredamento interno. Successivamente, in occasione del 1° Corso di perfezionamento per dottori in scienze agrarie, organizzato dall'Associazione Nazionale tra i Consorzi di bonifica e d'irrigazione, il Santini pubblicò un trattato sulle costruzioni rurali¹⁶, nel quale vennero descritti in maniera critica: i ricoveri del bestiame, le concimaie, i sili, i locali per la cura e la custodia dei tabacchi, le costruzioni nelle zone malariche; mentre le abitazioni dell'uomo nelle aziende tipiche italiane vennero pubblicate nel Manuale dell'Agronomo. Nel 1932, in seguito a specifico incarico dell'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA), il Santini svolse un'indagine sulle nuove costruzioni nel Mezzogiorno e ne pubblicò i risultati in un volume, edito dallo stesso Istituto¹⁷.

Al II Raduno dei Tecnici Agricoli in Portici il Santini presentò una relazione sulla tecnica e l'economia delle costruzioni rurali¹⁸ nella quale illustrò alcuni aggiornamenti dei criteri da seguire per l'ubicazione, l'orientamento, la posizione relativa dei vari fabbricati, la disposizione delle aperture, la ventilazione, l'ampiezza dei locali destinati all'abitazione, le caratteristiche dell'architettura e di alcuni particolari relativi alla lotta anti malarica, allora indispensabile per la permanenza dell'uomo in alcuni territori. Nella relazione, vennero esaminati i costi dei fabbricati rurali, che furono messi in relazione alla tipologia dall'azienda e venne auspicata una sempre più intensa collaborazione tra ingegneri e agronomi nel cam-

¹⁵ Santini C., *La stabulazione delle vacche da latte e gli arredi moderni*, Stabilimento Tipografico Bondoniano, Portici, 1924, pp. 9.

¹⁶ Santini C., *Disegni illustrati di costruzioni rurali*, Tipografia Editrice N. Berenato, Portici, 1931, pp. 48.

¹⁷ Santini C., *Nuove costruzioni in Italia: Campania, Puglia, Basilicata, Calabria*, S.A. Tipografia Operaia Romana, Roma, 1932, pp. 112.

¹⁸ Santini C., *La tecnica e l'economia delle costruzioni rurali nel Mezzogiorno e nelle grandi Isole*, Atti del 2° raduno dei tecnici agricoli del Mezzogiorno e delle grandi isole d'Italia, 24-26 maggio 1933, Tipografia Ernesto Della Torre, Portici, 1933, pp. 291-300.

po delle costruzioni rurali, in modo da migliorarne le caratteristiche costruttive. In occasione poi del Corso di organizzazione tecnico agricolo-coloniale, tenuto a Roma nel 1936, il Santini intervenne sui fabbricati rurali in Etiopia ed espose le caratteristiche e i particolari costruttivi delle costruzioni in clima tropicale, proponendo anche alcune tipologie per le abitazioni dell'uomo¹⁹.

L'attività e gli studi nel campo della bonifica

L'attività svolta da Santini nel campo della bonifica, dell'irrigazione e dei miglioramenti fondiari fu dovuta, oltre che all'interesse ad approfondire quello che si svolgeva intorno a sé, anche agli incarichi specifici da lui tenuti con competenza, con zelo e con onestà intellettuale. Il Santini infatti fu tra l'altro: amministratore dell'Opera Nazionale Combattenti, che aveva il compito di provvedere alla colonizzazione dei territori soggetti all'obbligo della bonifica e nei quali l'iniziativa privata risultava insufficiente; membro del Comitato centrale per il credito agrario del Banco di Napoli; presidente della Circostrizione campana dell'Associazione nazionale delle bonifiche; presidente del Consorzio di bonifica di Paestum.

Carlo Santini venne nominato dal Governo centrale nel 1941 presidente del Consorzio di bonifica di Paestum (procedura eccezionale non in linea con le disposizioni usuali) per risolvere alcuni problemi che erano sorti all'interno della deputazione e per la complessità e la delicatezza delle opere da realizzare. Infatti il comprensorio del Consorzio, pur non avendo una notevole estensione, era in condizioni idrauliche e igieniche molto gravi per la presenza della malaria e di sorgenti di acque salmastre, che si mescolavano a quelle dolci e lasciavano depositi salini con presenza di formazioni di travertino²⁰. Il Santini si dedicò con

¹⁹ Santini C., *I fabbricati rurali in Etiopia*, Tipografia Editrice Sallustiana, Roma, 1936, pp. 18.

²⁰ Per il risanamento delle zone basse della piana in sinistra del fiume Sele nel Novecento si erano abbandonate le tecniche di bonifica idraulica per colmata, che richiedevano tempi troppo lunghi, in favore del sollevamento meccanico delle acque, e contemporaneamente alle opere di bonifica idraulica erano state avviate le opere per l'irrigazione del comprensorio che erano numerose, impegnative e necessarie come aveva sostenuto Carlo Afan de Rivera nell'Ottocento: «Tutta questa fertillissima terra, che è situata in riva al mare sotto un cielo propizio alla vegetazione, e che può essere in gran parte irrigata, soggiace alla pestifera influenza delle acque stagnanti». Prima dell'inizio del Secondo conflitto mondiale il Consorzio di bonifica di Paestum (istituito nel 1926) aveva ottenuto per l'irrigazione una concessione per il prelievo nella stagione irrigua di una consistente portata d'acqua dal fiume Sele e dal suo affluente Calore; nel luglio 1934, alla presenza del Principe ereditario e del Sottosegretario alla bonifica Arrigo Serpieri, era stata inaugurata la traversa sul fiume Sele a Persano che consentiva la derivazione delle acque nel comprensorio per l'irrigazione; successivamente erano state anche realizzate l'opera di presa, una galleria di derivazione delle acque



Figura 54. Consorzio di bonifica di Paestum: ponte sifone (rovescio) sul canale principale d'irrigazione per l'attraversamento del torrente La Cosa (1950).

passione al Consorzio di bonifica di Paestum che considerò una palestra in cui trasferire tutte le sue conoscenze e le innovazioni che si andavano affermando in quell'epoca nel campo della bonifica idraulica, dell'irrigazione collettiva e dei miglioramenti fondiari. Dopo il Secondo conflitto mondiale, facendo leva sulle sue capacità di organizzatore e di realizzatore e, con "francescano disinteresse", furono rapidamente ripristinate le opere distrutte o danneggiate dalla guerra. In particolare fu ricostruito il grande ponte canale-stradale in cemento armato per l'attraversamento del fiume Calore che, oltre a consentire il trasporto dell'acqua irrigua, risolveva il problema di collegamento stradale dei territori collinari.

I primi stanziamenti, predisposti anche con i contributi dell'European Recovery Program (Erp), consentirono poi, a pochi anni dalla fine della guerra, di completare le opere essenziali per l'efficienza della bonifica idraulica. Successivamente, completato il canale adduttore (Figura 54), iniziò la costruzione del-

nonché un breve tratto del canale adduttore. Molto però restava da fare. Restavano da completare le opere di bonifica idraulica, necessarie per debellare definitivamente la malaria, da realizzare gran parte del canale adduttore e tutta la rete di distribuzione dell'acqua irrigua alle aziende, nonché le trasformazioni fondiarie e le infrastrutture necessarie per lo sviluppo di un'agricoltura stabile e sostenibile.

la rete irrigua di distribuzione dell'acqua alle aziende che venne realizzata con canali a "pelo libero". Per le reti minori furono utilizzati elementi prefabbricati in calcestruzzo, poggiati su sostegni anch'essi prefabbricati, studiati a Portici presso l'Istituto di Meccanica agraria nei loro aspetti strutturali e di produzione in grande serie (Figura 55). Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nell'approvare il progetto generale, ne riconobbe il carattere sperimentale, l'originalità della soluzione e l'organizzazione meccanizzata con la quale veniva effettuata la produzione in serie. Questo impiego di elementi prefabbricati, per la prima volta introdotti nel comprensorio di bonifica di Paestum, con tecniche e caratteristiche costruttive che si perfezionarono successivamente, furono poi utilizzati in modo generalizzato dalla Cassa per il Mezzogiorno nelle reti di irrigazione dei comprensori meridionali²¹.

L'impianto di irrigazione del Consorzio venne inaugurato, nel 1951, dall'on. Antonio Segni, all'epoca Ministro dell'Agricoltura (Figura 56). Il Comprensorio liberato dall'acquitrino e dalla malaria, dotato di opere per la distribuzione dell'acqua irrigua, arricchito con le fondamentali infrastrutture civili (strade, acquedotti, elettrodotti, centri di servizio), coinvolto in una generalizzata diffusione della meccanizzazione riguardante tutte le operazioni colturali e in una radicale trasformazione fondiaria, si avviò verso un rapido sviluppo economico e sociale che, partito dal settore agricolo, via via dette luogo ad una società nella quale le moderne componenti industriali, turistiche e del terziario sono ormai fortemente rappresentate. Per i risultati, così rapidamente raggiunti, il Consorzio nel dopoguerra fu

²¹ Gioacchino Viggiani in un articolo dal titolo *Visita ad una bonifica*, apparso l'8/10/1950 sul *Mondo agricolo*, così scriveva: «Santini ha studiato amorevolmente il territorio del suo comprensorio, ne ha approfondito le necessità e i bisogni ne ha progettato con francescano disinteresse le maggiori opere ingegneristiche, ha sollecitata, svegliata, coordinata e diretta la volontà fattiva e intelligente di progresso e di redenzione dei suoi consorziati. Dovunque l'attività consortile è febbrile, seria, opportuna, utile: dovunque è Carlo Santini che con tenace e modestia e sicura fede, cerca di bruciare le tappe per raggiungere la meta finale! Il Consorzio esegue, a mezzo di imprese serie, lavori che sono vero modello di perfezione e di modernità tecnico-economica. Ponti, ponti canali, sifoni, canali derivatori, canali principali, secondari e di dispensa, che sono dei gioielli di semplicità e di solidità costruttiva. Strade, fasce frangivento, rimboschimenti di golene, sperimentazione forestale, apparecchi misuratori che nella loro semplice costituzione dimostrano chiarezza, onestà e serietà di intenti e di concetti in chi li ha pensati e ordinati. Cantieri di costruzioni dei manufatti cementizi (canali piastre, tubi, blocchetti, ecc.) che sono la manifesta rappresentazione dell'intelligenza, dell'esperienza, e della volontà di realizzazione del Santini e dei suoi collaboratori. Ecco l'impressione che suscita la visita al Consorzio di Pesto, in chi, come lo scrivente, ben conosce, purtroppo, l'azione svolta da molti Consorzi di bonifica, specialmente dell'Italia meridionale! [...] Ma – e questo conta assai di più – è l'attività didattico-sperimentale del Consorzio, per così dire, quella che maggiormente, secondo me, ne mette in rilievo la sua efficienza, e la sua opportunità. Mi riferisco in particolare al cantiere di fabbricazione dei manufatti cementizi».

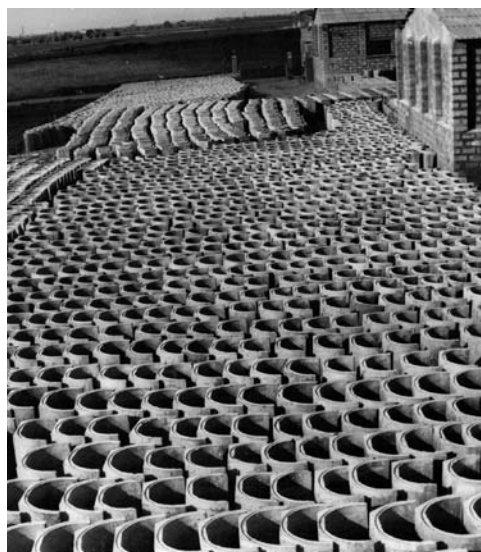
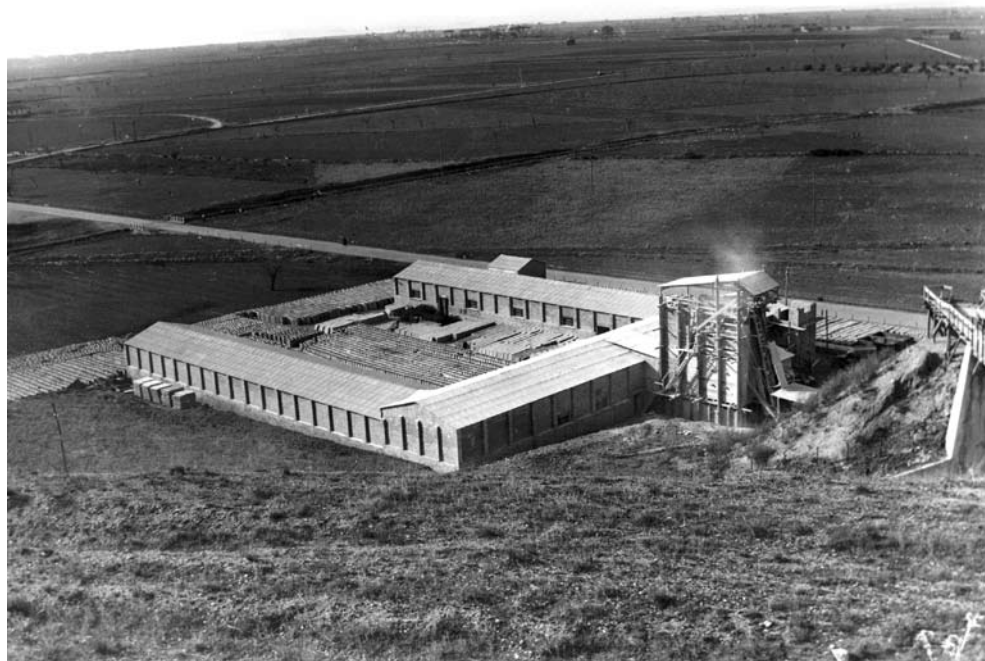


Figura 55. Consorzio di bonifica di Paestum: cantiere per elementi prefabbricati (in alto); deposito degli elementi di canalizzazione prefabbricati (a sinistra); rete terziaria d'irrigazione con elementi prefabbricati (a destra).



Figura 56. Consorzio di bonifica di Paestum: inaugurazione dell'impianto di irrigazione con la presenza del ministro Antonio Segni (1951).

meta di delegazioni nazionali e internazionali inviate dal Ministero per osservare i progressi nel meridione in tema di bonifica integrale (Figure 57 e 58).

Nel dopoguerra Carlo Santini intervenne più volte sui temi della bonifica, dell'irrigazione e delle trasformazioni fondiari. Nel 1946, quale presidente del Comitato regionale campano dell'Associazione nazionale delle bonifiche, fu promotore del Convegno per le trasformazioni fondiari nel Mezzogiorno e nelle Isole che si tenne a Napoli dal 26 al 28 ottobre. Nel 1947 pubblicò la memoria *Bonifiche, Irrigazione, Miglioramenti fondiari*, nella quale, dopo aver tratteggiato la storia della bonifica meridionale, affrontò i problemi tecnico-economici della trasformazione fondiaria e quelli improrogabili delle sistemazioni dei bacini montani. Ribadì anche che alcuni insuccessi della bonifica nel Mezzogiorno furono spesso dovuti all'aver migliorato solo le reti idriche di scolo dei terreni, non tenendo in conto che, senza il sussidio dell'irrigazione, si erano aggiunte altre cau-



Figura 57. Consorzio di bonifica di Paestum, visite al Cantiere di prefabbricazione: al centro, il ministro Pietro Campilli.

se di aridità a quelle proprie del clima. «L'irrigazione non è legata soltanto alle possibilità di sviluppo dell'orticoltura intensiva e industriale e delle colture arboree specializzate, abbisognevole di acqua, ma è la base della trasformazione fondiaria in estesi comprensori, dove le disponibilità idriche esistono anche in quantitativi modesti»²².

Sulla necessità della sistemazione dei bacini montani il Santini intervenne in maniera sintetica e conclusiva: «si tratta di passare alle realizzazioni, ordinatamente e con mezzi adeguati, ma soprattutto continuativi nel tempo, coordinando tutte le attività per l'unico fine di giungere al più presto alla trasformazione

²² Santini C., *Bonifiche, irrigazioni, miglioramenti fondiari*, Atti del Convegno Mezzogiorno Impegno d'Onore della Democrazia Cristiana, Istituto Poligrafico Editoriale Meridionale, Napoli, 1947, pp. 43-60.



Figura 58. Consorzio di bonifica di Paestum, visite al Cantiere di prefabbricazione: delegazione di tecnici degli Stati Uniti d'America; a sinistra, il ministro Dayton (10 maggio 1952).

fondiarìa, che deve significare, innanzi tutto, modernizzazione dell'ordinamento e dei mezzi di produzione agricola». Egli inoltre sostenne che nel Mezzogiorno, ai fini della trasformazione fondiaria, i problemi fondamentali erano quelli dell'irrigazione per i quali ogni spesa e cura sarebbe stata feconda di utili risultati. Propose in particolare di creare: un Organismo di assistenza tecnica, che agisse in favore delle piccole e medie iniziative irrigue; centri di orientamento e dimostrativi per la sistemazione dei terreni con mezzi meccanici; centri di addestramento professionale per le maestranze addette all'irrigazione e alla sistemazione dei terreni; tutte proposte e direttive pienamente valide e che in parte furono attuate. Altre pubblicazioni di interesse del Santini sull'argomento furono: *La bonifica del Sarò* (1949); *La produttività in agricoltura con riguardo alla trasformazione dei terreni di bonifica ed i compiti dell'ingegneria agraria* (1953); *Bonifiche e riforma agraria in Calabria* (1953); *Il problema dell'irrigazione nei suoi aspetti attuali* (1954);



Figura 59. Riunione della Commissione internazionale di Genio Rurale del 26 settembre 1935; Carlo Santini è in fondo al tavolo sulla destra.

Possibilità di sviluppo dell'irrigazione con trasporto e dispensa dell'acqua a mezzo di condotte in pressione (1960).

Carlo Santini: fu membro fondatore della Commission Internationale du Génie Rural (CIGR) che ha operato fin dal 1930 con scopi di coordinamento e sviluppo di iniziative nel campo dell'Ingegneria agraria (Figura 59); fu tra i principali organizzatori del IV Convegno internazionale CIGR tenutosi in Italia nel 1951 con sede principale a Roma, ma che vide i partecipanti spostarsi da Milano a Napoli (sede della chiusura del Convegno) per osservare i cambiamenti in atto dell'agricoltura italiana nel primo dopoguerra (Figura 60); nel 1959 fondò l'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AIIA), come aderente alla CIGR, e ne divenne primo presidente; ricoprì la carica di presidente dell'Opera per la Valorizzazione della Sila (Figura 61); fu rappresentante italiano del Gruppo di Lavoro per la meccanizzazione agricola della Commissione Economica Europea (Figura



Figura 60. Partecipanti al IV Congresso Internazionale di Genio Rurale in visita agli scavi archeologici di Paestum (3 maggio 1951); seduto a sinistra, Carlo Santini.



Figura 61. Consiglio consultivo e tecnico dell'Opera per la Valorizzazione della Sila (febbraio 1953); al centro, Carlo Santini.



Figura 62. Ginevra, 4 settembre 1961: Gruppo di lavoro per la meccanizzazione agricola del Comitato dei problemi agricoli della Commissione Economica Europea; rappresentanti italiani: Luigi Lodigiani (a destra), Carlo Santini (a sinistra).

ra 62); fu preside della Facoltà di Agraria dell'Università di Napoli per il triennio 1952-1954 e dal 1961 al 1963. Carlo Santini venne a mancare improvvisamente il 25 novembre 1963 mentre si trovava a Milano, diretto a Parigi dove doveva rappresentare il Ministero dell'Agricoltura ad una riunione dell'O.C.D.E. per la preparazione della regolamentazione sulle modalità di prova delle macchine agricole, da lui fortemente voluta e perseguita²³.

²³ Aldo Ramadoro lo ricordò scrivendo sul Giornale di Agricoltura del 6 dicembre 1963: «[...] come Egli fosse non soltanto quel tecnico eminente che tutti ammirano e apprezzano, ma quel meridionale autentico e uomo di cuore che ha affrontato i problemi del suo Consorzio con alto senso di onestà e di passione ed ha legato il Suo nome ad una delle meglio riuscite bonifiche del Mezzogiorno. [...] al maestro della meccanica agraria e dell'ingegneria rurale largamente apprezzato anche in campo internazionale, si univa felicemente quel largo senso di umanità, quella profonda e intima onestà, quella passione spontanea che traspariva dalla sua stessa figura». Il Consiglio dei delegati del Consorzio di bonifica di Paestum, tra le altre manifestazioni, decise di onorare la sua memoria con una lapide posta nell'atrio della sede consortile e Giovanni Ansaldo, direttore del giornale il Mattino, lo volle personalmente ricordare ai suoi lettori come un "Medico della terra" (Postiglione L., Tremblay E., "L'insegnamento superiore di Agricoltura a Portici, 1872-1935", *Annali della Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II*, serie quinta vol. 1, La Buona Stampa, Ercolano, 2005, pp. 312-328). La cittadinanza di Capaccio (Salerno) gli dedicò una piazza in ricordo della realizzazione del nucleo dei principali servizi, fortemente voluto dal Santini e realizzato dal Consorzio di Paestum, attorno al quale si è poi sviluppata la cittadina di Capaccio Scalo.

Gli sviluppi dell'Idraulica agraria dopo la Seconda guerra mondiale

Durante la Seconda guerra mondiale, con il collocamento fuori ruolo di Eugenio Galli, assunse gli incarichi dei corsi di Idraulica agraria e di Topografia e costruzioni rurali Eduardo Cancellara che li mantenne fino al suo trasferimento, in qualità di professore di ruolo, presso la Facoltà di Agraria dell'Università di Sassari; successivamente questi incarichi furono tenuti da Guglielmo Torre e da Carlo Santini, fino all'anno accademico 1959-60. L'insegnamento di Idraulica agraria a partire dall'anno accademico 1960-61 fu tenuto da Roberto Carravetta, che lo svolse prima come incaricato della disciplina e poi, dal dicembre 1963, come professore di ruolo.

Le ricerche di Roberto Carravetta

Roberto Carravetta (Figura 63), nato a Napoli il 1926, si era laureato giovanissimo nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli dove aveva iniziato la carriera accademica, prima come assistente e poi come aiuto, presso la Cattedra di Idraulica sotto la guida di Andrea Russo Spena e di Michele Viparelli, mostrando una spiccata attitudine alla ricerca, sia sperimentale che speculativa. Prima della sua venuta a Portici si era affermato, tra l'altro, per i suoi studi sui moti dell'acqua nelle falde a "superficie libera" e in particolare sul moto vario indotto da oscillazioni determinate dall'alternarsi di svasi e invasi nei serbatoi di ritenuta, o dal passaggio di piene nei corsi d'acqua arginati, o da escursioni delle maree lungo i litorali. Alla luce dei risultati di numerose e mirate indagini analitiche e sperimentali era giunto alla distinzione tra oscillazioni di piccola e grande ampiezza nonché lente e rapide, e aveva fornito un'interessante interpretazione generale del fenomeno fornendo anche metodologie per tracciare la superficie libera delle falde con precisione più che sufficiente rispetto a quella normalmente richiesta per le applicazioni¹.

¹ Carravetta R., "Falde a superficie libera in moto vario, I. Oscillazioni sinusoidali lente e di piccola ampiezza", *L'Energia Elettrica*, n. 11, vol. XXXIV, 1957, pp. 1-14. Carravetta R., *Falde a superficie libera in moto vario*.



Figura 63. Roberto Carravetta tiene la relazione al Convegno Nazionale di Irrigazione a pioggia (Portici febbraio 1971). Da sinistra: Giulio Leone, Renato Rossini, Raffaele Barbieri, Roberto Carravetta.

A Portici Carravetta affrontò lo studio delle reti di drenaggio campestre, necessarie per contenere entro limiti prefissati il contenuto d'acqua degli strati del suolo interessati dagli apparati radicali delle piante. Sulla base della raccolta di un'ampia bibliografia sull'argomento venne affrontato prioritariamente lo studio dell'abbassamento nel tempo della superficie libera di una falda che per circostanze straordinarie aveva raggiunto valori eccessivi, con l'obiettivo di stabilire distanze e profondità di un sistema di drenaggio che evitasse condizioni prolungate di

Oscillazioni lente e di grande ampiezza – Oscillazioni rapide, Rapporto n. 110 dell'Istituto di idraulica e costruzioni idrauliche dell'Università di Napoli, Tipografia Guglielmo Genovese, Napoli, 1957, pp. 13. Carravetta R., *Variation périodiques d'une nappe sans écoulement moyen située sur une assise imperméable horizontale*, La Houille Blanche, 1960, pp. 45-53.

asfissia radicale e pertanto non compromettesse il raccolto. Per le difficoltà, insuperabili a quell'epoca, di procedere attraverso l'integrazione dell'equazioni che regolano i moti di filtrazione nelle falde freatiche, lo studio venne affrontato con indagini sperimentali utilizzando modelli fisici analogici alla Hele-Shaw², opportunamente modificati per consentire, attraverso misure di capacità elettrica, il rilievo dell'evoluzione nel tempo dei volumi d'acqua immagazzinati nella falda. I dati, raccolti in numerose prove mirate allo studio dell'esaurimento di falde freatiche emunte da un sistema di dreni paralleli, consentirono di valutare, in modo egregio, il grado di approssimazione di formule risolutive proposte in precedenza da diversi studiosi, di individuarne altre per valutazioni più precise delle portate emunte nel tempo da sistemi di drenaggio e di approntare abachi per facilitare la progettazione di questi sistemi³.

Successivamente furono sviluppati numerosi altri modelli fisici analogici per lo studio dei processi di filtrazione nelle formazioni porose naturali in condizioni di saturazione; per tener conto della "zona capillare" al di sopra della superficie libera della falda, fu introdotto un parametro di sintesi, valutabile attraverso una relazione che consentiva di tener conto della portata che defluiva nella "zona non satura"⁴. Con approcci che prevedevano anche l'impiego di vasche elettrolitiche e di filtri artificiali, Carravetta giunse anche a interessanti risultati di carattere generale per moti di filtrazione determinati da alimentazione localizzata, come quelli da solchi e da *infiltrometri* cilindrici, anche quando la "zona capillare" era dello stesso ordine di grandezza delle dimensioni trasversali del campo di moto⁵ (Figura 64).

Nei primi anni di permanenza a Portici Roberto Carravetta si prodigò con successo anche per la realizzazione di un moderno ed efficiente laboratorio at-

² I modelli alla Hele-Shaw erano costituiti da due lastre trasparenti parallele separate da una piccolissima intercapedine attraverso la quale si faceva defluire un liquido di opportuna viscosità, e si basavano sull'osservazione che le leggi che regolano moto del liquido in quelle condizioni erano identiche a quelle che regolano il moto dell'acqua nei mezzi porosi (retto dalla legge di Darcy). In questo modo, nel caso di moto bidimensionale, era possibile visualizzare i processi.

³ Carravetta R., *Sull'esaurimento di falde freatiche mediante drenaggio*, Pubblicazione dell'Istituto di Studi e Ricerche in materia di ingegneria agraria, Tipografia Guglielmo Genovese, Napoli, 1961, pp. 46. Carravetta R., *Efficienza di sistemi di drenaggio in relazione alla loro posizione nel campo filtrante*, Pubblicazione dell'Istituto di Studi e Ricerche in materia di ingegneria agraria, Tipografia Guglielmo Genovese, Napoli, 1963, pp. 18.

⁴ I modelli utilizzati consentirono lo studio: dell'emungimento da falde, di fenomeni di intrusione di acqua salmastra allo sbocco a mare di falde, di sistemi di drenaggio in diverse condizioni di alimentazione, di fenomeni di sorgente sospesa allo sbocco di filtri, di filtrazione da canali non rivestiti, ecc.

⁵ Carravetta R., "Movimento dell'acqua nel terreno saturo", *Quaderno de "La ricerca scientifica"*, n. 80, CNR, Roma, 1973, pp. 51-85.

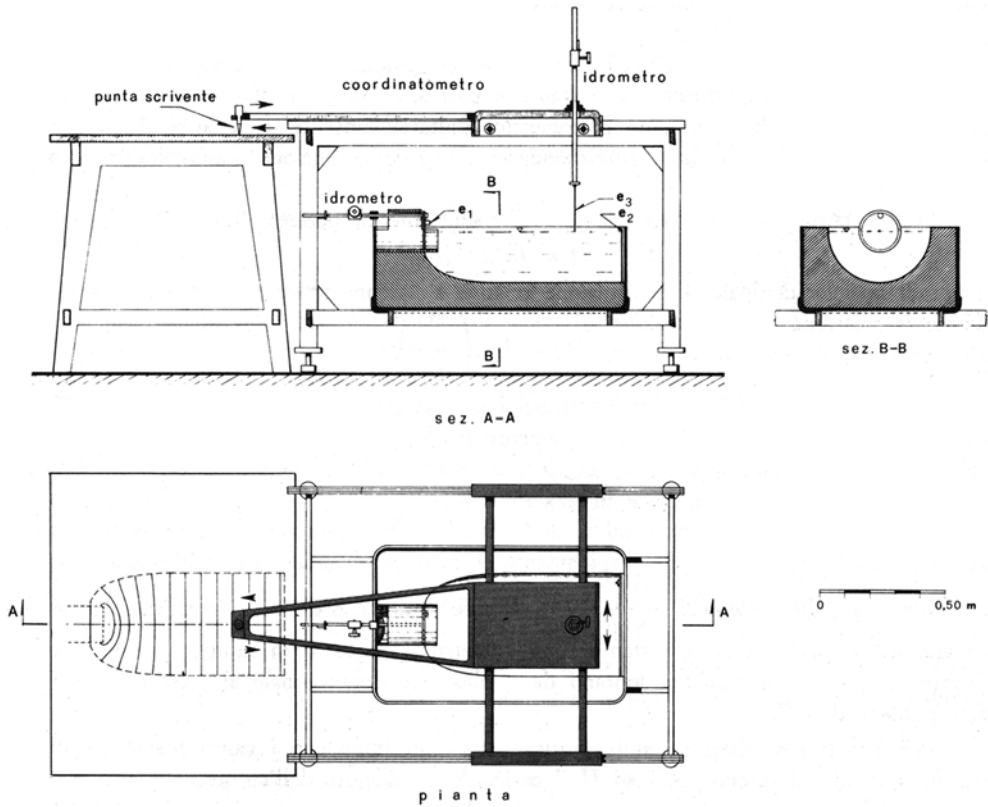


Figura 64. Vasca elettrolitica impiegata per lo studio dei processi di moto dell'acqua nel suolo determinati da *infiltrometri* cilindrici.

trezzato per ricerche su problematiche di idraulica agraria (Figura 65). In locali sotto il terrazzo dell'emiciclo a sinistra della Reggia, vennero installate attrezzature sperimentali utili per lo studio e la risoluzione dei problemi relativi alla progettazione e alla verifica delle principali opere idrauliche di interesse agrario. Vennero realizzati impianti fissi di circolazione che comprendevano una vasca di "accumulo" dell'acqua, canalizzazioni di ritorno sotto la pavimentazione, gruppi di pompaggio, una vasca di carico, una cassa d'aria, uno "stramazzo Thomson" per misure di portata. Fu così possibile eseguire prove su correnti idriche non solo a pelo libero, alimentate da un impianto a bassa pressione servito da elettropompe con portata complessiva fino a 200 l/s, ma anche in pressione, alimentate da un impianto ad alta pressione con portate fino a 50 l/s. L'impianto a bassa

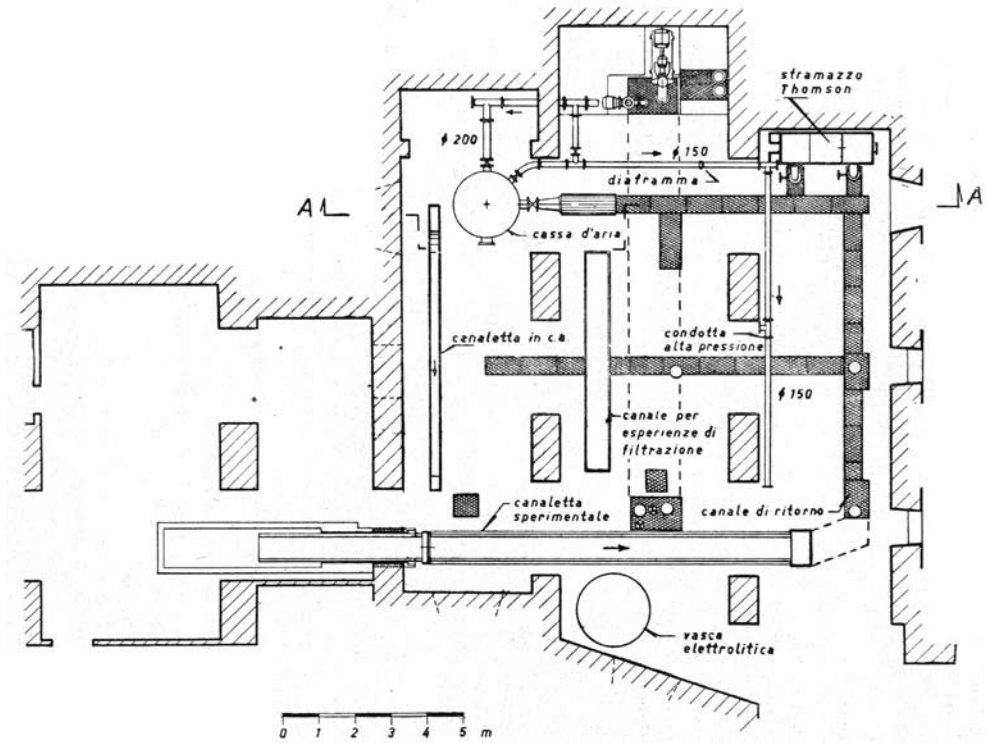


Figura 65. Pianta del Laboratorio di Idraulica agraria (1963).

pressione alimentava anche una canaletta sperimentale a pendenza variabile (dal +10% al -5%), lunga 15 m e con sezione 0,60 x 1,00 m, dotata di fondo in marmo e di pareti in vetro con sostegni in acciaio. Le apparecchiature alla Hele-Shaw, (Figura 66) le vasche elettrolitiche, i filtri in sabbia, per gli studi dei moti di filtrazione, furono riuniti successivamente in locali siti all'estremo dell'emiciclo a destra della Reggia, dove venne attrezzato anche un moderno Laboratorio di idrologia del suolo, dotandolo progressivamente con apparecchiature all'avanguardia nel settore, alcune delle quali progettate e realizzate dal personale dell'Istituto di Idraulica agraria.

Nel campo della bonifica idraulica i primi studi di Carravetta si svilupparono in un piccolo bacino (500 ettari), in sinistra del fiume Sele, servito da un im-

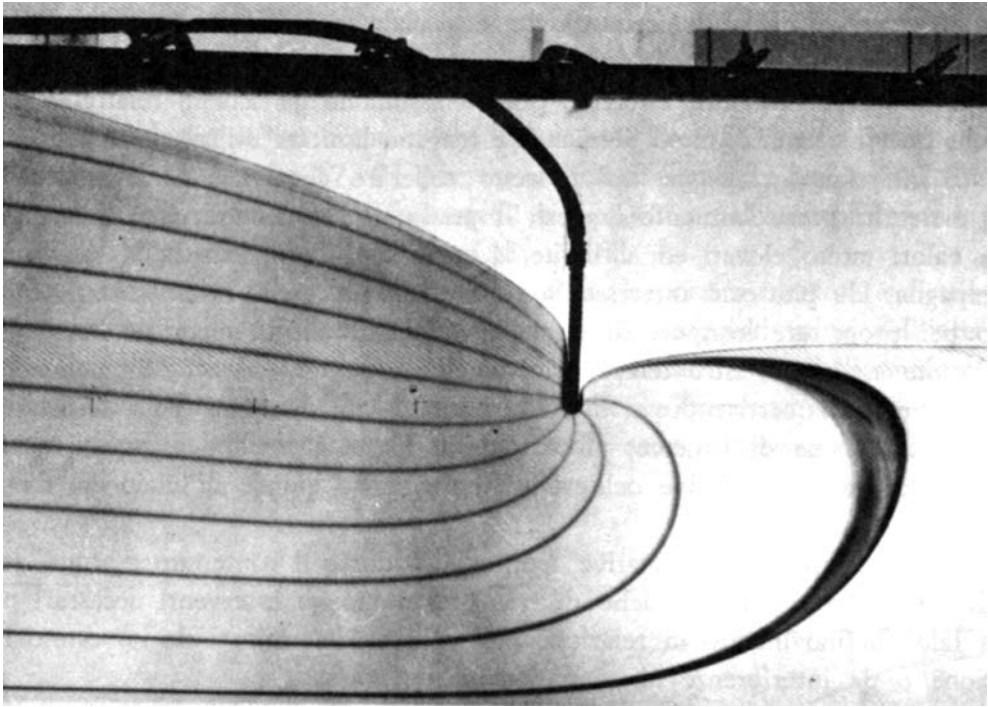


Figura 66. Apparecchiatura alla Hele-Shaw impiegata per lo studio dell'emungimento da una falda freatica in movimento.

pianto idrovoro caratterizzato da un notevole grado di elasticità e perciò adatto a fronteggiare anche eventi di piena eccezionali⁶. Nel campo dell'irrigazione inizialmente il Carravetta svolse un'indagine nel comprensorio del Consorzio di bonifica di Paestum, per verificare lo sviluppo dell'irrigazione in quel territorio oltre dieci anni dopo l'entrata in esercizio della rete di distribuzione irrigua con canalette prefabbricate⁷. Risultò che nei vari distretti veniva irrigata oltre il 60% della

⁶ Allo scopo di seguire l'evolversi, nel tempo e lungo la rete di canali, dei fenomeni di piena, il bacino fu attrezzato con cinque pluviografi e con quattro stazioni di misura dotate di idrometri registratori per seguire gli invasi nei collettori, e fornì interessanti risultati in merito alle condizioni di esercizio di bonifiche relative a piccoli comprensori dell'Italia Meridionale.

⁷ Prima della stagione irrigua vennero raccolti dati presso numerose aziende e studiato, realizzato e messo a punto un dispositivo mobile, che poteva essere rapidamente installato in qualsiasi punto della rete, per eseguire misure delle portate effettivamente consegnate alle aziende.

superficie topografica, ma che l'acqua effettivamente utilizzata era notevolmente minore di quella disponibile, a causa di perdite nella distribuzione e della larghezza con cui erano stati stimati i parametri irrigui alla base della progettazione. In successive indagini venne anche evidenziato che nelle reti di distribuzione a canaletta l'aumento della scabrezza idraulica, dovuta allo sviluppo di alghe sul fondo e sulle pareti, riduceva in modo significativo le capacità di trasporto delle reti, in alcuni casi con forti riduzioni delle portate alla consegna. Vennero poi studiati e proposti originali manufatti che, senza l'introduzione di meccanismi mobili inseriti nelle reti irrigue con canali, ne stabilizzavano i tiranti d'acqua, al variare delle portate entro limiti prefissati⁸.

Le reti irrigue in pressione

Quando, a partire dagli anni Settanta, la Cassa per il Mezzogiorno iniziò a finanziare solo impianti di distribuzione dell'acqua irrigua realizzati con condotte in pressione, a Portici le ricerche si orientarono più specificatamente sulle problematiche di questi impianti⁹ (Figure 67 e 68). Le prime esperienze relative a questi impianti evidenziarono che si trattava di sistemi complessi, per la notevole estensione della superficie da servire e per la rilevante entità delle portate e dei volumi d'acqua da distribuire, che richiedevano un particolare impegno non solo nella progettazione ma specialmente in fase di gestione. Si evidenziò anche

⁸ Carravetta R., *Apparecchiatura fissa per la stabilizzazione del carico in canali irrigui*, Stabilimenti Tipografico A.G. Della Torre, Portici, 1967, pp. 14.

⁹ Gli impianti collettivi di distribuzione con canalette erano regolabili agevolmente solo "da monte" e venivano gestiti stabilendo una turnazione tra gli utenti o ricorrendo ad un'organizzazione che prevedeva prenotazioni. Fu ben presto però rilevato che la complessità degli impianti irrigui, che dovevano distribuire l'acqua in comprensori di notevole estensione e con portate consistenti, determinava perdite d'acqua notevoli, specialmente quando si voleva consentire agli agricoltori un minimo di libertà nella scelta dei tempi di prelievo. Pertanto la crescente domanda di acqua, anche per usi civili e industriali, a fronte di una risorsa limitata, indusse la Cassa per il Mezzogiorno a rivedere la sua politica di investimenti in campo irriguo e a finanziare solo sistemi di distribuzione più efficienti con condotte in pressione che, per la loro caratteristica di essere agevolmente regolati "da valle", riducevano notevolmente le perdite d'acqua anche con una gestione "alla domanda" che concedeva agli utenti ampia libertà nei prelievi. In questo modo venne agevolata anche la diffusione dei nuovi metodi di irrigazione aziendale a pioggia e localizzata, che con le vecchie reti di dispensa potevano essere utilizzati solo ricorrendo a piccoli impianti di sollevamento presso le aziende che, per i modesti rendimenti, determinavano notevoli consumi energetici. Negli anni Ottanta la Cassa per il Mezzogiorno inaugurò una politica che finanziava anche la trasformazione degli impianti irrigui con distribuzione dell'acqua a pelo libero in quelli con distribuzione in pressione, che determinava un recupero di risorsa idrica attraverso una notevole riduzione degli sprechi d'acqua.



Figura 67. Rete di irrigazione in pressione del Comprensorio del Fortore (Foggia): posa delle condotte (a sinistra); ammodernamento della rete d'irrigazione nella piana di Paestum (a destra).



Figura 68. Sistemi di irrigazione aziendali: a goccia (a sinistra); sotto chioma con mini sprinkler (a destra).

che l'esperienza sugli acquedotti civili poteva solo parzialmente essere estesa a questi impianti. Inoltre, le variazioni durante il giorno delle portate, specialmente nei tratti periferici della rete, potevano essere rapide e comportare sovrappressioni che, se non previste all'atto della progettazione, determinavano sollecitazioni non compatibili con le caratteristiche delle tubazioni installate e conseguenti danneggiamenti.

Uno studio completo dei processi di moto vario nelle reti irrigue in pressione non era stato sufficientemente sviluppato fino a quell'epoca ed era reso arduo dalla complessità di queste reti e dalla difficoltà di tener conto di anomalie o di particolarità di esercizio non facilmente individuabili, che potevano avere un peso

determinante sull'induzione di dannose sovrappressioni di moto vario. Pertanto, presso l'Istituto di Idraulica agraria di Portici, furono intraprese indagini sperimentali su impianti irrigui in esercizio e parallelamente, attraverso l'ausilio di tecniche numeriche implementate su calcolatori di adeguate capacità che all'epoca iniziavano a diffondersi, furono sviluppati studi teorici al fine di procedere all'interpretazione e alla ricostruzione dei rilievi sperimentali, nonché alla valutazione dell'influenza, sui fenomeni di moto vario, di ciascuna grandezza in gioco¹⁰. Fin dalle prime osservazioni si evidenziò l'impossibilità di interpretare i risultati di alcune misure prescindendo dalla presenza di aria nelle condotte, sia come causa di riflessione delle perturbazioni sia come elemento determinante del moto vario per il deflusso attraverso valvole, apparecchiature di regolazione od ugelli. Individuati con queste indagini gli inconvenienti che si verificavano nell'esercizio di alcune reti di distribuzione in pressione, furono proposti criteri di adeguamento per le stesse, necessari per assicurare una loro gestione regolare ed efficace.

Il problema della progettazione e della verifica delle reti di irrigazione in pressione fu affrontato a Portici mettendo a punto efficienti e innovativi codici di calcolo che, con l'impiego di calcolatori numerici, consentivano di pervenire a soluzioni ottimali, riducendo notevolmente i lunghi tempi richiesti dai calcoli idraulici. Il problema della progettazione fu esteso anche ai casi in cui non sussistevano elementi per definire facilmente la localizzazione e l'entità degli interventi, sia pur nell'ambito di una prestabilita entità della risorsa idrica. In questi casi la delimitazione della superficie da irrigare veniva determinata, unitamente al dimensionamento della rete, secondo un assegnato schema di massima in base a considerazioni economiche estese al valore dell'acqua e agli incrementi di reddito derivanti dalla trasformazione¹¹. La verifica delle reti era sviluppata unitamente alla progettazione e ne costituiva uno degli aspetti importanti da utilizzare nella ricerca delle soluzioni che soddisfacessero, in modo il più possibile completo, ai requisiti di economicità, di sicurezza e di flessibilità; teneva conto di numerosi elementi, quali gli impianti, i dispositivi e le valvole installati nella rete, ed era estesa anche ai processi di moto vario indotti da manovre alle consegne dell'acqua, agli impianti e agli organi di controllo e sezionamento. Il codice di calcolo messo a

¹⁰ Santini A., "Rilievi di sovrappressioni di colpo d'ariete in impianti irrigui con sollevamento", *Annali della Facoltà di Scienze Agrarie dell'Università di Napoli*, serie IV, vol. VII, Portici, 1974, pp. 12. Santini A., *Processi di moto vario in impianti irrigui con sollevamento*, Pubblicazione dell'Istituto di Idraulica agraria dell'Università di Napoli, Officine Grafiche Napoletane Francesco Giannini & Figli, Napoli, 1974, pp. 48.

¹¹ Santini A., *La progettazione delle reti irrigue in pressione*, Atti del XI Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Genova, 1968, pp. 7.



Figura 69. Convegno sui *Problemi dei Grandi Compensori Irrigui* (1992); al centro Costantino Fassò e Alessandro Santini.

punto per la verifica delle reti in moto vario si rivelò particolarmente utile quando si dovettero valutare le sovrappressioni determinate dalle manovre di valvole di regolazione inserite nelle reti irrigue esistenti, per stabilire le rapidità di manovre che non determinassero danni alle condotte¹² (Figura 69).

Le prime esperienze di esercizio delle reti irrigue in pressione mostrarono anche che le tradizionali apparecchiature idrauliche in uso negli acquedotti erano troppo delicate e poco affidabili per un esercizio gravoso, con scarsa e a volte inesistente manutenzione, pertanto non erano in generale validamente utilizzabili nelle reti irrigue. Per superare la mancanza di riferimenti ufficiali in Italia e anche allo scopo di fornire indirizzi e orientamenti ai costruttori nazionali, i tecnici del Servizio bonifiche della Cassa del Mezzogiorno, avviarono una stretta ed

¹² Il problema dell'inserimento di valvole di regolazione negli impianti irrigui di notevole estensione era particolarmente delicato quando queste valvole vennero installate nei primi impianti realizzati in cui la classe di pressione delle tubazioni era stata fissata con riferimento a condizioni idrostatiche. Solo negli anni Ottanta il Ministero dei Lavori pubblici emanò, anche in conseguenza delle indagini svolte a Portici sulle reti di irrigazione, una normativa tecnica per le condotte che per la prima volta conteneva uno specifico riferimento ai fenomeni di moto vario. Santini A., *Impianti irrigui*, Atti del Congresso nazionale dell'Associazione Idrotecnica Italiana *Controllo dei grandi impianti idrici per un miglior utilizzo delle acque*, vol. 3°, Giardini Naxos (Messina), 1988, pp. 98-120.

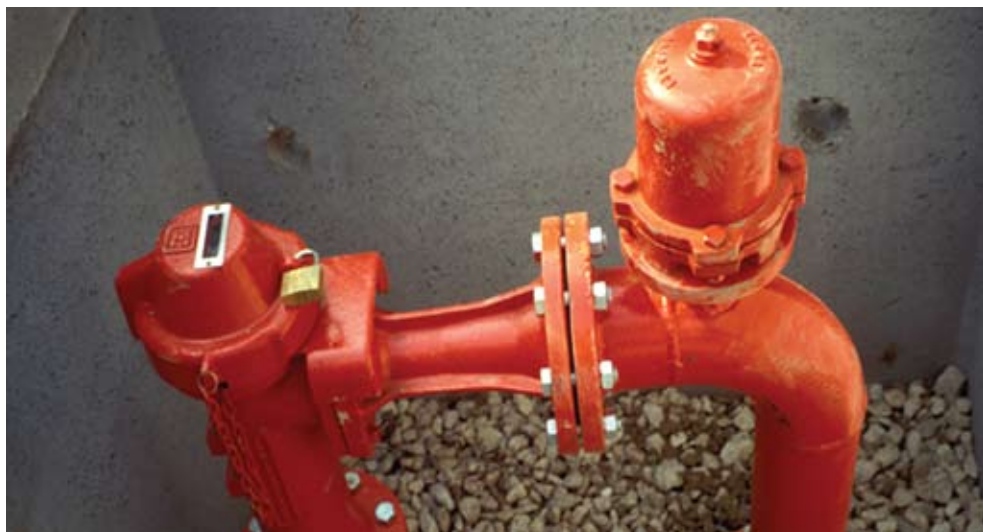


Figura 70. Reti irrigue di distribuzione dell'acqua in pressione: "gruppo di consegna" all'azienda con contatore volumetrico, limitatore di portata e sfiato.

efficace collaborazione con l'Istituto di Idraulica agraria di Portici e con ricercatori, progettisti e costruttori specializzati. Vennero discusse le prestazioni da assicurare con le apparecchiature, nelle diverse condizioni previste in progetto, e vennero progettati e realizzati i primi prototipi. Presso il laboratorio dell'Istituto di Idraulica agraria di Portici vennero poi studiate queste apparecchiature, furono messe a punto le relative modalità di prova e vennero specificati gli elementi essenziali da porre alla base dei disciplinari di fornitura, nonché le prove di accettazione cui sottoporre i prototipi offerti¹³ (Figura 70). Le apparecchiature idrau-

¹³ Durante le prove di accettazione fu data la possibilità ai costruttori di osservare il comportamento delle proprie apparecchiature, in modo che questi potessero trarre indicazioni per migliorie e adeguamenti. I dispositivi di intercettazione a comando manuale da inserire nei nodi di consegna aziendale furono studiati specificamente con riferimento all'elevato numero di manovre di apertura e chiusura che caratterizzava l'esercizio irriguo e alla qualità delle acque. La necessità, per un corretto esercizio, di evitare che alcuni utenti prelevassero in modo indiscriminato l'acqua, determinando disfunzioni nella rete collettiva, consigliò di inserire, ai nodi di consegna sia aziendali che dei reparti irrigui, dispositivi automatici che limitassero le portate prelevate entro moduli prefissati. Si affrontò anche il problema della misura dell'acqua consegnata e furono proposti contatori con eliche in resine sintetiche speciali, anticorrosive e resistenti alla corrosione, la cui forma, studiata accuratamente, garantiva una funzione autopulente che evitava intasamenti dovuti a corpi filiformi, sabbia e altre particelle solide comunemente presenti nelle acque di irrigazione. Per la consegna dell'acqua alle aziende le apparecchiature di limitazione delle portate e misura dei volumi d'acqua

liche così individuate, costruite su scala industriale, divennero di uso generalizzato nelle grandi reti irrigue in pressione e alcune loro caratteristiche, nonché le relative modalità di prova, sono state recepite recentemente anche dalle normative internazionali, a conferma della loro validità e affidabilità¹⁴.

L'idrologia del suolo

In quegli anni venne anche affrontato, in modo continuativo e approfondito, lo studio dei processi di evapotraspirazione delle colture¹⁵, inizialmente per ricercare i parametri da utilizzare nella progettazione degli impianti irrigui e per problematiche di pianificazione territoriale e gestione delle risorse idriche, successivamente con lo scopo di ricavare metodologie per un'impostazione corretta del bilancio idrologico del suolo, al fine di un'efficiente gestione dell'acqua in agricoltura. L'importanza di queste problematiche indirizzò la ricerca in Italia e all'estero su studi dettagliati dei processi di trasporto dell'acqua nel "sistema suolo-pianta-atmosfera" che consentirono di superare i vecchi schemi basati su parametri statici, e portarono ad un approccio dinamico nel quale il concetto di disponibilità dell'acqua per le piante dipendeva, complessivamente, dalle condizioni microclimatiche, dalle colture e dalla capacità di trasporto dell'acqua nel suolo verso gli apparati radicali e nelle piante¹⁶.

I primi studi sul moto dell'acqua nel suolo furono sviluppati negli Stati Uniti d'America a partire dagli inizi del Novecento con l'applicazione della meccanica del continuo e delle leggi della fisica e nacquero da esigenze legate al mondo agricolo quando si evidenziò che lo stato fisico del suolo, unitamente a quello nutrizionale, erano le condizioni più critiche per la produzione delle colture. Per analizzare il moto dell'acqua si introdusse il concetto di "potenziale capillare" e fu proposto di utilizzare la "conducibilità capillare" come proprietà intrinseca del suolo, fortemente dipendente dal contenuto d'acqua. Negli anni Trenta poi venne espressa

furono inglobate in un'unica apparecchiatura, comunemente denominata "gruppo di consegna" costituita da un corpo monoblocco compatto in ghisa che a valle del contatore presentava un limitatore di portata.

¹⁴ Santini A., *Apparecchiature idrauliche nelle reti irrigue in pressione*, Atti del Convegno *La misura nella gestione delle infrastrutture idrauliche*, CUEN, Napoli, 1992, pp. 133-166.

¹⁵ Il progresso degli studi sull'irrigazione in Italia venne incoraggiato e sviluppato dalla meritoria attività del Gruppo del CNR sull'irrigazione (Gru.S.I.), coordinato, inizialmente e per lungo tempo, con passione e competenza, da Luigi Cavazza, che opera attualmente con il coordinamento di Pasquale Steduto e Guido D'Urso.

¹⁶ Santini A., *Impianti irrigui*, cit. pp. 99-100.

formalmente l'equazione differenziale, nota come "equazione di Richards", alla base dello studio dei processi di moto dell'acqua nel suolo, che però ebbe limitate applicazioni per le difficoltà di risoluzione legate alla "forte non-linearità" delle relazioni che legano il contenuto d'acqua e la conducibilità al "potenziale capillare". Con la disponibilità dei primi calcolatori numerici di adeguata potenza, a Portici Alessandro Santini¹⁷, sotto la guida di Roberto Carravetta, condusse ricerche sulle possibilità di integrazione numerica dell'equazione differenziale di Richards per lo studio del moto unidimensionale dell'acqua nel suolo¹⁸. Furono provati diversi schemi di discretizzazione del campo di moto e diverse tecniche di linearizzazione e furono utilizzati algoritmi specificatamente messi a punto per raggiungere un prefissato livello di efficienza computazionale e per evitare "instabilità numeriche"¹⁹. Fu messo a punto un codice di calcolo che fu impiegato per lo studio di numerosi processi di infiltrazione e redistribuzione dell'acqua nel suolo, codice che fu oggetto nel tempo di miglioramenti, specialmente con riferimento ad indagini relative a suoli caratterizzati da nette stratificazioni, che sono spesso una regola e non un'eccezione in condizioni di campo²⁰.

La necessità di verificare la validità dell'equazione di Richards, ma più in generale la necessità di confrontare soluzioni teoriche dei processi di moto nel suolo con osservazioni sperimentali che ne valutassero la precisione e i campi di applicazione, determinò, a Portici negli anni Settanta, un affinamento dei metodi di indagine sperimentale nel settore e l'introduzione di nuove e sofisticate apparec-

¹⁷ Alessandro Santini, laureato nel 1963 in Ingegneria, sottosezione elettrotecnica, presso l'Università di Napoli, è stato nominato assistente alla Cattedra di Idraulica agraria nel dicembre 1963 e poi, a seguito di concorso, nel 1975 è stato chiamato a ricoprire, come docente di ruolo, l'insegnamento di Tecnica degli impianti irrigui. Dopo il trasferimento di Roberto Carravetta alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli (1982), ha ricoperto l'insegnamento di Idraulica agraria. È stato anche incaricato del corso di Matematica dal 1967 al 1977.

¹⁸ Santini A., *Processi di infiltrazione e redistribuzione dell'acqua in mezzi non saturi*, Pubblicazione dell'Istituto di Idraulica Agraria dell'Università di Napoli, Officine Grafiche Napoletane Francesco Giannini & Figli, Napoli, 1974, pp. 36.

¹⁹ I migliori risultati furono ottenuti utilizzando per l'integrazione dell'equazione di Richards uno schema iterativo alle differenze centrali completamente implicito, che fu adottato per la messa a punto di un codice di calcolo che dava ampie possibilità di scelta per fissare le condizioni iniziali e al contorno del campo di moto e consentiva di esplicitare con precisione le effettive relazioni tra contenuto d'acqua, conducibilità idraulica del suolo e potenziale.

²⁰ Carravetta R., Santini A., *Mathematical model for analysis of water infiltration and redistribution in soils*, Atti del Congresso I.A.H.R. *Hydrodynamic diffusion and dispersion in porous media*, Pavia, 1977, pp. 233-255. Santini A., *Rialimentazione naturale degli acquiferi*, Progetto finalizzato conservazione del suolo del CNR, Pubblicazione n. 72, San Donato milanese, 1981, pp. 51-89. Romano N., Brunone B., Santini A., "Numerical analysis of one-dimensional unsaturated flow in layered soils", *Adv. Water Res.*, 21, 1998, pp. 315-324.

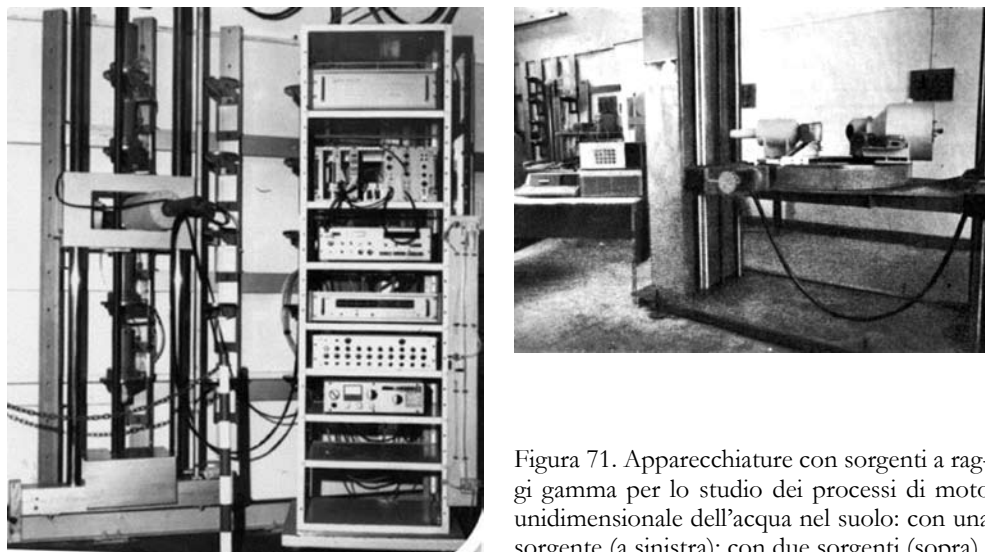


Figura 71. Apparecchiature con sorgenti a raggi gamma per lo studio dei processi di moto unidimensionale dell'acqua nel suolo: con una sorgente (a sinistra); con due sorgenti (sopra).

chiature (Figura 71). Presso il Laboratorio di idrologia del suolo furono progettate, realizzate e messe a punto apparecchiature complesse, uniche in Italia, che consentivano rilievi completi durante processi di moto unidimensionale in mezzi porosi “non saturi”²¹. Per le misure del contenuto d'acqua vennero utilizzate sorgenti di radiazioni gamma con collimatori e sonde di rilevazione che consentivano misure localizzate senza il ricorso a specifiche calibrazioni; per il rilievo del potenziale dell'acqua furono realizzati tensiometri miniaturizzati costituiti da capsule porose di particolari materiali e di ridotte dimensioni che, collegate direttamente a trasduttori di pressione di elevata sensibilità, erano caratterizzate da ridotti “tempi di risposta”, in modo da poter seguire processi di moto relativamente rapidi. L'acquisizione dei dati provenienti dalle apparecchiature di misura e la successiva elaborazione fu resa completamente automatica con l'impiego di un calcolatore che a tempi programmati provvedeva a posizionare, con precisione, le sonde a raggi gamma, ad effettuare le misure e a sviluppare le prime elaborazioni e i controlli sulla bontà dei dati raccolti prima di registrarli su suppor-

²¹ Santini A., *Rilievi del potenziale e del contenuto d'acqua in mezzo non saturo*, Pubblicazione dell'Istituto di Idraulica Agraria dell'Università di Napoli, Officine Grafiche Napoletane Francesco Giannini & Figli, Napoli, 1974, pp. 20. Santini A., *Dinamica dell'acqua nel terreno*, Atti del Convegno della 1° Sezione A.I.G.R., Padova, 1982, pp. 21-44.

to magnetico. A partire dagli anni Ottanta presso il Laboratorio di idrologia del suolo, per la misura del contenuto d'acqua furono messe a punto anche tecniche indirette, basate sulle proprietà dielettriche del suolo (rilevate a frequenze comprese tra 0,5 e 2 GHz), che superarono i rischi e le difficoltà derivanti dall'impiego di sostanze radioattive e risultarono efficaci per impieghi sia in laboratorio che in campo²².

I modelli dinamici basati sull'equazione di Richards ebbero numerose conferme sperimentali, ma il loro impiego a situazioni di campo inizialmente risultò limitato e non sempre soddisfacente, soprattutto per la scarsa e inadeguata qualità dei dati relativi alle caratteristiche idrauliche dei suoli, che, come si è detto, sintetizzavano i complessi legami tra il contenuto d'acqua e la conducibilità idraulica con il potenziale. I metodi per la determinazione di queste caratteristiche erano laboriosi, a volte poco precisi, e si avvertiva pertanto l'esigenza di introdurre nuove metodiche o di migliorare le tecniche già in uso. Presso il Laboratorio di idrologia del suolo di Portici inizialmente furono proposte metodologie che prevedevano più campioni non rimaneggiati contemporaneamente in prova utilizzando un'apparecchiatura, realizzata e messa a punto dal personale della struttura, completamente automatizzata, che forniva al termine della prova le caratteristiche idrauliche di tutti i campioni²³. Successivamente gli studi furono indirizzati verso tecniche meno onerose di "stima dei parametri" con le quali il volume di suolo da caratterizzare idraulicamente veniva sottoposto a specifici processi di moto che venivano monitorati durante le prove in modo da ricavare, con successive elaborazioni, i parametri che comparivano nelle relazioni analitiche con cui venivano espresse le caratteristiche idrauliche²⁴ (Figura 72).

Per esplorare le potenzialità di questi metodi e per sperimentarne altri proposti nella letteratura internazionale, presso l'Istituto di Irradiazione agraria di Portici vennero intraprese campagne di caratterizzazione idraulica di numerosi suoli italiani, con il contributo anche dei nuovi docenti che negli anni ricoprirono posti di ruolo: Guido Ciollaro, Vincenzo Comegna, Guido D'Urso, Nunzio Romano, Angelo

²² Santini A., e Coppola A., "Comportamento idrologico dei suoli irrigati con acque urbane", *L'Acqua*, 1982, pp. 75-85.

²³ Ciollaro G., Comegna V., *Definizione delle caratteristiche idrauliche del suolo*, Atti del 3° Congresso A.I.G.R., vol. 1, Catania, 1979, pp. 438-459.

²⁴ Santini A., Ciollaro G., *Assesment of soil hydraulic properties by parameter estimation method*, Atti del Convegno di Irradiazione e Costruzioni idrauliche, l'Aquila, 1988, pp. 341-358. Romano N., Santini A., "Determining soil hydraulic functions from evaporation experiments by a parameter estimation approach: experimental verifications and numerical studies", *Water Resour. Res.*, 35, 1999, pp. 3343-3359.

Sommella²⁵. I dati raccolti furono utilizzati per la costituzione di una banca dati delle caratteristiche idrauliche dei suoli italiani, in continuo accrescimento, e alcuni di questi confluirono in analoghe banche dati internazionali. Queste banche dati sono state poi utilizzate anche per mettere a punto procedure di stima delle proprietà idrauliche a partire da parametri fisici e chimici di più facile determinazione (le cosiddette “funzioni di pedo-trasferimento”, PTF) che però hanno fornito risposte soddisfacenti solo quando sono state impiegate con oculatezza in base alla scala di indagine, alla disponibilità di un adeguato numero di dati con i quali determinarle e al grado di accuratezza richiesto dalla specifica indagine. Nunzio Romano e Mario Palladino hanno dimostrato che informazioni topografiche aggiuntive (in particolare i valori locali della pendenza, esposizione e curvatura longitudinale del versante al quale appartenevano i suoli) consentivano di migliorare in modo significativo la stima delle proprietà idrauliche ottenute con tecniche PTF²⁶.

Quando però si iniziarono ad analizzare problemi idrologici a scala di apprezzamento, di versante e di bacino idrografico, fu evidenziato che in questi casi non erano completamente d’ausilio gli studi pedologici che, anche se consentivano di pervenire a dettagliate classificazioni e a cartografie utili per molte applicazioni, tuttavia erano basati su parametri poco correlati con le proprietà idrauliche dei suoli; nell’ambito di una medesima unità cartografica si verificavano infatti variazioni nello spazio delle caratteristiche idrauliche dei suoli che non potevano essere trascurate senza introdurre errori non accettabili nelle successive elaborazioni con modelli matematici. Con riferimento a zone omogenee della piana campana Nunzio Romano²⁷ ha mostrato che, in una stessa unità cartografica identificata da studi geo-pedologici, le proprietà idrauliche del suolo mostravano una variabilità con una “struttura spaziale” statistica che doveva essere considerata per analizzare in dettaglio la risposta del suolo (ad esempio in studi di agricoltura di precisione o di processi di inquinamento sotterraneo). Successive indagini svolte in campo (Figura 73) e in laboratorio su un gran numero di campioni non ri-

²⁵ A Portici: Guido Ciollaro è stato professore associato dal 1984 fino al 1990 quando fu chiamato presso la facoltà di Agraria dell’Università di Bari come professore ordinario; Vincenzo Comegna è stato professore associato dal 1984 fino al 1994 quando fu chiamato presso la facoltà di Agraria dell’Università di Potenza come professore ordinario; Guido D’Urso è stato professore associato dal 1998, e dal 2006 professore ordinario; Nunzio Romano è stato professore associato dal 1998 e dal 2002 professore ordinario; Angelo Sommella è stato professore associato dal 1991 e dal 2003 professore ordinario.

²⁶ Romano N., Palladino M., “Prediction of soil water retention using soil physical data and terrain attributes”, *Journal of Hydrology*, 265, 2002, pp. 56-75.

²⁷ Romano N., “Use of an inverse method and geostatistics to estimate soil hydraulic conductivity for spatial variability analysis”, *Geoderma*, 60, 1993, pp. 169-176.



Figura 72. Caratterizzazione idraulica dei suoli: apparecchiatura di laboratorio per determinazioni su campioni non rimaneggiati con metodi di “stima dei parametri”.



Figura 73. Caratterizzazione dei suoli: prova di campo per la valutazione della variabilità spaziale delle caratteristiche idrauliche.

maneggiati prelevati in versanti e in piccoli bacini hanno verificato la congruità di tecniche statistiche avanzate per la descrizione della variabilità dei parametri fisici e idraulici del suolo e che la variabilità residua evidenziata da questi metodi poteva essere spiegata dalla variabilità a “scale minori”²⁸. Inoltre è stata messa in luce l’importanza di definire un idoneo schema di campionamento in relazione all’ampiezza del territorio da caratterizzare e alle finalità degli studi²⁹. Una linea di ricerca più recente, sviluppata da Giovanni Battista Chirico (ricercatore a Portici), è stata dedicata all’implementazione di tecniche per “l’assimilazione” di mi-

²⁸ Santini A. et al., *Interpretation of the spatial variability of soil hydraulic properties using a land system analysis*, Proceedings of the International Symposium on *Modelling of transport processes in soils at various scales in time and space* (Eds. Feyen J. & Wiyono K.), Wageningen Press, Wageningen, Netherlands, 1999, pp. 491-500.

²⁹ Chirico G.B. et al., “Uncertainty in predicting soil hydraulic properties at the hillslope scale with indirect methods”, *Journal of Hydrology*, 334, 2007, pp. 405-422.

sure superficiali di contenuto d'acqua o di potenziale nell'equazione di Richards. Attraverso queste tecniche è stato possibile ottenere stime di elevata precisione e accuratezza dei profili di umidità e di potenziale, sulla base di sole misure occasionali negli orizzonti più superficiali del suolo (1-5 cm), quali quelle che si possono ottenere oggi con osservazioni satellitari³⁰.

Lo sviluppo di modelli matematici

La disponibilità di nuovi strumenti per una sempre più corretta determinazione delle proprietà idrauliche dei suoli e di tecniche di misura sempre più sofisticate per il monitoraggio dell'acqua nel suolo e nelle piante, hanno permesso un notevole approfondimento delle conoscenze sui processi di trasporto nel "sistema suolo-pianta atmosfera" (SPA). I principali risultati conseguiti hanno condotto ad un approccio "dinamico" in cui il campo era riguardato come un sistema interessato da diversi processi interdipendenti di natura complessa, che si sviluppavano sia nello spazio che nel tempo. A partire dagli anni Settanta presso l'Istituto di Idraulica agraria di Portici furono messi a punto diversi modelli matematici che consideravano l'insieme SPA come un sistema continuo in cui, per effetto delle variazioni del potenziale, l'acqua muoveva nel suolo, in parte si dirigeva verso le radici, attraversava i tessuti e il sistema vascolare delle piante, per giungere alle foglie dove evaporava e si diffondeva, attraverso gli stomi, nell'atmosfera³¹. Un'intensa attività interdisciplinare, condotta nell'ambito del Gruppo di Studio sull'Irrigazione del CNR (Gru.S.I.) presso l'azienda sperimentale "E. Pantanelli" dell'Università di Bari in Policoro (Matera), ha consentito la messa a punto e la taratura definitiva di un modello matematico (denominato POLICORO), mostrando la validità e l'affidabilità delle sue previsioni, anche in presenza di severe condizioni di stress idrici delle colture³². Successivamente il modello POLICORO è stato utilizzato per analisi e valutazioni sull'acqua nel suolo effettivamente disponibile per le col-

³⁰ Chirico G.B. et al., "Kalman filters for assimilation near-surface observation. Part. 1: Retrieving state profiles with linear and nonlinear numerical schemes", *Hydrology and Earth System Science*, 18, 2014, pp. 2503-2520.

³¹ Santini A., "Bilancio idrico del sistema suolo-pianta-atmosfera: l'impiego di un modello matematico di simulazione", *Rivista di Ingegneria Agraria*, 10, 1979, pp. 63-76. Santini A., *Dinamica dell'acqua nel terreno*, cit., pp. 1 e ss. Santini A., "Modelling water dynamics in the soil-plant-atmosphere system for irrigation problems", *Excerpta*, 6, 1992, pp. 133-166.

³² Santini A., Pitacco A. et al., "Modellizzazione del trasporto dell'acqua nel sistema Suolo-Pianta-Atmosfera", *Rivista di Agronomia*, 24, 1990, pp. 273-290.

ture e sulla riduzione dei flussi traspirativi provocati da stress idrici. L'impiego del modello ha consentito di stabilire come l'utilizzo di un unico parametro globale poteva fornire solo risultati limitati, a volta errati, sull'effettiva disponibilità dell'acqua per le colture, ma questa in realtà dipendeva da diversi fattori quali: le proprietà idrauliche dei suoli, le caratteristiche delle colture e la domanda evapotraspirativa dell'atmosfera; i consumi idrici delle colture potevano essere valutati correttamente solo con l'impiego di modelli dinamici del sistema SPA³³.

Negli ultimi venti anni sono stati sviluppati, da diversi autori, modelli matematici di simulazione sempre più completi ed efficienti, che, utilizzando le nuove tecniche di telerilevamento e GIS (Geographic Information System), hanno contribuito in modo decisivo alla risoluzione di complessi problemi di irrigazione, drenaggio e, più in generale, di gestione dell'acqua in agricoltura. A Portici Guido D'Urso, combinando informazioni derivanti dall'osservazione ciclica della superficie terrestre attraverso sensori trasportati da satelliti orbitanti con dati agrometeorologici acquisiti a terra da stazioni localizzate all'interno di Comprensori irrigui, ha ricavato mappe dell'evaporazione potenziale, dei coefficienti colturali e dell'evaporazione di riferimento (Figura 74). Queste mappe e l'impiego di un modello dinamico di bilancio dell'acqua nel sistema SPA hanno consentito di individuare nei Comprensori la distribuzione spaziale dei fabbisogni irrigui e dei conseguenti probabili prelievi d'acqua ai nodi di consegna della rete irrigua³⁴. Con l'utilizzo di dati ad alta definizione (1-2 m), provenienti da satelliti e sempre più agevolmente reperibili, è stato possibile realizzare anche applicazioni operative rivolte direttamente agli utenti finali degli impianti di irrigazione.

A Portici, nell'ambito del progetto DEMETER, finanziato dalla Comunità Europea, è stato messo a punto e validato, negli anni 2004-2005, uno strumento di "Information Technology" basato sull'integrazione tra dati satellitari e mezzi di comunicazione per l'assistenza all'irrigazione alle aziende. Un GIS, in cui convergevano immagini satellitari ad alta risoluzione opportunamente interpretate e dati meteorologici raccolti a terra, provvedeva a calcolare, con modelli dinamici del sistema SPA, i fabbisogni irrigui e a generare informazioni personalizzate da trasferire, attraverso Internet o attraverso SMS ed MMS, direttamente ai conduttori delle aziende un "consiglio irriguo" in tempo reale basato sull'effettivo sviluppo delle colture presenti (Figura 75).

³³ Romano N., Santini A., *Water retention and storage: field*. In: Dane J.H. and Topp G.C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods*, SSSA Book Series N. 5, Madison, WI, USA, 2002, pp. 721-738.

³⁴ D'Urso G., Menenti M., Santini A., "Regional application of one-dimensional water flow models for irrigation management", *Agricultural Water Management*, 40 (2-3), 1999, pp. 291-302.

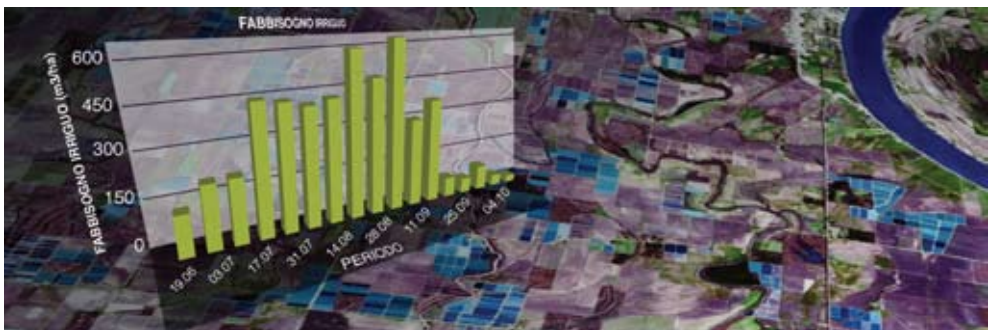
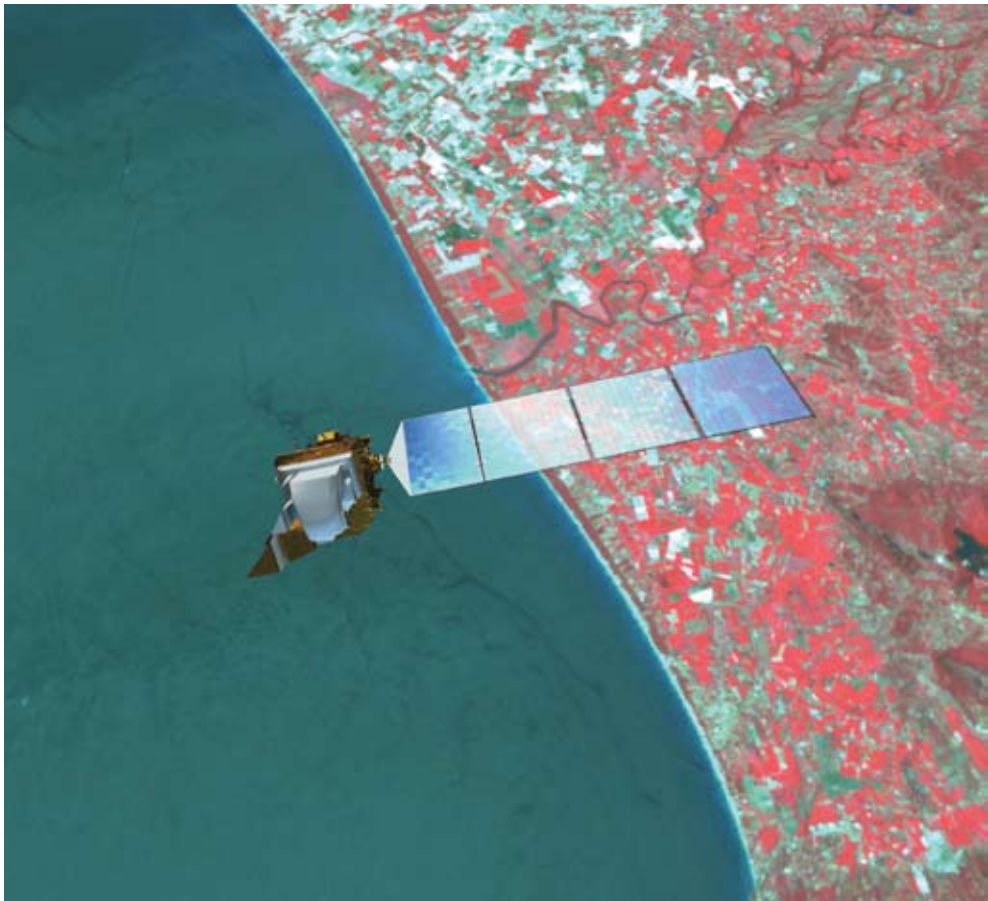


Figura 74. Satelliti sulla piana del fiume Sele (Salerno): per osservazioni cicliche delle aree irrigue con elevata risoluzione spaziale (in alto); per valutazione dei fabbisogni irrigui giornalieri in un distretto irriguo (sopra).



Figura 75. Misure radiometriche a terra per la calibrazione delle osservazioni da satellite.

Integrando poi tra loro strumenti, quali dispositivi di controllo delle reti irrigue e di telerilevamento nonché software di simulazione e di gestione di grandi archivi di dati, a Portici è stato messo a punto un Sistema di supporto alle decisioni che è stato validato nel comprensorio irriguo del Consorzio di Bonifica di Paestum (Salerno)³⁵. Dal confronto tra le indicazioni del Sistema

³⁵ Il comprensorio irriguo era visto come un insieme di aree elementari, connesse dalla rete di distribuzione irrigua, in ciascuna delle quali i processi di trasporto di acqua nel suolo erano descritti secondo una geometria unidimensionale; attraverso l'analisi di immagini multispettrali rilevate da satellite, venivano stimati i parametri necessari per valutare l'evaporazione dal suolo e la traspirazione. Queste informazioni erano poi utilizzate per il calcolo del bilancio idrologico con un modello dinamico che consentiva di individuare le unità ove si verificavano condizioni di stress idrico delle colture e i corrispondenti deficit d'acqua nel suolo. Si poteva così determinare, con cadenza giornaliera, la distribuzione spaziale dei fabbisogni irrigui e dei conseguenti valori dei probabili prelievi d'acqua nei nodi della rete.

e i volumi irrigui giornalieri misurati è stato evidenziato che è possibile conseguire risparmi del consumo stagionale d'acqua, fino al 25%, senza compromettere la produzione delle colture³⁶. Questi strumenti di indagine sono state impiegati per realizzare modalità alternative di gestione dell'acqua, al fine di ottimizzare l'impiego della risorsa in diverse situazioni, specialmente in condizioni di scarsità. I risultati di questi studi del Gruppo di Idraulica agraria di Portici, inoltre, hanno contribuito allo sviluppo di nuove tecnologie anche in realtà tipiche dei paesi in via di sviluppo, nella continua sfida per una migliore sicurezza alimentare.

Gli studi ambientali

Negli ultimi due decenni l'attenzione del Gruppo di Idraulica agraria di Portici si è spostata sempre più anche verso problematiche di carattere ambientale, quali la prevenzione dei rischi idrogeologici e di erosione del suolo, il trasporto di inquinanti nel suolo e nelle falde e la corretta difesa del suolo e della qualità delle acque, le cui analisi hanno richiesto necessariamente una trattazione esplicita della variabilità spaziale di diversi processi sia a scala di versante e di bacino sia nel suolo e nelle falde. Questa necessità nel campo dell'idrologia superficiale ha spinto ad abbandonare il tradizionale approccio concettuale di tipo globale e a orientarsi verso modelli di tipo "distribuito"³⁷.

Questi modelli sono stati utilizzati in diversi territori per simulare i deflussi superficiali e la dinamica spaziale e temporale del contenuto d'acqua nel suolo per periodi di più anni. Numerose misure locali hanno consentito per piccoli bacini di validare questi modelli e di identificare i processi che determinano la formazione dei deflussi nei diversi periodi dell'anno, con una chiara distinzio-

³⁶ D'Urso G., Santini A., *Agro-hydrological and hydraulic simulation models for supporting decision in irrigation management*. In: Maione U. et al. (Eds.), *New Trends in Water and Environmental Engineering for Safety and Life: Eco-compatible Solution for Aquatic Environmental*, CSDU, Milano, 2002.

³⁷ Questi modelli, in passato, nella letteratura erano indicati come "physically-based" perché strutturati secondo la fisica dei processi alla scala locale e rappresentavano in modo esplicito le eterogeneità del suolo e della vegetazione all'interno dei territori da analizzare e la variabilità, nel tempo e nello spazio, dei processi di trasporto. In questi modelli ciascun bacino idrografico era discretizzato in unità elementari, che ne rappresentavano parti fisiche ritenute omogenee rispetto alle proprietà fisiche che caratterizzavano i processi di trasporto. Alla scala della singola unità elementare, i processi erano simulati mutuando le leggi sviluppate nell'ambito dell'idrologia del suolo in combinazione con le leggi idrauliche della dinamica delle acque superficiali, cercando di rappresentare unicamente quei processi e quelle componenti dei processi che dominavano la risposta del sistema alla scala oggetto dello studio.

ne tra i periodi secchi, per i quali la dinamica dell'acqua lungo i versanti era trascurabile, e quelli umidi, per i quali la variabilità spaziale del contenuto d'acqua nel suolo era principalmente influenzata dalla topografia³⁸. Nel caso di bacini di maggiore dimensione, dopo aver validato il modello con riferimento ad un piccolo sottobacino, i risultati del modello sono stati confortati da dati di portata rilevati alle confluenze di sottobacini³⁹. La complessità delle problematiche, inoltre, ha reso necessario il ricorso a modellazioni sempre più sofisticate, coadiuvate da dati sperimentali adeguati, ricavati anche attraverso sensori remoti, allo sviluppo di tecniche efficaci per la stima della variabilità spaziale delle grandezze e delle proprietà di interesse alle diverse scale⁴⁰. Questi modelli sono stati anche utilizzati per lo studio delle condizioni idrologiche di innesco delle frane superficiali⁴¹ e in particolare per l'analisi dell'effetto della vegetazione sulla stabilità dei versanti⁴².

Gli studi sviluppati a Portici sul trasporto nel suolo e negli acquiferi hanno consentito anche una descrizione più accurata e approfondita dei processi di accumulo di sali e di elementi nocivi nel suolo e dei fenomeni di inquinamento delle falde, spesso utilizzate come risorsa di acqua potabile e irrigua. Con riferimento all'impiego irriguo di acque reflue depurate (Figura 76), un tempo considerate marginali ma che specialmente nei paesi del mediterraneo si è proposto di utilizzare in situazioni di scarsità di questa risorsa, è stato evidenziato che non era sufficiente verificare la loro composizione chimica e microbiologica ai fini della valutazione degli effetti negativi sui suoli e sulle colture; ma le caratteristiche idrauliche dei suoli, i metodi irrigui utilizzati e le condizioni microclimatiche dovevano essere attentamente considerati per evitare situazioni di notevole inquinamento e di pericolosità. Inoltre la presenza nei suoli di strati con proprietà idrauliche molto diverse tra loro induceva, alle interfacce, dispersioni del fron-

³⁸ Chirico G.B. et al., "A downward approach to identifying the structure and the parameters of process-based model for a small experimental catchment", *Hydrological Processes*, 17, 2003, pp. 2239-2258. Chirico G.B. et al., "On the computation of the quasi-dynamic wetness index with multiple-flow-direction algorithms", *Water Resour. Res.*, 39, art. n. 1115.

³⁹ Chirico G.B. et al., *Sensitivity of simulated catchment response to the spatial resolution of rainfall*, MODSIM 2001, ISBN 0 86740 525 2, 2001, pp. 377-382.

⁴⁰ Chirico G.B. et al., *Functional evaluation of PTF prediction uncertainty: An application at hillslope scale*, 155, 2010, pp. 193-202.

⁴¹ Chirico G.B. et al., *Shallow landslide hazard mapping based on a quasi-dynamic wetness index*, MODSIM 2001, ISBN 0 86740 525 2, 2001, pp. 931-936.

⁴² Chirico G.B. et al., *Coupling root reinforcement and subsurface flow modeling in shallow landslides triggering assessment*. In: *Landslide Science and Practice: Risk Assessment, Management and Mitigation*, Margottini C., Canuti P., Sassa K. (Eds.), vol. 6, ISBN 978-3-642-31318-9, 2013, pp. 761-766.

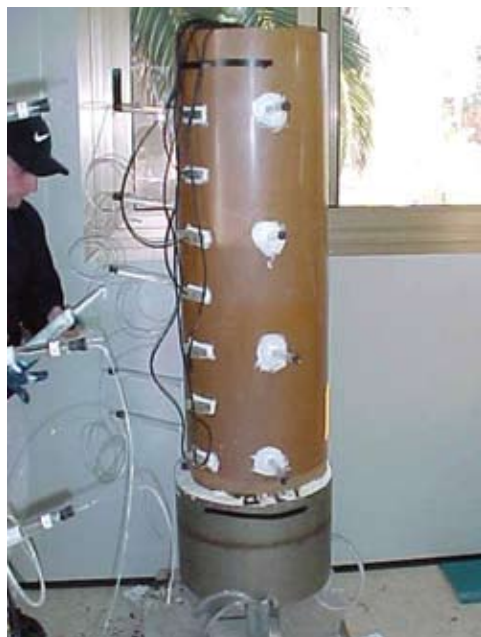


Figura 76. Studio su suoli della provincia di Cagliari da irrigare con acque reflue; prova in laboratorio su un profilo di suolo prelevato con tecniche non distruttive.

te dell'acqua e dei soluti che influenzavano i processi di trasporto lungo il profilo verso le falde⁴³.

I primi tentativi, però, di estendere ad ampie formazioni naturali i modelli utilizzati per campioni di suolo si dimostrarono totalmente inadeguati a descrivere correttamente l'evoluzione nello spazio e nel tempo di inquinanti e di soluti rilasciati sulla superficie del suolo dalle attività umane che, a seguito di precipitazioni e di irrigazioni, raggiungevano le falde idriche (Figura 77). Fu, pertanto, evidenziato che il diverso comportamento a scale di osservazioni maggiori era da attribuirsi all'eterogeneità delle formazioni naturali, che induceva un fenomeno di "distorsione", che conferiva al processo di trasporto caratteristiche diverse da quelle osservate in laboratorio. Pertanto, le ricerche sviluppate a Portici da Gerardo Severino (professore di ruolo dal 2008) hanno riguardato lo sviluppo di modelli matematici che superavano le incertezze legate all'incompleta conoscen-

⁴³ Santini A., Coppola A., "Comportamento idrologico dei suoli irrigati con acque reflue", *L'Acqua*, 2004, pp. 75-85. Coppola A. et al., "Methodological approach for evaluating the response of soil hydrological behavior to irrigation with treated municipal wastewater", *Journal of Hydrology*, 2005, pp. 114-134.



Figura 77. Prove di campo per lo studio dei processi di trasporto di soluti nel suolo.

za delle leggi di variazione nello spazio delle proprietà idrauliche delle formazioni naturali, attraverso un approccio stocastico che considerava tali proprietà come variabili aleatorie. L'attività svolta in questa direzione ha consentito di proporre metodi per il calcolo delle proprietà idrauliche "effettive" dei suoli, consentendo di studiare i processi di trasporto ben oltre il campo di validità delle "teorie lineari". In particolare è stato possibile analizzare alcuni comportamenti riguardanti la dinamica dei soluti, come ad esempio i tempi di permanenza, oltremodo lunghi nei primi strati del suolo, di sostanze chimicamente inerti, che non trovavano adeguate interpretazioni nell'ambito delle teorie classiche⁴⁴. Le metodologie con approccio "stocastico" hanno consentito anche di descrivere, in ottimo accordo con misure eseguite in campo, la variabilità intrinseca delle caratteristiche

⁴⁴ Severino G. et al., "Determining the soil hydraulic conductivity by means of a field scale internal drainage", *Journal of Hydrology*, 273, 2003, pp. 234-248. Severino G., Indelman P., "Analytical solutions for reactive solute transport under an infiltration-redistribution cycle", *J. Contam. Hydrology*, 70, 2004, pp. 89-115. Severino G. et al., "Unsaturated transport with linear Kinetic sorption under unsteady vertical flow", *Transport in Porous Media*, 63, 147-174, 2006. Severino G. et al., *Modelling water flow and transport in heterogeneous unsaturated porous media*, In: *Advances in Modelling*, Pardalos P.M., Papajorgji D.J. (Eds.), 2007, pp. 361-383.

idrauliche⁴⁵, di effettuare stime efficienti del bilancio degli agro-farmaci presenti nei suoli e di identificare interventi irrigui ottimali per massimizzare le produzioni agrarie, nel rispetto della salvaguardia delle risorse idriche naturali (suolo, falde e corsi d'acqua superficiali).

Altri studi hanno riguardato processi di trasporto che coinvolgevano la presenza di sostanze (tipicamente di natura organica) non solubili e dotate di un forte grado di mobilità, genericamente e impropriamente definite colloidali, che svolgono un ruolo di primaria importanza nella diffusione nel suolo e nelle falde di sostanze nocive che spesso vengono immobilizzate sulla loro superficie. Lo studio è stato sviluppato attraverso la messa a punto di un modello matematico che considerava la presenza di particelle colloidali e la natura aleatoria delle proprietà idrauliche ed è stato applicato al caso di radionuclidi utilizzando dati sperimentali reperiti presso il SKAB (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co). I risultati dell'indagine hanno evidenziato come un processo di trasporto orientato verso le particelle colloidali comportasse conseguenze drammatiche in quanto, in questo caso, le sostanze radioattive coprivano distanze di gran lunga superiori a quelle previste da modelli standard⁴⁶.

Sviluppi più recenti delle ricerche a Portici hanno consentito di approntare un modello matematico che risolve campi di moto "a simmetria assiale" che si sviluppano in formazioni sotterranee eterogenee⁴⁷. L'applicazione del modello ai test di pompaggio, che rappresentano un classico metodo di indagine negli acquiferi, ha consentito di mettere a punto una metodologia che attraverso la misura degli abbassamenti dei livelli dell'acqua in pozzi di guardia, ubicati nelle vicinanze del pozzo di estrazione, permette di stimare i valori medi delle caratteristiche idrauliche della formazione porosa unitamente ad indicatori della variabilità delle stesse. Questi studi, inoltre, hanno consentito approfondimenti sui processi di propagazione in acquiferi di soluti, quando la "forzante idraulica" è rappresentata da un pozzo, e hanno permesso di spiegare risultati sperimentali di un'intensa campagna di misure di recente sviluppata su un ammasso eterogeneo artificialmente ricostituito in laboratorio⁴⁸.

⁴⁵ Severino et al., *Determining the soil hydraulic conductivity by means of field scale internal drainage*, cit., pp. 234-248.

⁴⁶ Severino G. et al., "Spatial Moments for Colloid-Enhanced Radionuclide Transport in Heterogeneous Aquifers", *Advances in Water Resources*, 30, 2007, pp. 101-112.

⁴⁷ Severino G., Santini A., Sommella A., "Macrodispersion by Diverging Radial Flow in Randomly Heterogeneous Porous Media", *Journal of Contaminant Hydrology*, 123, 2011, pp. 40-49.

⁴⁸ Severino G. et al., "Travel Time Approach to Kinetically Sorbing Solute by Diverging Radial Flow through Heterogeneous Porous Formations", *Water Resour. Res.*, 48, 2012, W12527.

L'evoluzione recente della Meccanica agraria, della Topografia e delle Costruzioni rurali

Dopo l'improvvisa scomparsa di Carlo Santini (1963) è stato chiamato, per trasferimento dall'Università di Bari, a ricoprire la Cattedra di Meccanica agraria Giovanni Candura (Figura 78), già docente a Portici nell'anteguerra, che negli ultimi anni di vita si è dedicato con giovanile energia e competenza al potenziamento delle strutture didattiche e di ricerca e ha organizzato a Portici il 1° Congresso dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AI-IA). Dopo la sua scomparsa è stato chiamato a ricoprire la Cattedra di Meccanica agraria (1967) Guido Tinè, di scuola napoletana ma all'epoca ordinario presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Cagliari. Guido Tinè, coadiuvato da Ferdinando Romano e Lucio Barone (che divennero successivamente professore ordinario e associato rispettivamente), ha sviluppato a Portici ricerche su tematiche tradizionali dell'area di meccanica agraria e in particolare sulla meccanizzazione delle coltivazioni ortive di pieno campo (patata e pomodoro)¹. Di sensibile importanza sono stati anche gli studi sulle interazioni tra le ruote motrici delle trattrici e terreno² (Figura 79) e sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei suoli con la messa a punto di un particolare "penetrometro"³. Successivamente Lucio Barone, coadiuvato da Salvatore Faugno, hanno intrapreso ricerche nel settore dell'acquacoltura, in particolare nel settore degli allevamenti ittici in mare aperto, realizzando una serie di prototipi di gabbie sommergibili (Figura 80) e di attrezzature per la distribuzione del mangime. Di particolare rilievo è stata la realizzazione di un im-

¹ Tinè G., "Considerazioni sui principali dispositivi meccanici per selezionatrici fotocromatiche di pomodoro", *Rivista di Ingegneria Agraria*, 1983, pp. 89-99. Romano F., Barone L., *Primi risultati della meccanizzazione integrale della coltura della patata nella provincia di Caserta*. Atti della XVI Giornata della Meccanica Agraria, Bari, 1971, pp. 345-368.

² Barone L., *Wheel traffic effect on soil compaction*, 4th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. 1990, Andana, Turchia, pp. 159-165

³ Barone L., Faugno S., "Penetration Tests for Measurement of Soil Strength: Assessment of the Contribution of Shaft Friction", *J. Agricultural Engineering Research*, 64, 1996, pp. 103-108.



Figura 78. Fiera di Verona (1962): (da destra) Giovanni Candura, Carlo Santini e Corrado Ricci.



Figura 79. Attrezzatura di laboratorio per lo studio delle interazioni tra le ruote motrici delle trattrici e il terreno, in condizioni diverse di carico e di slittamento.



Figura 80. Studio sugli allevamenti ittici in mare aperto: varo di un prototipo di gabbia sommergibile progettata e realizzata a Portici dall'Istituto di Meccanica agraria.

pianto pilota per sperimentazioni su nuove specie ittiche da allevare, tra cui il rombo chiodato⁴.

Negli anni recenti, dopo la messa in quiescenza dei professori citati in precedenza, le ricerche in quest'area sono state sostenute dai ricercatori Andrea Formato, Salvatore Faugno e Fabrizio Sarghini che hanno rinnovato e integrato le strumentazioni e i software in dotazione alle strutture, in particolare con acquisizioni di apparecchiature per la caratterizzazione delle biomasse, per l'analisi di cantieri di lavoro e di software di ultima generazione in ambito GIS. Le tematiche sviluppate e in corso sono principalmente legate a progetti di ricerca integrati in collaborazione con altri gruppi, principalmente di agronomia, di tecnologie alimentari e di economia, operanti nell'Università Federico II e in altre sedi.

⁴ Barone L., Faugno S., Martello A., "Progetto e costruzione di un prototipo di gabbia sommergibile di 1200 m³ per maricoltura off-shore", *Rivista Ingegneria Agraria*, 1999, pp. 239-245.

Sono stati affrontati temi riguardanti la modellizzazione di nuove forme per gli aratri a versoio, al fine di ridurre lo sforzo di trazione⁵; la produzione di energia dalle biomasse prodotte anche da suoli contaminati⁶; le tecniche di gestione dei reflui zootecnici, in collaborazione con la Regione Campania⁷; per la sicurezza delle trattrici, è stato proposto un software che ha consentito di individuare gli incidenti di ribaltamento e di impatto con chiamata automatica dei soccorsi e che attualmente è utilizzato dalla Regione Campania⁸.

Sono state anche sviluppate tematiche di attualità nel campo dell'impiantistica per la trasformazione dei prodotti agro-alimentari, in particolare è stata studiata la dinamica del trasferimento termico con getti, usato nel settore della surgelazione degli alimenti⁹; sono state analizzate le caratteristiche dell'estrusione per la produzione della pasta, evidenziandone le problematiche di miscelazione presenti negli impianti industriali¹⁰; sono state ricercate possibilità di recupero dei prodotti di scarto in agricoltura e della loro utilizzazione per la produzione di film che presentano allo stesso tempo caratteristiche di protezione degli alimenti e di commestibilità¹¹; attraverso tecniche avanzate di fluidodinamica computazionale, sono state proposte metodologie di ottimizzazione di impianti di sterilizzazione in asettico per prodotti alimentari¹².

Il settore delle costruzioni rurali nel secondo dopoguerra ha vissuto a Portici una storia articolata che rifletteva le vicissitudini nazionali. Per molti anni l'insegnamento di Topografia e costruzioni rurali è stato ricoperto per incarico da docenti delle Facoltà di Agraria e di Ingegneria dell'Università Federico II; solo

⁵ Formato A., Faugno S., Paolillo G., "Numerical simulation of soil-plough mouldboard interaction", *Bio-systems Engineering*, 2005, pp. 309-316.

⁶ Okello C., Pindozi S., Faugno S., Boccia L., "Development of bioenergy technologies in Uganda", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2013, pp. 55-63.

⁷ Infascelli R., Faugno S., Pindozi S., Pelorosso R., Boccia L., "The environmental impact of buffalo manure in areas specialized in mozzarella production, southern Italy", *Geospatial Health*, 2010, pp. 131-137.

⁸ Sarghini F., D'Urso G., *An Early Warning Device for Identification of Tractor Accident, Rapid Alter and Assistance*, Atti della SHWA2010 International Conference on work Safety and Risk Prevention in Agro-food and Forest Systems, 2010, pp. 494-500.

⁹ Sarghini F., Ruocco G., "Enhancement and reversal heat transfer by competing modes in jet impingement", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 1711-1718, 2004.

¹⁰ Sarghini F. et al., "Experimental analysis of mass transport and mixing in a single screw extruder for semolina dough", *Journal of Food Engineering*, 68, 2005, pp. 497-503.

¹¹ Sarghini F., Veneruso A., Masi P., "Scale-up analysis and critical issues of an experimental pilot plant for edible film production using agricultural waste processing", *Journal of Agricultural Engineering*, 43, 2012.

¹² Sarghini F., Silano A., Masi P., "Optimal shape design of bypass holding tubes configuration in aseptic processing", *Procedia Food Science*, 1, 2011, pp. 671-677.

dopo il 1973 questo insegnamento è stato tenuto, come incaricato stabilizzato, da Mario Lo Cascio, docente di grande valore e con una solida preparazione di base, proveniente da quest'ultima Facoltà. Con la prematura scomparsa del Lo Cascio, l'insegnamento è stato ricoperto, ancora per incarico, da Alessandro Bianchi dell'Ateneo barese, fino alla nomina, come professore associato di Topografia e costruzioni rurali, di Ennio Del Vasto (dal 1985) che si è dedicato con passione all'insegnamento della disciplina ma che è stato anche attento alle tematiche tradizionali del settore. Con la venuta a Portici di Emma Buondonno, vincitrice di un concorso per ricercatore, le tematiche di studio sono state estese a ricerche di pianificazione e gestione del territorio che hanno trovato attenzione presso la Facoltà di Architettura dove la stessa Buondonno è stata chiamata a ricoprire un posto di professore associato.

Dal 2005 opera presso la Facoltà di Portici Lorenzo Boccia, chiamato per trasferimento dall'Università della Tuscia dove ricopriva un posto di professore associato, al quale è stata di recente affiancata, come ricercatrice, Stefania Pindozi. Lorenzo Boccia ha rapidamente aggiornato e potenziato le attrezzature per la ricerca e l'insegnamento con nuove strumentazioni per il rilevamento, tra le quali strumentazioni per la fotogrammetria e per il trattamento di immagini telerilevate, due piccoli droni, un GPS differenziale, una stazione "Totale Geodimeter", ma anche con software di ultima generazione in ambito di fotogrammetria e di telerilevamento, soprattutto per analisi *object oriented*. Ha anche costituito con la Pindozi un gruppo di ricerca (Landscape and rural planning research unit; www.larp.unina.it), del quale fanno parte numerosi assegnisti, dottorandi di ricerca e borsisti, che è impegnato in importanti progetti (Pon Enerbiochem, Life Encoremmed, Pon Biopolis). Le tematiche di ricerca sviluppate sono legate principalmente: all'inquinamento da fonti diffuse¹³; alla pianificazione e gestione del territorio¹⁴; alla produzione delle biomasse¹⁵; al rilevamento e alla rappresentazione del territorio¹⁶.

¹³ Pindozi S., Faugno S., Okello C., Boccia L., "Measurement and Prediction of Buffalo Manure Evaporation in the Farmyard to improve Farm Management", *Biosystems Engineering*, 2013, pp. 117-124. Leone A., Ripa M.N., Boccia L., Lo Porto A., "Phosphorus export from agricultural land: a simply approach", *Biosystems Engineering*, 2008, pp. 270-280.

¹⁴ Infascelli R., Pelorosso R., Boccia L., "Spatial assessment of animal manure spreading and groundwater nitrate pollution", *Geospatial Health*, 2009, pp. 27-38.

¹⁵ Okello C., Pindozi S., Faugno S., Boccia L., "Appraising Bioenergy Alternatives in Uganda Using Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT)-Analytical Hierarchy Process (AHP) and a Desirability Functions Approach", *Energies*, 2014, pp. 1171-1192.

¹⁶ Infascelli R., Faugno S., Pindozi S., Boccia L., Merot P., "Testing different topographic indexes to predict wetlands distribution", *Procedia Environmental Sciences*, 2013, p. 733-746.

Finito di stampare nel mese di giugno 2015 per conto di Doppiavoce
presso Officine Grafiche Francesco Giannini & Figli S.p.A. – Napoli