

Sistema agroalimentare: definizione, linee evolutive e specificità dell'offerta agricola

1	Introduzione	1
2	Specificità dei processi produttivi in agricoltura e dell'offerta.....	5
2.1	Specificità dei processi produttivi: natura biologica	5
2.2	Offerta di prodotti agricoli: rigidità e instabilità	9
3	Sviluppo agricolo alimentare: breve evoluzione storica	10
3.1	Il peso relativo dell'agricoltura oggi	11
3.2	Perché si verifica il declino relativo dell'agricoltura?	13
4	Modernizzazione dell'agricoltura: La Rivoluzione verde.....	15
4.1	Le innovazioni.....	16
4.2	I problemi	16
5	Biotechnologia moderna: Organismi Geneticamente Modificati.....	18
6	L'agricoltura di precisione	20
	Abstract.....	20
	Introduzione.....	20
	Le tecnologie disponibili per l'agricoltura di precisione.....	22
	Settori di applicazione per le colture erbacee di pieno campo	25
	Considerazioni conclusive.....	29
	Riferimenti bibliografici	29

1 INTRODUZIONE

Il **Sistema AgroAlimentare** (SAA) è rappresentato dall'insieme delle attività che consentono di mettere a disposizione del consumatore i beni destinati alla sua alimentazione. E' composto da: le industrie di mezzi tecnici (input) per l'agricoltura, il settore agricolo, l'industria alimentare, il settore distributivo, la ristorazione, il consumo finale.

L'agricoltura produce anche input per settori diversi dall'alimentare (quali tessile, pelletteria, etc.). Comprendendo anche tutti questi altri settori si parla di **Sistema agroindustriale**

¹ Il paragrafo 2 è tratto, con alcune modifiche, dal testo di A. Marescotti – Agricoltura e sistema agroalimentare - Dispensa per studenti del corso Agri-food Economics (Design of Sustainable Tourism Systems).

Il paragrafo 3 è tratto da P. Conforti Sviluppo agricolo, mercati internazionali e sicurezza alimentare, 2006.

http://host.uniroma3.it/facolta/economia/db/materiali/insegnamenti/252_1285.pdf

Il paragrafo 4 è basato, con alcune modifiche, sul testo dalla voce di Wikipedia.

Il paragrafo 5 è stato scritto da Flavio Boccia, docente Università Parthenope.

(agribusiness), che è più generale rispetto al SAA comprendendo non solo le attività destinate alla produzione di alimenti ma anche quelle che utilizzano materie prime agricole per produzioni non alimentari.

In questo corso noi ci occupiamo del **Sistema AgroAlimentare (SAA)**, schematizzato nella figura 1. Nel prospetto è indicata la produzione di biocarburanti perché ad oggi quelli di prima generazione sono ottenuti da materie prime che hanno anche un uso alimentare e quindi il loro sviluppo ha riflessi importanti e diretti sulla disponibilità e il prezzo dei prodotti alimentari.

Un prodotto alimentare per giungere al consumatore segue un percorso che si presenta come un concatenamento di stadi in cui sono coinvolti imprese appartenenti a diversi settori: agricoltura, industria, trasporti, distribuzione e ristorazione. **In ciascuno di essi, il prodotto subisce una trasformazione fisica o gli viene aggiunto un servizio che partecipa alla creazione del valore del bene per il cliente finale, il consumatore.**

Per questo è opportuno utilizzare un approccio di analisi che inglobi tutta la catena di fornitura; ossia considerare non la singola impresa ma l'intera filiera o **supply chain** (figura 2).

La **supply chain** (catena di fornitura) comprende tutte le unità operative che producono materie prime e input, trasformano i prodotti, gestiscono il trasporto e il magazzinaggio e mettono a disposizione del consumatore il prodotto finito. Le catene di fornitura possono e sempre più spesso sono geograficamente disperse - ossia comprendere unità che operano in paesi differenti-

Figura 1 – Il sistema agroalimentare

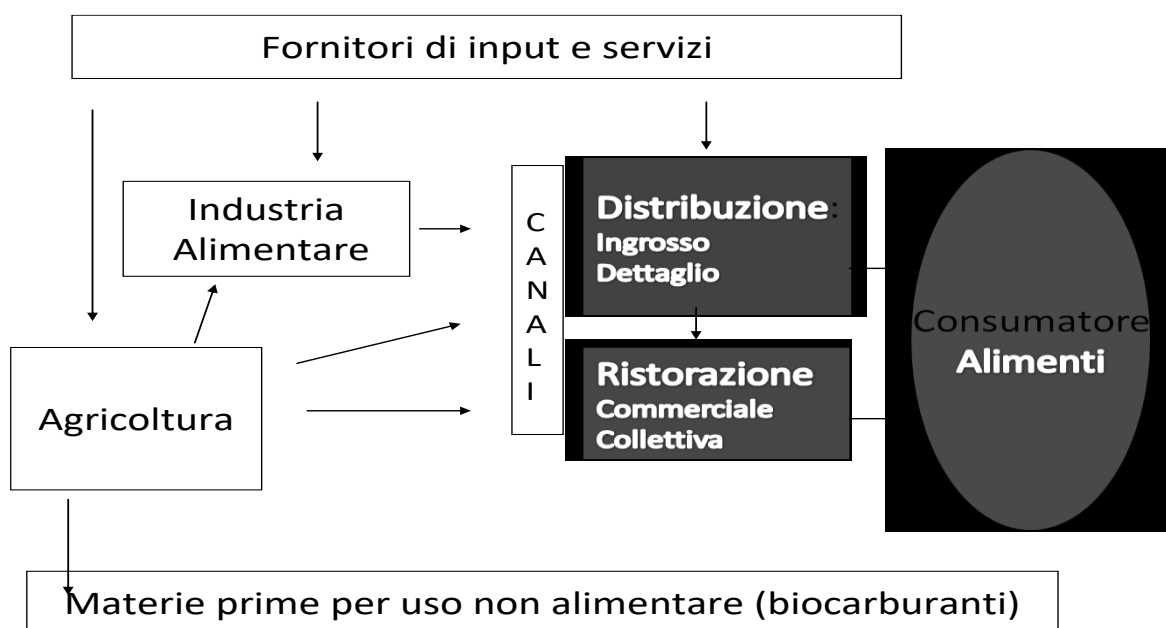
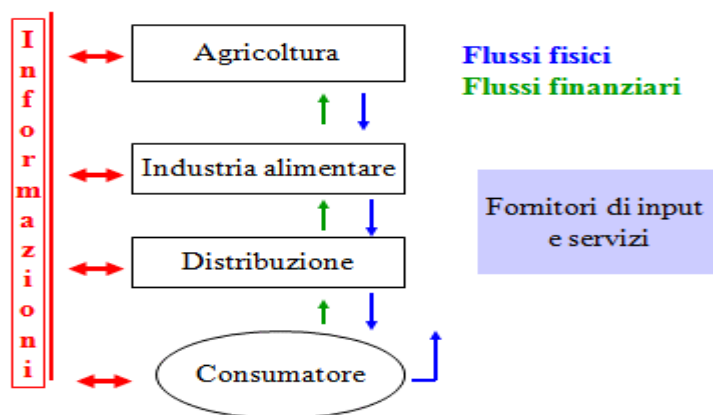


Figura 2

Supply Chain (catena di fornitura o filiera)



Il sistema agroalimentare ha delle sue specifiche caratteristiche (con riferimento in particolare all'offerta agricola e ai consumi alimentari) e nel processo di sviluppo dell'economia è stato soggetto a profondi cambiamenti che hanno riguardato soprattutto due aspetti:

- I. peso dei singoli settori, loro struttura e strategie
- II. domanda e aspettative dei consumatori.

Di conseguenza, il sistema agroalimentare nei paesi sviluppati (ad alto reddito) si presenta con caratteristiche profondamente diverse rispetto a quello di un paese in via di sviluppo.

I- Peso dei singoli settori e loro struttura e strategie

Le tendenze di fondo dell'evoluzione del sistema agroalimentare, sono sintetizzabili in:

- progressiva diminuzione del peso del settore agricolo sul prodotto interno lordo e sull'occupazione (paragrafo 3 di questa dispensa);
- modernizzazione dei sistemi di produzione agricola legata soprattutto alle innovazioni introdotte a partire dalla metà del 900, con la "rivoluzione verde" (paragrafo 4 di questa dispensa)
- Il progresso tecnologico ha offerto (e continua ad offrire) nuove possibilità di conservare, trasportare e aggiungere servizi ai prodotti agricoli, consentendo così di superare i limiti posti dalla deteriorabilità dei prodotti, di differenziare i prodotti e di rispondere all'evoluzione della domanda dei consumatori. Il progresso tecnologico e l'evoluzione della domanda (esigenze) dei consumatori hanno determinato la nascita dell'industria alimentare, lo sviluppo degli operatori nei canali (distribuzione e ristorazione) e la rilevante crescita del commercio internazionale dei prodotti sia agricoli che alimentari.

II – Domanda e aspettative dei consumatori

E' opportuno sottolineare **alcune caratteristiche della domanda** di prodotti alimentari

- La curva di domanda di prodotti agro-alimentari si caratterizza per maggior una rigidità rispetto a quella relativa ad altri beni. Il **valore dell'elasticità della quantità domandata rispetto alle variazioni di prezzo è bassa**, ovvero la domanda è rigida. Ciò è determinato

dal fatto che la maggior parte di questi prodotti è destinata al soddisfacimento di un bisogno primario e irrinunciabile del consumatore. Naturalmente l'elasticità della domanda varia sensibilmente a seconda dei prodotti (più alta per i prodotti alimentari “di lusso” che non per i prodotti consumati quotidianamente - pane, pasta, legumi, ecc.).

- La domanda di prodotti alimentari presenta una **bassa elasticità al reddito** (Legge di Engel). All'aumentare del reddito aumenta la spesa in prodotti alimentari, ma l'aumento % della spesa per alimenti è minore dell'aumento % del reddito. Quindi al crescere del reddito diminuisce la quota di spesa per i prodotti alimentari sulla spesa totale delle famiglie.
- Al crescere del reddito cambia la composizione dei consumi, **diversificazione della dieta** (Legge di Bennet). Si riduce il consumo di prodotti di base (quali ad esempio cereali, patate) per prodotti di maggiore valore nutrizionale, quali proteine animali, prodotti freschi e trasformati.

Il mercato dei prodotti agroalimentari è un contesto nel quale **la concorrenza tra le imprese è molto elevata**. Tutti gli operatori devono confrontarsi, nei paesi ad elevato livello di reddito, su mercati statici perché le **esigenze nutrizionali dei consumatori in termini quantitativi sono largamente soddisfatte**. Il problema per ciascun operatore è quello di aumentare “la propria quota sulla dieta” convincendo il consumatore non a mangiare di più, ma a sostituire il prodotto/servizio dei concorrenti con il proprio.

La competizione tra le imprese si basa in modo crescente sulla **differenziazione** dei prodotti e sugli attributi di **qualità** dei prodotti.

Le strategie di crescita delle imprese, per superare i limiti del mercato interno e poter sfruttare le economie di scala e di scopo, si sono mosse lungo due direttrici:

- Aumento della dimensione del fatturato, che determina un aumento del grado di concentrazione del mercato (un numero ristretto di imprese controlla quote elevate del mercato).
- Superamento dei confini nazionali e ingresso in mercati esteri, attraverso investimenti diretti e/o accordi di collaborazione – internazionalizzazione della produzione e delle catene di fornitura.

A tutti i livelli della supply chain operano grandi imprese multinazionali; che coesistono con un ampio numero di imprese di piccola e media dimensione.

Nell'**Unione Europea** (UE) il **sistema agroalimentare** riveste una particolare rilevanza in termini di contributo al prodotto lordo e all'occupazione. L'UE è anche il principale importatore ed esportatore mondiale di prodotti agroalimentari. In particolare risulta importatrice di materie prime agricole e esportatrice di prodotti alimentari trasformati. Infine nell'UE hanno sede Imprese multinazionali (quali Unilever, Heineken, Danone, tra le italiane Ferrero) e Catene della distribuzione moderna (Carrefour, Auchan, Metro ecc.) di grande rilievo e peso nel contesto internazionale. Mentre nel settore agricolo prevalgono ancora aziende di piccola e media dimensione.

Nei **Paesi in via di sviluppo** (Pvs) l'**agricoltura** riveste ancora un peso rilevante nell'economia (in termini di contributo al prodotto interno e all'occupazione) e una quota elevata della popolazione è ancora concentrata nelle aree rurali.

Per i Pvs il sistema agroalimentare (e il commercio internazionale dei prodotti agroalimentari), rappresenta un ambito di particolare rilevanza per il ruolo strategico che può avere per innestare il processo di sviluppo.

Il rapido tasso di sviluppo che negli ultimi anni si è registrato per alcuni paesi (**paesi emergenti** quali Cina, India e Brasile) sta determinando cambiamenti importanti nel mercato. Questi paesi, da un lato rappresentano importanti mercati di sbocco, perché la domanda di prodotti alimentari è destinata a crescere non solo in termini quantitativi ma soprattutto qualitativi (diversificazione della dieta). Dall'altra, lo sviluppo del sistema agroalimentare li sta rendendo importanti attori e concorrenti sui mercati internazionali.

2 SPECIFICITÀ DEI PROCESSI PRODUTTIVI IN AGRICOLTURA E DELL'OFFERTA

2.1 Specificità dei processi produttivi: natura biologica

I processi produttivi in agricoltura presentano alcune importanti peculiarità che condizionano lo svolgimento dell'attività dell'imprenditore agricolo, in tre fasi:

- scelta delle tipologie di processi da attivare (e dunque di prodotti da realizzare),
- esecuzione delle operazioni colturali e di allevamento,
- modalità di commercializzazione dei prodotti sul mercato.

I più importanti aspetti di differenziazione sono riconducibili in larga parte alla **natura biologica dei fattori utilizzati, dei processi produttivi, e dei prodotti che vengono realizzati**.

I processi produttivi agricoli fanno largo uso di **fattori che hanno natura biologica**: la terra intesa come capitale fondiario (vale a dire come la "terra nuda" più gli investimenti stabilmente investiti in essa), le piante in essa coltivate, nel caso delle produzioni vegetali, e il bestiame. La stessa terra nuda deve essere considerata come un sistema biologico in quanto essa è costituita da sostanze minerali ed organiche, ed è sede di vita microbica oltre che di attività fisico-chimica, caratteristiche che ne determinano una continua evoluzione.

La centralità dei fattori di tipo biologico fa sì che l'esecuzione di una stessa operazione non fornisca mai un identico risultato quali-quantitativo.

A causa della biologicità dei fattori e delle produzioni realizzate, il trascorrere del **tempo** (inteso come tempo **cronologico**, vale a dire come succedersi dei mesi e delle stagioni) **caratterizza i processi produttivi agricoli, determinando l'intervallo necessario per l'ottenimento del prodotto e organizzando al suo interno una successione di lavori il cui ordine è dettato dalle esigenze che la coltura (o l'animale) ha nel corso del suo sviluppo biologico**.

I processi produttivi agricoli sono quindi caratterizzati da una **forte stagionalità nella utilizzazione dei fattori produttivi e nell'ottenimento della produzione**. Quasi tutte le operazioni agricole hanno un proprio periodo utile di esecuzione, e si distribuiscono per lo più con irregolarità durante l'anno; e con irregolarità anche tra un anno e l'altro, a causa dell'interferire del tempo climatico e meteorologico. In sostanza, **il processo produttivo**

agricolo non è de-stagionalizzabile come invece la maggior parte dei processi di produzione industriali e di servizi. Ciò è vero soprattutto per le coltivazioni in pieno campo e per gli allevamenti estensivi, e in misura molto minore per le colture in serra e per gli allevamenti specializzati.

La concreta attivazione dei processi produttivi agricoli all'interno dell'azienda agricola (vale a dire il tipo, il numero e la combinazione dei processi produttivi elementari attivati) richiede di tenere conto di tre aspetti fondamentali:

- la necessità di ridurre la sottoutilizzazione dei fattori (terra e bestiame) disponibili nei diversi momenti di svolgimento dei processi;
- le esigenze di carattere agronomico (ad esempio rotazione tra colture diverse finalizzata a preservare la fertilità del suolo, o a contenere lo sviluppo di infestanti e parassiti specializzati);
- le esigenze di carattere monetario (necessità di coordinazione dei flussi monetari in entrata e in uscita).

Ciascuna azienda agricola è dunque caratterizzata da uno specifico ordinamento produttivo, che riflette le scelte organizzative assunte nell'ambito dell'unità di produzione e che costituisce un carattere strutturale dell'azienda, dato che esso non risulta facilmente modificabile in tempi brevi.

I processi produttivi agricoli sono fortemente condizionati non soltanto dal tempo cronologico (succedersi dei mesi e delle stagioni), ma anche **dal tempo climatico e dal tempo meteorologico**.

Il **tempo climatico** (inteso quale caratterizzazione climatica dell'area in cui ha luogo la produzione) impone di individuare le modalità che meglio assecondano l'evoluzione dei fenomeni biologici posti in essere mediante il processo produttivo, in modo da assecondare al meglio le relazioni che il clima ha con il suolo.

Oltre al clima anche il **tempo meteorologico**, costituito dalla successione e dall'intensità assunta dalle singole manifestazioni meteorologiche, ha una grande rilevanza sulle modalità di svolgimento e sui risultati ottenibili nei processi produttivi agricoli. Le manifestazioni meteorologiche assumono infatti lo status di veri e propri fattori interni all'azienda, nel senso che l'organizzazione della produzione nell'ambito dell'unità di produzione deve tenere conto in maniera sistematica della loro influenza sulle modalità di svolgimento dei processi

Il concreto manifestarsi dei fenomeni meteorologici, e la relativa incertezza che li caratterizza pur nell'ambito di uno stesso clima, determina una **forte aleatorietà dei processi produttivi agricoli**, aleatorietà che si manifesta su un duplice livello:

- determina un'impossibilità di organizzare preventivamente tutti gli inputs;
- fa sì che il rapporto tra input e output sia di tipo probabilistico.

In sostanza **l'imprenditore non può controllare tutti gli elementi che entrano nel processo di produzione, e per questo motivo egli è costretto a ricercare una notevole flessibilità organizzativa e strutturale che gli consenta di assecondare anche la manifestazione di fenomeni meteorologici imprevedibili**. Considerando ad esempio le operazioni di concimazione e di irrigazione, non solo il loro numero, intensità e momento di svolgimento possono variare nel corso del ciclo produttivo a causa della variabilità meteorologica la quale condiziona le fasi di sviluppo delle piante; ma le immissioni nel ciclo produttivo di tali input

devono essere effettuate con notevole tempestività di azione che non è prevedibile a priori, ma che deriva da elementi esogenamente determinati.

Un ulteriore fattore di aleatorietà dello svolgimento dei processi produttivi agricoli deriva dalla possibile insorgenza di patologie degli animali e delle piante. Tali manifestazioni - che in parte a loro volta derivano dagli andamenti meteorologici – sono comunque oggi maggiormente controllabili e prevenibili che non in passato, ricorrendo all'impiego di determinate tecniche e fattori produttivi (quali anticrittogamici per le produzioni vegetali, o medicinali specifici per gli animali).

L'effettuazione delle operazioni necessarie per controllare l'insorgenza di malattie determinano evidenti riflessi sullo svolgimento dei processi produttivi e dunque sui relativi costi di produzione, oltre che sulla organizzazione dei fattori produttivi. In sostanza, quanto detto sopra per le operazioni d'irrigazione e concimazione vale anche per la distribuzione di prodotti antiparassitari atti a contenere gli effetti delle malattie delle piante.

Le caratteristiche dei processi produttivi agricoli che sono state esaminate nelle pagine precedenti hanno degli importanti riflessi anche sui flussi monetari:

- in termini di **asincronia** tra i flussi monetari in entrata e in uscita, che si riflette sul tempo di attesa (o periodo di immobilizzazione), dato dall'intervallo che passa tra il momento di esecuzione della prima operazione produttiva e quello in cui si ottiene il prodotto; il tempo di attesa identifica il periodo durante il quale è necessario immobilizzare successivamente moneta senza che sia possibile ottenere una qualche disponibilità.

- in termini di **d'incertezza dei flussi monetari** sia in entrata che in uscita.

Da una parte il livello effettivo d'impiego di determinati fattori produttivi è difficilmente predeterminabile, in quanto dipende ad esempio dal tempo meteorologico (assenza di piogge che rendono necessaria l'irrigazione artificiale) o dagli attacchi di parassiti (che richiedono un maggiore impiego di prodotti antiparassitari).

Parimenti la quantità di prodotto che è possibile ottenere deriverà anche dall'andamento climatico e meteorologico, o dall'insorgenza di malattie; a ciò di aggiunge poi l'incertezza di mercato, legata alla variabilità dei prezzi dei prodotti.

A loro volta i caratteri dei flussi monetari associati ai processi produttivi agricoli condizionano anche gli aspetti organizzativi, e dunque le scelte dell'imprenditore, che nella scelta della combinazione dei processi produttivi da attivare (e dunque nella scelta dell'ordinamento produttivo) dovrà tenere conto anche dell'esigenza di regolarizzare i flussi monetari e di prevenire gli effetti monetari dell'incertezza. E' anche da questa esigenza che deriva storicamente la forte de-specializzazione che caratterizza numerose aziende agricole.

Vanno sottolineate in ogni caso le differenze esistenti tra i diversi tipi di processo produttivo agricolo. I problemi derivanti dagli elevati tempi di attesa e dall'incertezza sono particolarmente evidenti per le coltivazioni in pieno campo e per gli allevamenti allo stato brado, e in genere per quei processi che non possono essere attivati in linea e che più risentono degli effetti del tempo meteorologico. Tali problemi condizionano in maniera minore le coltivazioni in serra e gli allevamenti senza terra, vale a dire quei processi in cui gli effetti meteorologici (e l'insorgenza di malattie) sono più controllabili e che possono essere attivati anche in linea.

Nei processi produttivi agricoli gli impianti sono costituiti da organismi vegetali e organismi animali, dunque da organismi viventi.

La produzione vegetale è caratterizzata dal processo biologico di fotosintesi clorofilliana realizzato, tramite la luce solare, nelle cellule verdi dei vegetali: queste sintetizzano, a partire dall'anidride carbonica, dall'acqua e dai sali minerali assorbiti dal terreno (in determinate condizioni di temperatura e umidità) la sostanza organica, che rappresenta una accumulazione di energia solare.

Il processo produttivo zootecnico si caratterizza per la presenza del bestiame, il quale costituisce un vero e proprio “strumento produttivo” che trasforma in servizi (lavoro animale) e/o in prodotti (carne, latte, lana, ecc.) una parte dell'output dei processi di produzione agricola (foraggi, paglia, altri prodotti vegetali). Il processo zootecnico inoltre svolge (storicamente) una fondamentale funzione nel ciclo di conservazione e sviluppo della fertilità del suolo, che parte dalle sostanze minerali contenute nel terreno e necessarie alla vita delle piante, passa dalla loro utilizzazione e si conclude con la produzione del letame e il suo reimpiego.

La natura biologica della produzione è determinata dalle esigenze di tali organismi vegetali e animali, i quali sono caratterizzati per il fatto di essere fertili e capaci di accrescimento e sviluppo. In questo contesto **il lavoro umano ha minori “responsabilità dirette” nella produzione di quanto accada in altre tipologie di processi produttivi: gli esiti della produzione nei processi agricoli tradizionali non dipendono, come nell'industria o nelle lavorazioni artigianali, da un allungamento della giornata lavorativa.** Allo stesso tempo però **il lavoro umano deve essere capace di una forte professionalità e duttilità:** ad esso compete infatti di interpretare ed assecondare fenomeni biologici complessi che appartengono a cicli non artificiali ma biologici.

I processi chimico-fisici che devono succedersi per portare a compimento la creazione del bene fanno poi sì che il processo produttivo agricolo debba essere considerato a tecnologia obbligata, vale a dire che la tecnica-ricetta di produzione e la successione delle operazioni lasciano molto scarsi ambiti di intervento, fatta salva la scelta dello strumento (o della combinazione di strumenti) da utilizzare per l'esecuzione dei lavori.

Un ulteriore fondamentale riflesso derivante dalla biologicità dei processi produttivi agricoli consiste nel fatto che **non è possibile interrompere momentaneamente il processo di produzione,** ma che questo deve essere portato a termine secondo le esigenze di accrescimento biologico dell'organismo vegetale o animale. Anche per l'allevamento di animali da carne infatti l'efficienza tecnica (ed economica) viene meno nel momento in cui si supera un certo intervallo di accrescimento del capo (intervallo che deriva sia dalla razza che dai caratteri dello specifico capo), al di là del quale gli incrementi produttivi (incremento del quantitativo di carne) non giustificano i costi dell'alimentazione dello stesso.

Non solo inoltre in molti casi non è possibile interrompere il processo, ma anche la **conservazione** dell'output del processo stesso (prodotto vegetale o animale) risulta spesso tecnicamente molto difficoltosa e comunque richiede l'adozione di specifiche strutture e tecnologie di conservazione. Infatti anche gli output dei processi agricoli mantengono la loro caratteristica di organismi viventi, soggetti a processi di deperimento molto veloci. **Da qui deriva l'esigenza di destinare quanto prima l'output del processo alla vendita, o ad altri usi** (ad esempio autoconsumo o reimpiego quale fattore produttivo aziendale).

Per molte produzioni i problemi legati alla conservabilità e alla stagionalità determina la necessità per l'agricoltore di vendere il prodotto in tempi rapidi, anche se sul mercato i prezzi sono "bassi", non potendo stoccare il prodotto in attesa di prezzi più elevati.

2.2 Offerta di prodotti agricoli: rigidità e instabilità

Numerosi autori evidenziano come "problema centrale" dell'offerta la scarsa reattività della produzione complessiva del settore alle variazioni del livello generale dei prezzi agricoli (ovvero la **rigidità dell'offerta al prezzo nel breve periodo**), e in particolare alle loro diminuzioni. Un classico esempio di questo fatto si è avuto negli Stati Uniti durante la grande depressione degli anni '30, quando la produzione di beni agricoli rimase sostanzialmente costante a fronte di una caduta del livello dei prezzi di circa il 50%.

Un'altra caratteristica della produzione agricola è la sua **instabilità di breve periodo**, particolarmente evidente a livello di singole produzioni.

Una spiegazione della rigidità di adattamento dell'offerta agricola ai prezzi di mercato nel breve periodo deriva dalla considerazione della lunghezza e della rigidità dei cicli produttivi, dovuta ai "fattori biologici" sopra ricordati. Tali caratteri determinano un'incapacità "tecnica" di effettuare i necessari aggiustamenti quando la situazione dei mercati è sfavorevole: così gli agricoltori, di fronte a una caduta della domanda, non possono fare altro che portare a termine le produzioni già avviate, al limite riducendo l'utilizzo di input quali antiparassitari e fertilizzanti, e sperare che il mercato si riprenda; soltanto per bassissimi livelli di prezzo essi rinunceranno a raccogliere le produzioni. Anche questo fatto causa una notevole differenza dai settori industriali, i quali in genere possono amministrare i propri prezzi in modo da aggiungere ai costi un margine di profitto; essi possono così reagire a variazioni della domanda adattando soprattutto la quantità prodotta, che viene fatta variare più ampiamente e rapidamente dei prezzi.

Un'ulteriore spiegazione della rigidità dell'offerta si fonda sulla particolare struttura dei costi delle aziende agricole, caratterizzata da una incidenza dei costi fissi molto elevata rispetto ai costi variabili. Infatti, la maggior parte delle aziende agricole non impiega lavoro salariato a tempo indeterminato, e il lavoro dell'agricoltore e dei familiari può essere considerato fisso a causa della mancanza di alternative occupazionali di breve periodo (mancanza di competenze richieste dai settori extra-agricoli, costo economico e psicologico del trasferimento) e dei legami di carattere non economico che l'agricoltore stringe con la propria attività. Ciò a differenza delle aziende industriali, ove spesso i salari sono il costo variabile più importante. Inoltre, essendo anche i costi dei macchinari, della terra e degli investimenti fondiari considerabili "fissi" nel breve periodo e mancando o essendo solitamente trascurabili i costi relativi agli acquisti di materie prime (tipici invece delle aziende industriali), spesso i costi variabili sono costituiti solo da mangimi, fertilizzanti, sementi, antiparassitari, energia, e dunque incidono relativamente poco rispetto all'incidenza dei costi fissi sul costo totale.

Dalla teoria economica è noto come l'imprenditore, dati i costi fissi, sarà spinto a continuare a restare sul mercato (attivando i processi di produzione) anche se il prezzo unitario del prodotto finito scende al di sotto del costo totale medio, e non cesserà la propria attività fino a quando il prezzo di mercato resta comunque superiore al costo variabile medio: essendo quest'ultimo, come si è visto, una piccola parte del costo totale, ogni singola azienda continuerà a produrre

fino a che non si verificano riduzioni molto forti e durevoli dei prezzi di vendita. Al contrario un aumento dei prezzi agricoli stimola, dopo un certo intervallo di tempo, maggiori investimenti a livello di ogni singola azienda ed anche l'ingresso di nuove aziende nel settore.

3 SVILUPPO AGRICOLO ALIMENTARE: BREVE EVOLUZIONE STORICA

L'agricoltura, l'allevamento del bestiame e la pesca sono state fra le prime e più importanti attività economiche che l'uomo ha intrapreso fin dalla preistoria. Con queste attività l'uomo ha infatti iniziato a perseguire sistematicamente il condizionamento dell'ambiente naturale a proprio vantaggio, con il fine di migliorare e razionalizzare le modalità con cui procacciarsi cibo, indumenti, ed altre semplici materie prime.

Fino alla rivoluzione industriale questo complesso di attività – cui per brevità ci riferiamo come “agricole” o “primarie” – hanno costituito la porzione di gran lunga prevalente delle attività economiche. La coltivazione dei prodotti e l'allevamento del bestiame venivano condotte con minimo ricorso a fattori produttivi non agricoli e l'evoluzione delle tecniche di produzione era lenta. La maggior parte dei prodotti dell'agricoltura venivano scambiati entro un piccolo raggio geografico, e molte delle famiglie che vivevano in zone rurali e che traevano il loro sostentamento dalle attività agricole consumavano quasi esclusivamente i propri prodotti (auto-consumo). Anche nelle città, la trasformazione dei prodotti primari era condotta quasi esclusivamente all'interno dei nuclei familiari.

Alle attività primarie si affiancavano, in quelle che nei secoli furono le società più avanzate, poche attività di trasformazione artigianale, che fornivano semplici prodotti di trasformazione, poche attività minerarie ed estrattive, e piccole quantità di servizi commerciali e finanziari. La piccola dimensione delle attività non agricole corrispondeva, da un lato, ad una scarsa domanda di beni e servizi non agricoli, che veniva espressa soprattutto da quella modesta porzione di popolazione che beneficiava di un reddito elevato. La distribuzione del reddito era, infatti, fortemente asimmetrica, e larghe fasce di popolazione versavano sistematicamente in condizioni di indigenza, soprattutto nelle zone rurali; si pensi, ad esempio, agli schiavi in epoca antica, o ai servi della gleba in epoca medioevale. Queste porzioni di popolazione esprimevano una domanda praticamente nulla di beni non alimentari. D'altro canto, lo scarso sviluppo tecnologico determinava elevati costi di produzione dei beni non agricoli, che pure ne limitava l'accesso agli esigui gruppi privilegiati di popolazione, come i patrizi dell'età romana e i nobili e i grandi feudatari del medioevo. E lo scarso sviluppo dei trasporti e delle comunicazioni frenavano la diffusione delle innovazioni, cosicché era possibile che beni prodotti in alcune regioni fossero del tutto sconosciuti in altre, e che materie prime comuni in alcune aree fossero del tutto sconosciute altrove.

Com'è noto, la rivoluzione industriale ha visto cambiare radicalmente questo quadro, e ha portato con sé un rapido sviluppo tecnologico, una crescita dell'integrazione commerciale e dello sviluppo e della diffusione delle innovazioni. Soprattutto nei paesi dell'Occidente europeo e negli Stati Uniti, a questo si è accompagnato un graduale incremento della domanda di beni e servizi in genere, sia di origine primaria, sia di prodotti manifatturieri e di servizi. La distribuzione del reddito ha cominciato lentamente a migliorare, e questo ha comportato una generale espansione della domanda.

Anche nella produzione primaria, tuttavia, la rivoluzione industriale ha portato con sé cambiamenti di rilievo. Dal lato dell'offerta, il progresso tecnico – soprattutto sotto forma di diffusione delle macchine, di miglioramento delle varietà coltivate ed allevate, della fertilizzazione e dell'alimentazione del bestiame – fece aumentare la produttività del lavoro, e consentì di espellere quantità crescenti di lavoro e di altri fattori produttivi, che poterono essere destinati alle attività manifatturiere nelle quali ottenevano una remunerazione più elevata. La riduzione della popolazione che traeva il proprio sostentamento dalle attività agricole e che viveva nelle zone rurali – favorita dallo sviluppo industriale e dalla conseguente urbanizzazione – faceva aumentare la domanda di prodotti primari destinati all'alimentazione, e faceva aumentare il ruolo del mercato e degli scambi a scapito dell'autoconsumo, portando con sé una minore convenienza alla trasformazione domestica ed una crescita della specializzazione del lavoro. Nel contempo aumentavano la conservabilità dei prodotti, e la possibilità di effettuare vantaggiosi scambi commerciali con paesi lontani, grazie allo sviluppo delle tecnologie di trasporto e di conservazione dei prodotti.

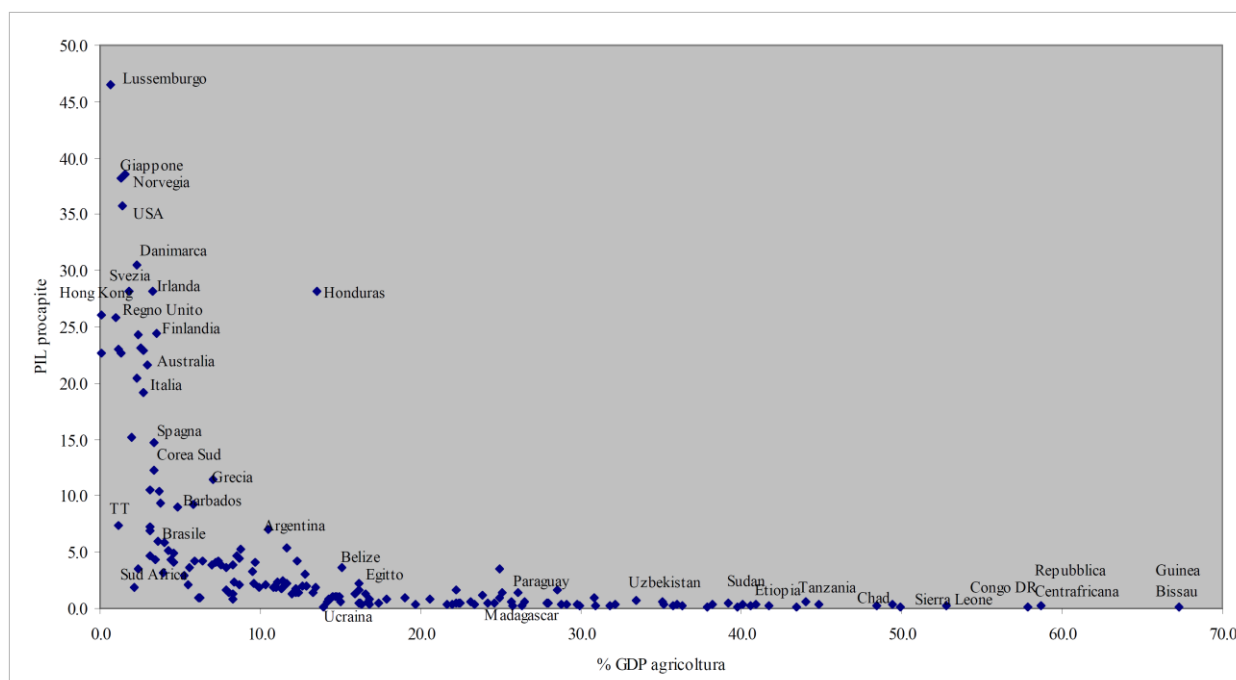
Questi cambiamenti hanno dato avvio ad un declino relativo dell'agricoltura, grazie al quale l'importanza di questo settore produttivo ha incominciato a diminuire rispetto al complesso delle attività economiche, siano esse misurate con riferimento ad un paese, una regione, o ad una qualsiasi altra entità amministrativa. Va sottolineato che si tratta di un declino relativo, e non assoluto: come si vedrà più avanti, quella che diminuisce non è la quantità assoluta di ricchezza prodotta dall'agricoltura, ma bensì il contributo che l'agricoltura offre alla formazione della ricchezza.

I processi di cambiamento innescatisi con la rivoluzione industriale si sono approfonditi, diversificati, diffusi, e in alcuni casi protratti fino ai giorni nostri, dando luogo a una molteplicità di organizzazioni del sistema produttivo la cui descrizione esula di gran lunga l'obiettivo di questo scritto. Il declino relativo dell'agricoltura, invece, è uno di quei fenomeni che hanno accompagnato e continuano ad accompagnare con buona regolarità la crescita della ricchezza e lo sviluppo dei sistemi economici, in misura piuttosto indipendente dalle loro caratteristiche specifiche, come la collocazione geografica, l'organizzazione sociale, o il profilo culturale. Questo declino è osservabile sia guardando all'evoluzione storica, sia considerando in un unico istante di tempo l'importanza dell'agricoltura in paesi a diverso grado di reddito pro capite: quanto maggiore è il livello del reddito, tanto minore è l'importanza relativa dell'agricoltura.

3.1 Il peso relativo dell'agricoltura oggi

Una evidenza di questo fenomeno è riportata nel Figura 3, in cui per circa 200 paesi sono riportate la quota di valore aggiunto dell'agricoltura sul PIL valutata al 2002-2004 ed il PIL pro capite. E' evidente la presenza di una relazione inversa fra le due variabili, per cui quanto maggiore è il reddito tanto minore è l'incidenza dell'agricoltura sul PIL: nella porzione in alto a sinistra sono, infatti, presenti le economie più ricche, in cui l'agricoltura conta per pochi punti percentuali del PIL, mentre nella porzione in basso a destra del grafico sono presenti alcuni dei paesi più poveri del pianeta, in cui più della metà dell'economia è ancora dedicata all'agricoltura.

Figura 3



In particolare, le economie più avanzate, corrispondenti all'incirca ai paesi membri dell'Organizzazione per lo Sviluppo e la Cooperazione Economica (OCSE)² si trovano sistematicamente in alto a sinistra nel grafico, indicando che ad un livello elevato del reddito pro capite corrisponde un basso peso relativo dell'agricoltura rispetto al complesso delle attività produttive.

I paesi in via di sviluppo, e molti dei paesi classificati come “meno avanzati” (PMA)³ si trovano invece collocati in basso e verso destra, indicando che ad un basso livello del reddito pro capite si associa un elevato peso relativo del settore agricolo nell’economia.

² Questa organizzazione riunisce le maggiori economie di mercato del mondo promuovendone il co-ordinamento e l'integrazione e fornendo supporto tecnico ai governi. L'OCSE ha sede a Parigi, e ne fanno parte gli Stati Uniti, il Canada, il Messico, 18 degli attuali 25 paesi membri dell'Unione Europea, la Norvegia, la Svizzera, la Turchia, il Giappone, la Corea del Sud., l'Australia e la Nuova Zelanda. Gli attuali paesi membri dell'Unione Europea sono: Austria, Belgio, Cipro, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Italia, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Olanda, Polonia, Portogallo, Regno Unito, Repubblica Ceca, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia e Ungheria.

³ 3 E' questo il modo in cui sono classificate le economie più povere del pianeta. Dei "Paesi Meno Avanzati" (PMA) fanno attualmente parte: Afghanistan, Angola, Bangladesh, Benin, Bhutan, Burkina Faso, Burundi, Cambogia, Capo Verde, Repubblica Centrafricana, Chad, Isole Comore, Repubblica Democratica del Congo, Gibuti, Guinea Equatoriale, Eritrea, Etiopia, Gambia, Guinea, Guinea-Bissau, Haiti, Kiribati, Repubblica Democratica del Laos, Lesotho, Liberia, Madagascar, Malawi, Maldive, Mali, Mauritania, Mozambico, Myanmar, Nepal, Niger, Rwanda, Samoa, São Tomé e Príncipe, Senegal, Sierra Leone, Isole Solomon, Somalia, Sudan, Timor-Est, Togo, Tuvalu, Uganda, Repubblica Unita di Tanzania, Vanuatu, Yemen e Zambia.

Si noti che nella zona in alto a sinistra del grafico si incontrano alcuni paesi i cui settori agricoli sono di gran lunga i più avanzati al mondo: l'agricoltura degli Stati Uniti, del Canada, dell'Unione Europea (Ue) o dell'Australia, per fare alcuni esempi, sono infatti fra le più importanti al mondo in termini assoluti, e generano imponenti flussi di esportazione di prodotti agricoli. Parimenti, nella zona in basso a destra del grafico, si incontrano paesi la cui agricoltura è largamente dominata da metodi di produzione arcaici, ed in cui la maggior parte della produzione, quando pure sia idonea ad essere collocata nei mercati internazionali, risulta scarsamente competitiva.

Pertanto nel caso dei paesi più industrializzati e ricchi, nonostante l'importanza dell'agricoltura rispetto al complesso delle attività economiche - vale a dire il suo peso relativo - sia modesta, l'importanza assoluta del settore e la sua competitività nei mercati internazionali tende ad essere elevata. Viceversa, nei paesi più poveri e meno industrializzati, l'importanza dell'agricoltura rispetto al complesso delle attività economiche è elevata, ma a ciò corrisponde una scarsa produttività ed una modesta importanza assoluta del settore, nonché una ridotta competitività nei mercati internazionali.

Questa osservazione è solo apparentemente paradossale: in realtà, laddove lo sviluppo economico produce una crescita più rapida delle attività produttive non agricole rispetto all'agricoltura, anche l'agricoltura ne beneficia. Viceversa, laddove vi è un minor grado di sviluppo economico, anche l'agricoltura risente del basso grado di sviluppo.

La regolarità con cui questa associazione fra peso relativo dell'agricoltura e livello del reddito si verifica è tale da consentire di utilizzare la quota di PIL derivante dall'agricoltura come uno degli indicatori del grado di sviluppo di un sistema economico. L'associazione fra queste variabili è facilmente verificabile anche da una prospettiva storica; basti considerare, ad esempio, che nell'Italia dei primi anni cinquanta il settore primario pesava per circa il 18% del PIL, a fronte del 2,7% del 2002-04.

3.2 Perché si verifica il declino relativo dell'agricoltura?

Dal lato della domanda, l'operare della legge empirica di Engel contribuisce a spiegare questo fenomeno. Secondo **la legge di Engel, al crescere del reddito disponibile diminuisce la quota relativa di domanda in beni alimentari**. Questa regolarità empirica, è a sua volta conseguenza, da un lato della **natura di bene di prima necessità associata al cibo**, che fa sì che ai livelli di reddito molto bassi si comprima il consumo di beni non alimentari piuttosto che quello di beni alimentari; dall'altro la legge di Engel deriva dall'esistenza di un **limite biologico alla crescita dei consumi alimentari**, dato dalla soglia della sazietà. In altre parole, mentre è concepibile per un consumatore possedere un numero potenzialmente illimitato di motociclette, scarpe, o quadri, non è altrettanto concepibile mangiare all'infinito. La legge di Engel, indica quindi che al crescere del reddito si ha una diminuzione dell'elasticità-reddito dei beni alimentari, che si traduce in una crescita più che proporzionale della domanda per beni non alimentari.

Ad esempio, supponendo che il reddito disponibile di un paese passi da 150 a 250 aumentando del 66%, si osserverà una crescita della domanda di cibo inferiore, per esempio da 40 a 55, del 37,5%; ciò implica che la domanda per beni non alimentari sarà aumentata del 77%.

Pertanto, al crescere della ricchezza prodotta, la domanda di beni alimentari segna il passo rispetto a quella degli altri beni, e questo genera una espansione delle attività non agricole più rapida di quelle agricole.

Lo spostamento della domanda verso i beni non alimentari, oltre a comportare una maggior richiesta di prodotti dell'industria manifatturiera e dei servizi, comporta anche una **crescita dei servizi incorporati nei beni alimentari richiesti dai consumatori al crescere della ricchezza disponibile**, molti dei quali vanno a sostituire la trasformazione domestica dei prodotti primari.

In altre parole, le stesse necessità alimentari vengono assolte secondo modalità che comportano una crescita della domanda di beni e servizi prodotti fuori dal settore primario.

Ad esempio, è noto che i consumatori che hanno la possibilità di disporre di quantità sufficienti di carne, domanderanno in misura crescente i tagli di maggior pregio, e/o la carne di una specifica varietà, e/o preparazioni particolari di quella carne, e/o la disponibilità di quella carne in un esercizio commerciale di facile accesso, e/o un confezionamento che permetta di riconoscere immediatamente il prodotto richiesto. Tutti questi elementi sono concepibili come servizi incorporati nel prodotto primario “carne”, la cui remunerazione influisce in misura crescente sul prezzo finale del prodotto. Pertanto, è possibile riscontrare casi in cui, per ogni Euro del prezzo finale della carne venduta al dettaglio, poche decine di centesimi vanno a remunerare la materia prima prodotta in un'azienda agricola, mentre il resto di quel prezzo va a remunerare i servizi di trasformazione – intendendo questi in senso sufficientemente ampio da includere, per esempio, lo stoccaggio, la selezione, il trasporto, la certificazione - incorporati in quella materia prima.

Nelle società in cui il costo del lavoro e la sua specializzazione sono elevate, la sostituzione della trasformazione domestica con processi produttivi industriali risponde ad una logica di efficienza: è più conveniente acquistare beni con molti servizi incorporati piuttosto che spendere tempo in trasformazione domestica, poiché il valore al margine di quel tempo è maggiore del costo al margine dei servizi incorporati nei beni⁴.

Da lato dell'offerta, contribuisce a spiegare la riduzione dell'importanza relativa delle attività primarie in primo luogo il progresso tecnico, che per un verso spinge al ribasso i costi di produzione, ma per l'altro spinge ad un utilizzo crescente, nella produzione agricola, di fattori produttivi non agricoli, prodotti dal settore manifatturiero e da quello dei servizi. Pertanto, se in una economia arcaica la produzione di una tonnellata di grano richiedeva qualche chilogrammo di semente, la trazione animale, pochi utensili per la preparazione del terreno, la semina, la raccolta e una gran quantità di lavoro, quella stessa tonnellata di grano in una economia avanzata richiederà macchinari sofisticati in grado di preparare il terreno, seminare, e raccogliere con precisione; ma occorreranno anche varietà selezionate adatte all'ambiente naturale, fertilizzanti e antiparassitari adatti a quella varietà, ed una quantità relativamente esigua di lavoro specializzato per gestire il processo produttivo; occorreranno inoltre servizi specializzati, necessari per conoscere le modalità con cui collocare il prodotto finale alle migliori condizioni, ma anche servizi finanziari per gestire le anticipazioni di capitale necessarie a mandare avanti il processo produttivo. In altre parole, la stessa attività agricola genera una domanda indotta di prodotti non

⁴ Si noti che anche qui si fa ricorso ad un concetto molto ampio di “trasformazione” dei beni, che include anche elementi quali la reperibilità dei beni in loghi lontani da quelli in cui sono prodotti, la riconoscibilità dei beni, la loro facilità d'uso.

agricoli, che nelle economie sviluppate può assumere una dimensione paragonabile, se non superiore, a quella dell'agricoltura stessa, e che non esisteva nelle società arcaiche.

In secondo luogo, la crescita della produttività nei settori non agricoli tende a crescere più rapidamente che in agricoltura, data la minore dipendenza delle attività extra-agricole dai cicli di produzione naturali, e la minor dispersione dei processi produttivi che favorisce la specializzazione del lavoro ed il progresso tecnico. Questo determina una remuneratività dei fattori più elevata nei settori non agricoli, che pure contribuisce a spiegare il declino relativo dell'agricoltura.

Considerando questi fattori nel loro insieme si nota come, a partire dalla rivoluzione industriale, **la funzione di fornire agli uomini cibo e materie prime di origine vegetale che nelle società arcaiche era stata dell'agricoltura, viene assolta da un sistema di produzione sempre più complesso, all'interno del quale l'agricoltura perde di importanza, mentre acquistano peso le attività di trasformazione dei prodotti agricoli che si svolgono a valle dell'attività primaria, e le produzioni di beni e servizi non agricoli che vengono impiegati come input nel processo produttivo primario.**

Pertanto il declino relativo dell'importanza dell'agricoltura come attività produttiva si accompagna allo sviluppo di un complesso sistema produttivo, che chiamiamo sistema agroindustriale, e che comprende le attività produttive che si trovano a monte e a valle della produzione primaria, e che si integrano in misura crescente con la produzione primaria.

4 MODERNIZZAZIONE DELL'AGRICOLTURA: LA RIVOLUZIONE VERDE

Il termine **rivoluzione verde** è stato coniato per un approccio innovativo ai temi della produzione agricola che, attraverso l'impiego di varietà vegetali selezionate (ibridi), fertilizzanti, fitofarmaci, acqua e altri investimenti di capitale in forma di mezzi tecnici, **ha consentito un incremento significativo delle produzioni agricole in gran parte del mondo.**

Tale processo di innovazione delle tecniche agrarie iniziò in Messico nel 1944, ad opera dello scienziato statunitense Norman Borlaug con l'obiettivo di ridurre le aree a rischio di carestia.

L'inizio della rivoluzione verde si fa comunemente risalire al 1944, quando la Rockefeller Foundation fondò un Istituto per incrementare la produttività agricola delle fattorie messicane. Ciò produsse risultati sorprendenti: il Messico passò dal dover importare metà del suo frumento all'autosufficienza nel 1956, fino all'esportazione di mezzo milione di tonnellate di frumento nel 1964. In realtà, questo approccio al miglioramento genetico fu inizialmente messo in atto da parte di un ricercatore italiano, Nazareno Strampelli, nei primi anni del Novecento. Le sue varietà ibride di frumento furono uno degli elementi decisivi che consentirono di vincere la cosiddetta Battaglia del grano lanciata in quegli anni da Benito Mussolini.

La storiografia ufficiale dà comunque il merito della trasformazione agricola ad un allora giovane genetista americano, Norman Borlaug, che incrociando frumenti bassi e frumenti altamente produttivi, ma alti, ottenne frumenti di taglia contenuta capaci di grandi produzioni. Altro obiettivo del lavoro del Dr. Borlaug fu quello di creare varietà di grano in grado di adattarsi o comunque di produrre di più, in condizioni climatiche avverse. Per il suo lavoro e l'impegno nella lotta alla fame nel 1970 gli fu assegnato il Premio Nobel per la pace.

Dopo le sperimentazioni degli anni quaranta, le tecnologie (genetica tradizionale) furono esportate all'estero, trovando applicazione in tutto il mondo. Il successo nei rendimenti crescenti fu indiscutibile. La crescita dei rendimenti è stata tale da consentire all'agricoltura di tener testa alla crescita della popolazione, scongiurando le fosche previsioni di Malthus. La produzione pro capite aumentò ogni anno dopo il 1950.

4.1 Le innovazioni

Le tecnologie della rivoluzione verde si suddividono in due categorie.

- 1) la produzione di nuove varietà di piante (ibridi);
 - 2) lo sviluppo di nuove tecniche agricole.
-
- 1) La maggior parte dei raccolti consumati dal pubblico di massa delle nazioni industrializzate è costituita da raccolti derivati da sementi della rivoluzione verde. La progettazione di **ibridi, realizzati mediante impollinazione incrociata fra piante appartenenti a linee pure ottenute da selezione individuale nell'arco di più generazioni, per produrre la combinazione desiderata di caratteristiche in una singola varietà**, era motivata dal desiderio in primo luogo di **aumentare il rendimento del raccolto, e anche di estendere la durata per il trasporto e la longevità per la conservazione**.
 - 2) Le tecniche messe a punto e sviluppate dalla rivoluzione verde sono, in breve legate all'uso di:
 - **Fertilizzanti chimici**, per dare al suolo i componenti necessari per la crescita delle piante. Prima invece si utilizzavano tecniche come la rotazione o fertilizzanti organici come il concime di cavallo.
 - **Irrigazione**. Benché sia stata usata in agricoltura per migliaia di anni, la rivoluzione verde ha ancor di più sviluppato i metodi d'irrigazione migliorandone l'efficienza.
 - **Macchinari**. Le mietitrici meccanizzate e altri macchinari pesanti non erano nuovi per l'agricoltura (la mietitrice McCormick fu sviluppata nel XIX secolo), ma la rivoluzione verde permise una riduzione drastica nel fabbisogno di lavoro umano nell'agricoltura estendendo l'uso dei macchinari per automatizzare ogni possibile processo agricolo.
 - **Prodotti fitosanitari**. Lo sviluppo dei prodotti fitosanitari di sintesi (inclusi i cloruri organici ed i composti organofosfatici) ha permesso ulteriori miglioramenti nella produttività dei raccolti, grazie ad un controllo efficiente delle malerbe (mediante l'uso di diserbanti nella stagione della crescita) e l'abbattimento di insetti nocivi.

I risultati ottenuti dalla rivoluzione verde (1950 - 2000) sono stati molto positivi se si valuta il rapporto popolazione/risorse alimentari:

- ☐ la produzione di cereali è triplicata, è infatti passata da 600 a 1.900 milioni di tonn,
- ☐ la popolazione mondiale, è raddoppiata, è infatti passata da 2,5 a più di 6 miliardi.
- ☐ la disponibilità calorica è passata da 2300 a 2750 pro capite.

4.2 I problemi

La rivoluzione verde non si è comunque rivelata esente da problematiche, prevalentemente di carattere ambientale

- **Perdita di biodiversità.** La diffusione degli ibridi della rivoluzione verde e le tecniche ad essa associate ha portato alla coltivazione di poche varietà di sementi. Alcuni raccolti hanno visto la riduzione del 90% delle varietà delle sementi. La dipendenza da uno o poche forme di sementi significa una aumentata fragilità della popolazione e una compromessa capacità di migliorare le sementi nel futuro, oltre ad una perdita non stimabile nel contributo ad una dieta varia. Inoltre le sementi della rivoluzione verde sono create per efficienza nella crescita e longevità (e a volte per l'apparenza), non per il valore nutritivo. Così molti ibridi hanno un valore nutritivo inferiore rispetto ai loro antenati. L'introduzione dei prodotti principali della rivoluzione verde nelle regioni che in precedenza avevano centinaia o migliaia di varietà di sementi, così come la sostituzione di varie fonti nutritive con una singola alternativa della rivoluzione verde, ha portato ad un'alimentazione povera come risultato di un passaggio da diete varie con molte fonti nutritive a diete basate su uno o pochi cereali. La perdita di biodiversità può essere considerata un male in sé in quanto alterazione dell'ambiente e della natura, indipendentemente dai danni di natura alimentare che essa può provocare sull'uomo.

Alla perdita di biodiversità corrisponde la concentrazione dei produttori e rivenditori di sementi: negli anni settanta i produttori di fitofarmaci negli USA erano 30, nei primi anni novanta una dozzina; contemporaneamente, le prime dieci società sementiere controllavano un quinto del mercato mondiale e nel 2000 il 32% (su circa 23 miliardi di dollari).

- **Dipendenza da combustibili fossili.** Mentre i prodotti agricoli aumentavano come risultato della rivoluzione verde, la quantità di energia richiesta dal processo di produzione (cioè l'energia che deve essere spesa per produrre un certo prodotto) è anch'essa cresciuta ad un ritmo più alto, così che il rapporto tra raccolto prodotto ed energia di input è andato via via diminuendo. Le tecniche della rivoluzione verde fanno pesante affidamento sui fertilizzanti e fitofarmaci chimici, alcuni dei quali devono essere prodotti a partire da combustibili fossili, rendendo l'agricoltura progressivamente basata sui prodotti del petrolio.

- **Inquinamento.** Il dilavamento di fertilizzanti e biocidi continua ad essere una rilevante fonte di inquinamento, e la maggior parte dell'inquinamento delle acque. Benché i principi attivi più persistenti, tossici e a volte cancerogeni della prima metà del secolo (come il 2,4,5-T e il DDT) siano stati pressoché eliminati dall'uso agricolo (anche se il DDT continua ad essere usato nelle nazioni del terzo mondo), i loro effetti non sono stati del tutto rimossi.

- **Degrado del suolo.** I critici sostengono che la rivoluzione verde distrugge la qualità del suolo su un lungo raggio. Questo è il risultato di una pluralità di fattori, inclusa la perdita per lisciviazione di alcuni componenti del suolo, l'accresciuta salinità del suolo derivante da una pesante concimazione minerale; che non permettono lo sviluppo adeguato dei microrganismi benefici del suolo e altri organismi; erosione del suolo; e perdita di importanti elementi residuali. Questo può condurre ad una dipendenza crescente dagli input (immissioni) chimici per compensare il deterioramento del suolo, un processo che in definitiva può fallire.

- **Effetti sociali** La rivoluzione verde ha introdotto grandi cambiamenti in un mondo dove la maggior parte delle persone dipende ancora dall'agricoltura per la sopravvivenza. Il risultato di molte di queste tecniche è stato l'incoraggiamento di un'agricoltura di vasta scala ai danni di piccoli contadini, che non erano capaci di competere con l'alta efficienza delle sementi

della rivoluzione verde. I risultati sono stati spostamenti di massa e urbanizzazione e povertà crescenti presso questi contadini, e la perdita della loro terra a vantaggio di grandi aziende agricole, che sono molto più abili nella gestione delle imprese notevoli legate all'effettiva applicazione delle tecniche della rivoluzione verde.

5 BIOTECNOLOGIA MODERNA: ORGANISMI GENETICAMENTE MODIFICATI

Da alcuni anni si stanno applicando anche in agricoltura nuove tecnologie, le dette biotecnologie moderne. Per **biotecnologia moderna** si intende l'applicazione in agricoltura delle recenti scoperte dell'ingegneria genetica, che fonde le conoscenze della biologia molecolare e della genetica, consentendo di identificare e isolare un gene appartenente al corredo cromosomico di un essere vivente e di trasferirlo artificialmente in quello di un altro, anche molto diverso.

Da qui deriva anche la definizione di **organismo geneticamente modificato** (OGM): organismo nel cui corredo cromosomico è stato introdotto un gene estraneo, prelevato da un altro organismo donatore appartenente a qualsiasi specie vivente, conferendogli un carattere che normalmente non ha. In genere, la maggior parte delle manipolazioni riguardano vegetali con fini alimentari, e i caratteri attribuiti sono diversi: si va dalla resistenza agli erbicidi e alle varie condizioni climatiche fino ad arrivare all'accelerazione della crescita, alla produzione endogena di insetticidi o, addirittura, al conferimento del carattere della sterilità, nel cui caso non vi è trasferimento del nuovo patrimonio genetico alle nuove generazioni.

Le discussioni in materia di OGM hanno fatto sì che si venissero a creare fronti contrapposti tra chi sostiene l'impiego delle biotecnologie (soprattutto nel settore agricolo) e chi, invece, è contrario.

In effetti, l'uso delle biotecnologie apre un ventaglio di importanti **opportunità**: innanzitutto, sarebbe possibile assicurare una maggiore produzione di cibo (necessaria per far fronte al previsto aumento della popolazione mondiale); in più, esiste la possibilità di ridurre l'impiego di sostanze chimiche in agricoltura e, grazie a piante in grado di assorbire metalli pesanti, anche quella di depurare l'ambiente; ancora, si potrebbero curare gravi malattie ereditarie attraverso la coltivazione di piante che producono direttamente sostanze farmaceutiche; infine, vi è la possibilità di addizionare gli alimenti con sostanze terapeutiche o con particolari caratteristiche nutrizionali.

In realtà, è anche vero che l'impiego delle biotecnologie può essere fonte di seri **problemi** di varia natura: in primo luogo, i semi geneticamente modificati e brevettati, in alcuni casi, sono resi sterili e non si possono usare se non per un anno, obbligando gli agricoltori a ricomprarli dalle multinazionali e inoltre, dato che le modificazioni sono brevettate, si crea dipendenza economica dalle multinazionali facendo aumentare il gap tra Nord e Sud del mondo; in secondo luogo, le modifiche apportate per accrescere la resistenza delle piante ad alcuni parassiti rendono questi ultimi più forti e difficili da combattere (possibilità di superinsetti); in terzo luogo, si rischia di compromettere la biodiversità restringendo le coltivazioni a poche varietà e, in più, gli effetti sull'uomo (tossicità) e sull'ambiente (pericoli di contaminazione) non sono ancora conosciuti e il rischio di danni irreversibili è enorme; ancora, l'utilizzo di antibiotici come marcatori nel processo di mutazione rischia di rendere questi ultimi inefficaci e non più utilizzabili in nessuna terapia e, inoltre, esiste l'eventualità di reazioni allergiche per chi non sa

di mangiare un alimento in cui sono stati inseriti geni di sostanze a cui è allergico (rischio di allergenicità); infine, esiste la possibilità che le multinazionali possano acquisire e brevettare la ricchezza costituita dal patrimonio genetico dei paesi economicamente più deboli (pirateria genetica). Ovviamente, a tutto ciò si potrebbero aggiungere diverse considerazioni di carattere prettamente morale ed etico sull'inammissibilità che l'uomo modifichi ciò che la natura ha costruito nel corso dei millenni.

Tra le **principali preoccupazioni** sull'impiego delle agrobiotecnologie vi sono quelle che riguardano l'aspetto ambientale, quelle che afferiscono alla salute del consumatore e quelle relative ai diritti dell'agricoltore, su cui è importanti soffermarsi ulteriormente.

Per quanto riguarda l'**ambiente**, sono due i principali pericoli. Innanzitutto, esiste il problema del flusso non controllato dei geni modificati, dovuto essenzialmente alla difficoltà di verificare il loro trasferimento sia da una generazione all'altra di una stessa varietà vegetale, sia da una coltivazione GM a una biologica o convenzionale. Nel primo caso, sorge un ulteriore rischio: se un determinato carattere, ad esempio la produzione endogena di un insetticida, permane nelle generazioni successive, si potrebbero generare nel tempo dei "superinsetti" resistenti, per cui la pianta GM diventerebbe nuovamente vulnerabile.

Il secondo problema riguarda l'erosione della biodiversità, ovvero della diversità biologica, che indica il numero, la varietà e la variabilità degli organismi viventi all'interno di una specie, tra specie differenti e tra habitat: ciò significa che l'introduzione di OGM in agricoltura potrebbe avere come conseguenza evolutiva la generazione di specie infestanti tolleranti agli erbicidi, di varietà vegetali più tossiche anche per insetti non dannosi, di – come già detto – superinsetti resistenti, di prevalenza di piante con caratteri GM e, appunto, di riduzione della varietà delle specie.

Anche relativamente all'aspetto della **salubrità** del consumatore le preoccupazioni principali sono due: la tossicità e l'allergenicità. Per quanto concerne il primo problema, questo può derivare dalle tossine liberate dalle piante resistenti agli insetti o agli erbicidi: la resistenza a un diserbante può essere ottenuto inserendo nel DNA (l'acido deossiribonucleico) delle piante un gene di origine batterica in grado di rendere innocue le molecole dell'erbicida. Il rischio insito in un tale tipo di operazione è di avere piante con un maggiore quantitativo di erbicida rispetto a quanto si verifica normalmente e, di conseguenza, una quantità superiore di agenti chimici nel prodotto finale destinato al consumatore. Il problema dell'allergenicità, invece, può derivare dal trasferimento di materiale genetico proveniente da organismi non conosciuti nel loro impiego alimentare. Ciò si verifica in quanto, nelle comuni procedure, vengono utilizzati geni resistenti ad antibiotici (i marcatori) per effettuare verifiche sul risultato della trasformazione: il rischio plausibile è dato dal fatto che il consumatore potrebbe ingerire il nuovo DNA incorrendo, in tal modo, nel pericolo di danneggiare non il DNA umano, bensì i batteri normalmente presenti nell'apparato digerente.

L'ultima delle preoccupazioni precedentemente citate riguarda il fatto che l'evoluzione delle biotecnologie in agricoltura ha generato la **dipendenza degli agricoltori** da un numero sempre più limitato di grandi imprese: un esempio sintomatico è quello delle sementi. La possibilità di brevettare nuove varietà vegetali ha come grave conseguenza principale l'impedimento a ripiantare le sementi GM conservate dal raccolto del precedente anno.

Le grandi multinazionali agrochimiche (tra cui Syngenta, Bayer, Monsanto, Basf) non ritenendo pienamente soddisfacente il tipo di protezione conferito tramite il brevetto, vendono le

proprie sementi GM sulla base di contratti estremamente rigidi che, in genere, prevedono il pagamento di una tassa tecnologica calcolata per unità di superficie, il non riutilizzo delle sementi protette, l'impiego dell'erbicida dell'azienda e l'accesso senza condizioni ai campi a fini di verifiche e controlli. Il mancato rispetto di una di queste clausole comporta l'automatico ricorso a forti azioni di tipo legale. Inoltre, né le imprese né le istituzioni tengono in debito conto le esternalità negative che ricadono sia sugli agricoltori che impiegano materiale GM sia su quelli che fanno la scelta opposta: il problema dell'impossibilità di tornare a una fase precedente l'adozione (contaminazione), i costi della non adozione (soprattutto per proteggere prodotti biologici o certificati), l'assenza di una sorta di compensazione per danni eventualmente subiti. Tale discorso assume un rilievo ancora maggiore se si tiene conto che tra le principali coltivazioni GM ve ne sono alcune tra le più rilevanti al mondo, quali soia e mais, e che gli Stati Uniti rappresentano il primo produttore biotech al mondo.

6 L'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Agricoltura di precisione in Italia: un'opportunità di aggiornamento delle agrotecniche, di sviluppo professionale e di efficienza del settore

Carlo Bisaglia^a

^a CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di Ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari

Agriregionieuropa anno 14 n°53, Giu 2018

Abstract

L'agricoltura di precisione (AdP) - e la sua più recente evoluzione che la definisce agricoltura digitale (AD) - rappresenta una modalità di gestione dei processi produttivi primari (agricoli, zootecnici e forestali) che non tiene conto solo dell'esperienza professionale accumulata dall'agricoltore (o allevatore o forestale), ma che integra gli elementi esperienziali con informazioni provenienti da molte altre fonti. L'obiettivo è di gestire la variabilità (spaziale, temporale e qualitativa) che è presente in tutte le realtà produttive primarie, ma che, fino all'avvento dell'AdP, era difficile se non impossibile gestire opportunamente. L'AdP introduce tecnologie in grado di raccogliere informazioni, analizzarle opportunamente, prendere decisioni conseguenti e attuarle efficacemente per mezzo di strumenti in grado di avvantaggiarsi dell'integrazione di molte discipline. Nel presente articolo sono prese in rassegna le principali tecnologie disponibili, i settori di applicazione, le criticità e i possibili sviluppi futuri.

Introduzione

L'agricoltura è interessata, attualmente, da cambiamenti così radicali e profondi che potrebbero richiederle altrettanto radicali e profondi adattamenti. I fenomeni cui si fa riferimento sono, in estrema sintesi, di ordine i) **climatico**; ii) **demografico** e iii) **tecnologico**.

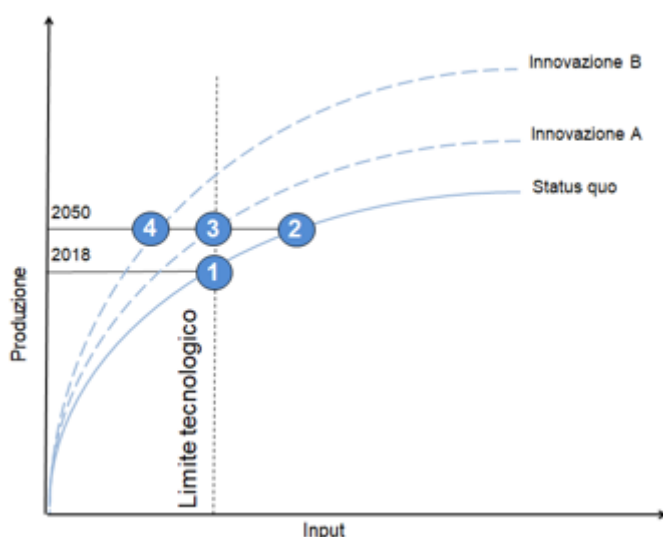
I **mutamenti climatici** stanno già suscitando allarmi per l'agricoltura; molti studi tra i quali quelli di Rosenzweig (2011) e Wiebe *et al.* (2015) evidenziano rischi per la fertilità dei suoli, registrano l'espansione dei fenomeni di desertificazione (che interesserebbero già oggi circa il 30% dei terreni dell'Europa meridionale) e segnalano la crescita di eventi meteorologici estremi (uragani, inondazioni), la diffusione di parassiti e infestanti e imprevedibili variazioni produttive delle principali colture in seguito ai cambiamenti di temperatura, umidità, luminosità e concentrazione di CO₂.

Anche i **cambiamenti demografici** destano preoccupazioni in quanto si stima che nel 2050 ci saranno circa nove miliardi di persone da sfamare. Ma non è solo il numero di abitanti del pianeta a preoccupare, anche le loro scelte alimentari avranno ripercussioni sull'assetto

dell'agricoltura nei prossimi anni (Balboni, 2017): cosa vorranno mangiare, infatti, queste persone? Già oggi si stanno registrando incrementi costanti nei consumi mondiali di carne suina e avicola con le relative conseguenze sulla necessità di superfici agrarie per la produzione degli alimenti zootecnici e sull'impatto ambientale degli allevamenti stessi.

Infine, ma non da ultimo, può destare preoccupazione **l'aspetto tecnologico**: l'estrema semplificazione degli ecosistemi agrari e le agrotecniche messe a punto negli anni '60 all'epoca della "rivoluzione verde" tese a massimizzare la produzione sembrano, infatti, non soddisfare più le esigenze attuali che, invece, richiedono di massimizzare l'efficienza e la circolarità dei processi produttivi. Alcuni indicatori possono aiutarci a comprendere quest'ultimo aspetto: il più evidente, a giudizio di chi scrive, è la stagnazione da più di un decennio degli incrementi di resa delle principali colture nel mondo (riso, frumento e mais). Questo fenomeno, definito dalla [Fao](#) "*flattening*", cioè appiattimento, mostra come le rese produttive, cioè le produzioni all'ettaro, cresciute costantemente dagli anni '60 siano, invece, rimaste pressoché costanti dalla metà degli anni '90. In altre parole, le agrotecniche usate oggi non sembrano più adeguate alle nuove varietà, con un potenziale produttivo molto alto, in quanto non riescono a essere efficaci per alcuni limiti tecnologici importanti soprattutto nella concimazione e nell'irrigazione (Mueller *et al.*, 2012). Dal punto di vista tecnologico, quindi, ci troviamo nella situazione rappresentata in figura 1, dove la produzione agricola odierna (punto 1 in figura) si ottiene con un determinato quantitativo di risorse (o *input*), ma con tecnologie ormai mature.

Figura 1 – Relazione tra risorse (*input*) e produzione agricola in tre scenari di sviluppo tecnologico



Fonte: Wegener et al., 2017

Per soddisfare le esigenze agricole del 2050, se nulla cambierà nelle agrotecniche attuali (*Status quo*, punto 2 in figura), si dovrà mettere a coltura altra terra, usare più concime, acqua e, in generale, utilizzare più *input* (sempre che ciò sia possibile e sostenibile). Se fossimo capaci di sviluppare innovazioni in grado di ottenere la produzione agricola necessaria nel 2050 con le stesse risorse utilizzate oggi (Innovazione A, punto 3 in figura) avremmo già ottenuto un risultato tranquillizzante almeno nel medio periodo. Ma se fossimo in grado di sviluppare un'innovazione in grado di ottenere le produzioni necessarie con meno risorse (Innovazione B, punto 4 in figura) avremmo ottenuto un cambiamento strutturale di enorme portata per le generazioni future. Ma "**produrre di più con meno**" è proprio il motto dell'**Agricoltura di Precisione** ([AdP](#)) che si pone, allo stato attuale, come un'importantissima opzione alle agrotecniche convenzionali.

L'AdP rappresenta una modalità di gestione dei processi produttivi (agricoli, zootecnici, forestali) che non tiene conto solo dell'esperienza professionale accumulata dall'operatore, ma che integra gli elementi esperienziali con ulteriori informazioni provenienti da molte altre fonti con l'obiettivo di gestire – e, in alcuni casi, anticipare – la variabilità (spaziale, temporale e qualitativa) che si osserva in tutte le realtà produttive primarie, ma che, fino all'avvento dell'AdP, era difficile se non impossibile gestire efficacemente.

L'AdP, invece, utilizza e introduce tecnologie in grado di raccogliere informazioni, analizzarle opportunamente, prendere delle decisioni conseguenti e attuarle efficacemente per mezzo di strumenti in grado di avvantaggiarsi dell'integrazione di molte discipline (agronomiche, meteorologiche, informatiche, meccatroniche solo per citarne alcune).

L'AdP consente inoltre di realizzare strategie di fondamentale importanza allo stato attuale che consentono di anticipare eventuali problemi (sanitari, irrigui, nutrizionali, ecc.) grazie ad una fitta rete di sensori che monitorano costantemente lo stato fisiologico delle colture o degli animali allevati fornendo allarmi precoci che riducono drasticamente le necessità di interventi curativi con le conseguenti ripercussioni sull'utilizzo di *input*, sul benessere animale, sulla sostenibilità della produzione.

Tuttavia, nonostante i risultati di numerose ricerche abbiano individuato ampi recuperi di efficienza in molte applicazioni agricole (ad esempio nell'esecuzione delle lavorazioni del terreno, nella concimazione, nei trattamenti fitosanitari), essa risulta ancora poco presente, anche se con un'elevata variabilità tra i diversi Paesi, dove l'Italia figura tra quelli con i più bassi livelli di diffusione. Oltre alle numerose opportunità, non vanno tuttavia trascurati i possibili rischi (ad esempio di tipo informatico) e il grado di accettabilità da parte del settore (Dlg *position paper*, 2018). Vedremo in quest'articolo di analizzare tale situazione.

Le tecnologie disponibili per l'agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione è nata negli Stati Uniti agli inizi degli anni '90 mutuando parte delle attrezzature (in particolare la guida semi-automatica) dal settore della cantieristica delle grandi opere stradali ricevendo, fin da subito, un'accoglienza molto calorosa in particolare da parte dell'industria costruttrice. Tale entusiasmo si è rapidamente raffreddato dopo le prime difficoltà applicative legate non solo allo stadio dello sviluppo tecnologico, ma anche alle difficoltà da parte del mondo operativo ad applicare tecnologie non tutte “chiavi in mano” e per le quali era necessario acquisire e possedere ulteriori conoscenze oltre a quelle “agricole”. In seguito, lo sviluppo tecnologico, la diffusione della digitalizzazione in tutti i settori produttivi e il ricambio generazionale, hanno ridestato interesse per l'AdP che, a partire indicativamente dal 2010, ha iniziato, seppur gradualmente, a diffondersi nelle aziende agricole maggiormente vocate e presso i contoterzisti e a svilupparsi verso una forma più evoluta definita agricoltura digitale (AD); quest'ultima introduce le azioni di gestione dei dati generati dal sistema fino alla creazione di processi previsionali, tuttavia, per semplicità, in questa nota continueremo a usare il termine agricoltura di precisione.

Attualmente, l'AdP si basa su quattro pilastri tecnologici principali:

- un sistema di posizionamento geografico basato su costellazioni di satelliti (come l'americano Navstar Gps, il russo Glonass, l'europeo Galileo Gsmn e il cinese BeiDou-Compass);
- un sistema d'informazione geografica ([Gis](#));
- moltissime applicazioni (sensori - remoti e prossimali - attuatori per il dosaggio variabile, il controllo delle sezioni, sistemi di guida, sistemi di visione artificiale, sistemi per la [valutazione](#) della qualità dei prodotti, ecc.);
- sistemi per la connettività e l'interoperabilità (internet, banda ultra larga, LowRaWAN®, protocolli di comunicazione, IoT, ecc.).

Il sistema di posizionamento geografico serve, principalmente, per due grandi gruppi di operazioni: la navigazione delle macchine (Figura 2) e la gestione sito-specifica delle lavorazioni. La navigazione assume aspetti fondamentali nelle aziende di grandi dimensioni, dove il parallelismo dei passaggi contigui e l'assenza di sovrapposizioni consente notevoli efficienze operative, ma studi recenti dimostrano come anche nelle aziende di piccole dimensioni, dove le superfici sono spesso irregolari, la navigazione satellitare consente di attuare le migliori strategie di percorso evitando sovrapposizioni, transiti inutili e limitando il compattamento.

Figura 2 – Il sistema di posizionamento geografico non solo serve a mantenere paralleli i passaggi contigui e ad evitare sovrapposizioni, ma anche a garantire l'allineamento fra trattore e operatrice come nell'esempio in figura dove la deriva causata dalla pendenza del suolo viene automaticamente rilevata dai sistemi di posizionamento del trattore e dell'operatrice in comunicazione tra di loro e istantaneamente corretta dal sistema di guida



Fonte: *Drummond & Etheridge, 2017*

La gestione sito-specifica dei trattamenti è un'ulteriore (e molto vasta) applicazione dei sistemi di posizionamento satellitare che consente di trattare in modo specifico le aree di un appezzamento caratterizzate da ampia variabilità. Ad esempio, in un appezzamento dove le caratteristiche di fertilità del suolo abbiano dimostrato un'elevata variabilità, la distribuzione di fertilizzante non sarà eseguita in modo uniforme su tutto l'appezzamento, ma variando la dose secondo le esigenze. In questo caso la macchina spandiconcime riceverà le istruzioni geografiche (mappa di prescrizione) secondo le quali (Figura 3) far variare le dosi da distribuire grazie ad attuatori specificatamente progettati per distribuire dosi a rateo variabile (Vrt). Per attuare tale strategia i sistemi di informazione geografica ([Gis](#)) sono di primaria importanza.

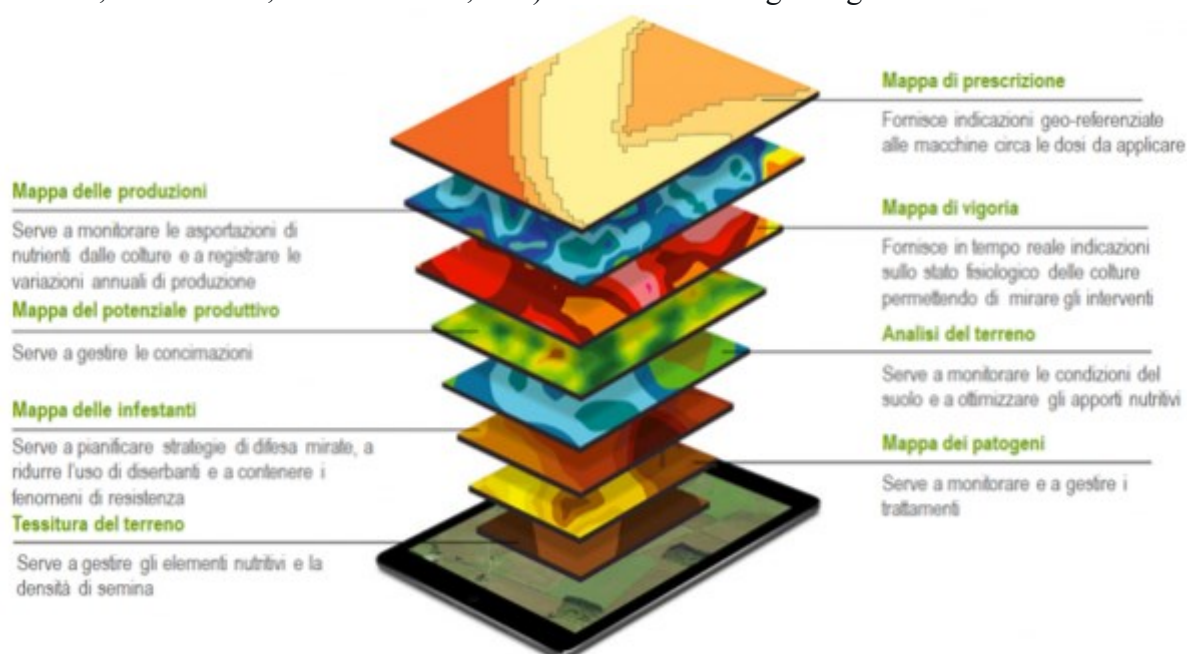
Figura 3 – Esempio di interfaccia uomo-macchina ottenuta, in questo caso, tramite un'app per *smartphone*. Il sistema monitora il lavoro dello spandiconcime che, muovendosi lungo l'appezzamento caratterizzato da diversi livelli di fertilità (aree colorate), distribuisce dosi variabili di fertilizzante evitando, quindi, sovra o sotto dosaggi



Fonte: Marshall Multispread, 2018

I sistemi d'informazione geografica ([Gis](#)) servono a fornire mappe aziendali geo-referenziate. Semplificando molto, possiamo dire che essi sostituiscono le mappe cartacee presenti in ogni azienda e possono riportare una quantità notevolissima di informazioni “stratificabili” tra di loro (Figura 4), interconnesse e storicizzabili in modo da rappresentare un archivio di indicazioni utili per la gestione aziendale in corso e per quelle future.

Figura 4 – Un sistema cartografico [GIS](#) consente di connettere informazioni aziendali “stratificate” che aiutano a comprendere i fenomeni che stanno alla base della variabilità (produttiva, fitosanitaria, fisico-chimica, ecc.) e a cercare strategie migliorative



Fonte: Omnia Precision Agronomy, 2018, modificata

Le applicazioni per l'AdP sono, oggi uno dei settori tecnologici più diversificati e in espansione. Per tentare di fornire una prima classificazione di tali applicazioni, il [Parlamento Europeo](#) (2014) ha pubblicato uno studio (consultabile sul sito riportato in bibliografia) che riporta un repertorio di tecnologie e applicazioni presenti nei Paesi Europei, il loro grado di sviluppo (sperimentale o commerciale) e le principali criticità. Un altro studio compiuto negli

Stati Uniti (Miller *et al.*, 2017) riporta un'indagine svolta a livello aziendale dove sono evidenziate le principali applicazioni già in uso, la loro diffusione e le principali criticità. Infine, anche l'Agenzia Europea per i Sistemi Satellitari di Navigazione Globale (Gsa, 2017) riporta i dati di mercato dei principali sistemi commerciali per l'AdP.

Da tali lavori, pur con le debite precauzioni data la velocità con cui il settore evolve, possiamo elencare le principali applicazioni per l'AdP oggi diffuse nel settore delle colture erbacee di pieno campo: i) la guida semi-automatica, ii) le applicazioni a rateo variabile (concimazione, trattamenti, semina), iii) la mappatura delle produzioni, iv) il controllo delle sezioni e v) il campionamento del terreno.

Infine, l'ultimo pilastro tecnologico dell'AdP riguarda i sistemi per la connettività e l'interoperabilità in quanto vi è la necessità non solo di acquisire dati, ma anche (soprattutto) di gestirli. Quest'aspetto riguarda sia le macchine (che devono essere in grado di ricevere, inviare, generare, processare e scambiarsi dati attraverso protocolli comuni) sia l'azienda (che deve scambiare dati con le macchine, i partner tecnici e commerciali, ecc.). Questo rende necessaria la diffusione del segnale GSM e la presenza di banda ultra larga (Bul) anche nelle zone rurali. Dove ciò non è ancora avvenuto (come ad esempio nelle zone agricole più vaste dell'Australia e del Canada, dove è evidente l'handicap di competitività con le aree coperte da segnale) si sono già registrate iniziative individuali di singoli agricoltori che, in attesa che internet arrivi anche nei luoghi più isolati, si sono organizzati con ponti radio wi-fi, posa autonoma (e a proprie spese) di fibra ottica o utilizzo di connessioni satellitari, anche se molto costose, pur di poter aver accesso alle informazioni.

Settori di applicazione per le colture erbacee di pieno campo

La guida semi-automatica

Quest'applicazione cresce annualmente dell'1% sui trattori nuovi e del 7-8% sui trattori usati rappresentando, probabilmente, la principale tecnologia per l'AdP definibile "chiavi in mano" in quanto non richiede particolari conoscenze supplementari per il suo corretto utilizzo. Un sistema di assistenza alla guida aiuta a eseguire passate contigue evitando sovrapposizioni (la cui entità può superare il 15% della superficie lavorata) o salti tra due passaggi consecutivi. Inoltre, consente l'applicazione di agrotecniche maggiormente sostenibili come lo *strip-till* (Figura 5).

Figura 5 – Agrotecniche maggiormente sostenibili come lo *strip-till* sono possibili grazie ai sistemi di guida satellitari



Fonte: *Farm Management*, 2018

Altri vantaggi sono legati alla maggior tempestività nell'esecuzione delle lavorazioni, alla maggior qualità del lavoro svolto (anche con personale meno esperto) e ad un minor affaticamento dell'operatore che deve concentrarsi meno sul mantenimento della traiettoria potendo dedicarsi al controllo della qualità della lavorazione.

L'evoluzione dei sistemi di guida sta ovviamente guardando anche alle possibilità di guida autonoma (Figura 6) che, unitamente al controllo della trasmissione, potrebbero consentire di ridurre le necessità di manodopera oppure di eseguire lavorazioni di elevata durata giornaliera ruotando il personale a disposizione.

Figura 6 – Sistema sperimentale di guida autonoma in modalità “*follow me*” per l'esecuzione contemporanea di più lavorazioni con un solo operatore



Fonte: ZF, 2018

Le applicazioni a rateo variabile

Tali applicazioni riguardano diverse lavorazioni come la concimazione, i trattamenti e la semina. Possono essere eseguite sulla base di mappe di prescrizione oppure mediante il controllo diretto dell'operatrice grazie a sensori a bordo macchina (Figura 7). Nel caso rappresentato in figura, i sensori rilevano la colorazione della coltura che è correlata al contenuto di clorofilla che, a sua volta, è correlato alla disponibilità di azoto nel terreno fornendo indicazioni istantanee allo spandiconcime su quale dose applicare con tempi di reazione della macchina di pochi secondi.

Figura 7 – Spandiconcime a rateo variabile a controllo diretto mediante sensori di vigoria montati frontalmente al trattore



Fonte: Agenzia europea per i sistemi satellitari di navigazione globale, 2018

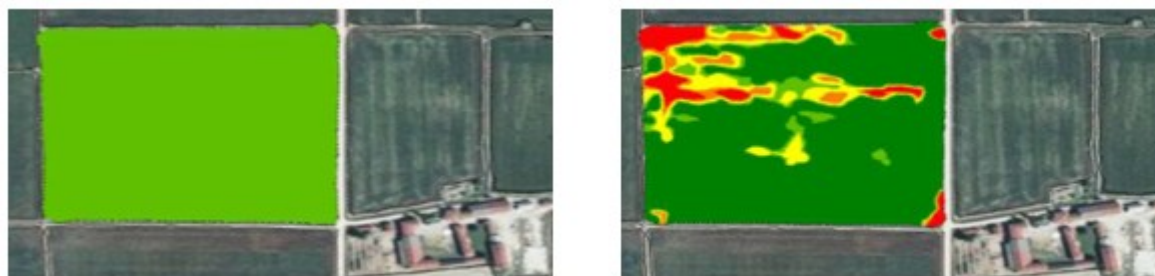
Sono applicazioni la cui diffusione è in crescita soprattutto nelle aziende di grandi dimensioni (riso) e che consentono grandi efficienze nell'utilizzo degli input (riduzione del 16% di fertilizzanti, riduzione fino al 60% di diserbanti, riduzione del 10% di sementi). Per quanto riguarda la semina a rateo variabile, essa può essere attuata in funzione delle caratteristiche dei terreni (più seme in aree omogenee dove il terreno è più fertile, meno seme nelle aree più sciolte) oppure in base alla presenza di infestanti dove la maggior densità adottata nelle aree più colpite può svolgere anche una funzione di controllo; è in fase di studio la variazione della densità di semina in funzione delle caratteristiche varietali e ambientali oppure nel caso di consociazioni di specie diverse.

La mappatura delle produzioni

Le produzioni agricole presentano ampie variabilità dovute a molteplici fattori (caratteristiche del suolo, giacitura e pendenza, patogeni, ecc.). Conoscere tale variabilità

permette di individuare strategie idonee per capire come ottimizzare le tecniche produttive. Una possibilità concreta è oggi offerta dai sistemi di mappatura delle produzioni che per mezzo di sensori e grazie alla localizzazione satellitare, riescono a fornire delle mappe sufficientemente precise della variabilità produttiva. Le aree più produttive sono anche quelle che hanno determinato maggiori asportazioni di nutrienti dal suolo e questo potrà servire a gestire i piani di concimazione successivi (Figura 8).

Figura 8 – Mappatura della produzione di riso: a sinistra la produzione media, a destra la produzione reale



Fonte: Spektra Agri, 2016

Recentemente, l'introduzione di sensori idonei a rilevare la qualità dei prodotti (sensori Nir, rifrattometri, ecc.) consentono di mappare le principali caratteristiche merceologiche del raccolto consentendo non solo di conoscere la variabilità all'interno della propria azienda - con lo scopo di gestirla al meglio attuando decisioni conseguenti - ma, in molti casi, anche di gestire separatamente la raccolta secondo lotti di prodotto omogenei (ad esempio per il tenore proteico del frumento) con la possibilità di indirizzarli ad impieghi differenziati per qualità e, quindi, anche per prezzo.

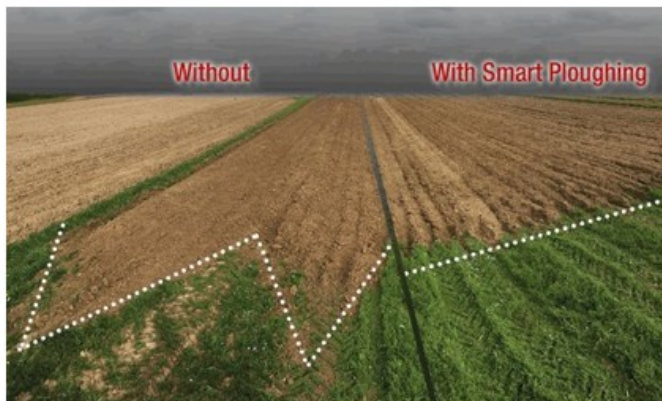
L'utilizzo dei droni

Merita un cenno il riferimento alla possibilità di utilizzare i droni nelle colture erbacee di pieno campo in quanto hanno dimostrato di poter aver un ruolo specifico in almeno tre settori applicativi: i) lo *scouting* colturale o l'esplorazione di aree difficilmente accessibili, ii) la mappatura di fenomeni al suolo agendo da piattaforma per il supporto di sensori che possono integrare quelli satellitari o prossimali (ad es.: sensori di vigore, termici, macchine fotografiche, ecc.) oppure iii) l'esecuzione di veri e propri interventi colturali (ad es.: la distribuzione di fitofarmaci – ove consentito – la distribuzione di concimi, la distribuzione di antagonisti nella lotta biologica o integrata, trasporto, ecc.). Per tali finalità si stanno formando numerosi professionisti e consolidando metodologie affidabili grazie alle quali potranno essere forniti servizi ad alto [valore aggiunto](#), ma a costi competitivi, soprattutto come supporto alle decisioni colturali o come allarmi precoci.

Il controllo delle sezioni

Le operatrici agricole attuali sono sempre più larghe per massimizzare le capacità di lavoro secondo le indicazioni delle agrotecniche convenzionali. In questo modo, tuttavia, non si tiene conto della variabilità presente nelle colture, rischiando di eseguire sovra o sotto applicazioni con conseguenti inefficienze o sprechi di prodotto. Il controllo delle singole sezioni di lavoro, siano esse segmenti di barra da diserbo, singoli assolcatori della seminatrice, singolo vomere di un aratro polivomere (Figura 9), permette invece di eseguire lavorazioni calibrate con riduzioni degli sprechi e recupero di efficienza.

Figura 9 – Effetto del controllo delle sezioni applicato ad un aratro polivomere (a destra) nei confronti di aratro convenzionale (a sinistra). Le testate dell'appezzamento sono lavorate in modo più regolare senza doppie lavorazioni

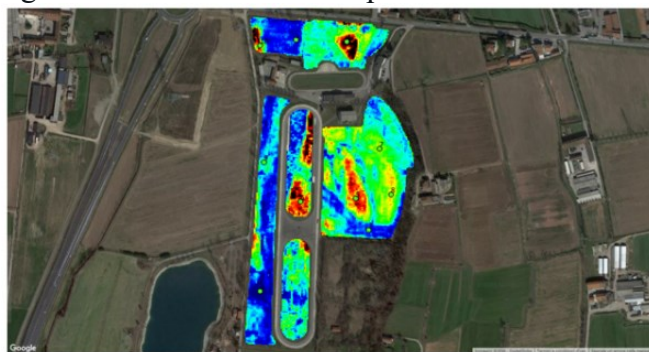


Fonte: Kuhn, 2018

Il campionamento del terreno

La conoscenza delle caratteristiche fisico-chimiche del terreno è la principale azione da compiere prima di intraprendere qualsiasi azione di [AdP](#). Oggi sono presenti alcune tecnologie (Figura 10) in grado di determinare rapidamente e a costi contenuti le caratteristiche fisiche del terreno tramite la conoscenza istantanea delle sue caratteristiche di conducibilità o di resistività elettrica (Cillis *et al.*, 2017). Il comportamento elettrico del terreno è legato principalmente al contenuto in sabbia, argilla e limo, ma fornisce indicazioni preziose sui punti da campionare per prelevare campioni specifici di terreno da inviare al laboratorio per le successive analisi chimico-nutrizionali al fine di giungere ad una conoscenza più puntuale e georeferita (attraverso analisi geostatistiche) della variabilità presente nei terreni aziendali.

Figura 10 – Mappa geoelettrica dell'azienda sperimentale del Crea-Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Sede di Treviglio. Si notano le differenze di conducibilità dovute alle diverse composizioni fisiche del suolo e i dieci punti di prelievo (in verde) che è stato possibile isolare. Sono stati eseguiti successivi esami di laboratorio per conoscere anche l'assetto chimico-fisico del suolo al fine di individuare zone aziendali omogenee da trattare in modo specifico



Fonte: Bisaglia et al., Crea-Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Sede di Treviglio (BG), 2017

Ulteriore frontiera della ricerca applicata e industriale in questo settore potrà essere volta a ottenere correlazioni dirette tra il comportamento elettrico dei terreni e le relative caratteristiche fisico-chimiche in modo da poter facilitare il [monitoraggio](#) periodico dei suoli con costi e tempistiche contenuti. Ovviamente, date le esigenze strumentali e di elaborazione dei dati,

quest'attività potrebbe essere di maggior interesse per i professionisti (agronomi, agrotecnici) che potrebbero trovare nuovi, importanti sbocchi professionali.

Considerazioni conclusive

L'agricoltura di precisione – anche se dovremmo ormai parlare di agricoltura digitale - sta diffondendosi in tutti gli aspetti della produzione agricola. Per le colture erbacee di pieno campo sono già presenti numerose applicazioni che hanno dimostrato di poter ridurre l'utilizzo degli input produttivi con contrazioni (globali) fino al 30-40% rispetto alle tecniche convenzionali.

Oltre a ciò, l'AdP può fornire soluzioni su misura per quasi ogni ambiente produttivo, contribuendo a creare valore e a rinnovare il ruolo dell'agricoltore come elemento indispensabile della società e a essa sempre più strettamente interconnesso non solo come fornitore di servizi (cibo, energia, materie prime, ambiente, paesaggio), ma anche come utilizzatore di nuovi servizi professionali (mappe satellitari, dati meteo, supporti previsionali, consulenze informatiche, tracciabilità).

Ovviamente, le interconnessioni e le modalità di sviluppo decentralizzate dell'AdP possono portare anche a criticità e a rischi. Le prime possono riguardare la difficoltà che l'imprenditore agricolo può avere nell'acquisire le competenze necessarie per l'adozione delle nuove tecnologie; un altro elemento di discussione riguarda la proprietà dei dati, che scaturiscono da tali applicazioni, e che dovrebbero rimanere dell'azienda agricola che li ha prodotti. I rischi possono, invece, essere legati alla sicurezza informatica dei dati oppure a un'eventuale interruzione dei servizi digitali che obbligherebbe a un ritorno, seppur temporaneo, alle tecniche convenzionali. Tutto ciò pone l'agricoltura in una nuova ottica e rivitalizza il settore con opportunità importanti e del tutto inedite.

Riferimenti bibliografici

- Balboni M. (2017), *Il pianeta mangiato*. Dissensi Edizioni
- Bisaglia C., Brambilla M., Romano E., Toscano G., Cutini M. (2017). *From conventional to precision farming: a case study on the management of the transition*. Poster presented at the 11th European Conference on Precision Agriculture (Ecpa 2017), John McIntyre Centre, Edinburgh, UK.
- Cillis D., Pezzuolo A., Marinello F., Sartori L. (2017), *Field-scale electrical resistivity profiling mapping for delineating soil condition in a nitrate vulnerable zone*, Applied Soil Ecology
- Dlg (2018), *Digital agriculture. Opportunities. Risks. Acceptance*, Frankfurt am Main, Germany
- Miller N., Griffin T., Bertgold J., Sharda A., Ciampitti I. (2017), *Adoption of precision agriculture technology bundles on Kansas farms*, in: Proceedings of Southern Agricultural Economics Association (Saea) Annual Meeting, Mobile, Alabama, February 4-7
- Mueller N., Gerber J.S., Johnston M., Ray D.K., Ramankutty N., Foley J.A. (2012), *Closing yield gaps through nutrient and water management*, Nature 490, p. 254-257
- Rosenzweig C. (2011), *Climate Change and Agriculture*, In: Meyers R. (Editore) Extreme Environmental Events. Springer, New York, NY
- Wegener J.K., Urso L.M., von Hörsten D., Minssen T.F., Gaus C.C. (2017), *Developing new cropping system – which innovative techniques are required?* Landtechnik 72(2), p. 91-100
- Wiebe K., Lotze-Campen H., Sands R., Tabeau A., van der Mensbrugghe D., Biewald A., Bodirsky B., Islam S., Kavallari A., Mason-D'Croz D., Müller C., Popp A., Robertson R., Robinson S., van Meijl H., Willenbockel D. (2015), *Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios*, Environ. Res. Lett. 10