

## **Agricoltura di Precisione e Industria 4.0: possibili integrazioni e sviluppi tecnologici**

Autori:

Leonello Trivelli, Dipartimento di Economia e Management, Università di Pisa

Filippo Chiarello, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni,  
Università di Pisa

Andrea Apicella, Dipartimento di Economia e Management, Università di Pisa

Gualtiero Fantoni, Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Università di Pisa

Angela Tarabella, Dipartimento di Economia e Management, Università di Pisa

### **Abstract**

Il settore agricolo sta vivendo negli ultimi anni un grande processo di cambiamento per far fronte a una serie di circostanze che hanno su di esso un impatto non trascurabile sia a livello di sostenibilità ambientale, correlata all'incremento della popolazione e la diminuzione delle superfici coltivabili, sia a livello di domanda di mercato dei prodotti agricoli con consumatori sono sempre più esigenti ed informati sulle tecniche di coltivazione e allevamento.

Si rendono sempre più necessari innovazioni tecnologiche in grado di fronteggiare queste criticità e l'Agricoltura di Precisione ne è l'esempio più eclatante. Infatti, se l'Industria 4.0 è considerata come la *quarta rivoluzione industriale*, l'Agricoltura di Precisione rappresenta di fatto la rivoluzione agricola del XXI Secolo.

Sebbene le fondamenta di queste due rivoluzioni appaiono basate su concetti distanti tra loro, è possibile individuare delle affinità riguardo agli effetti che queste determinano sui processi aziendali sullo sviluppo delle innovazioni e delle applicazioni tecnologiche.

Partendo da questa riflessione, il presente lavoro cerca di comprendere quanto i due domini di Industria 4.0 e Agricoltura di Precisione siano collegati tra loro analizzando le tecnologie più utilizzate in questi ambiti ed evidenziando modelli e pattern comuni che siano in grado di rappresentare le sovrapposizioni tra i due settori di attività.

L'intersezione tra le tecnologie di Industria 4.0 e l'Agricoltura di Precisione costituisce un riferimento importante per individuare le tecnologie più diffuse e maggiormente redditizie per il settore agricolo nonché utili per il miglioramento qualitativo e quantitativo dei prodotti agricoli.

### **Introduzione**

L'Agricoltura di Precisione (detta anche Precision Agriculture o Precision Farming) si sviluppa a partire dalla fine del XX secolo con lo scopo di favorire una gestione agricola che, basata principalmente sulle tecnologie digitali, permette di migliorare i processi di produzione e aumentarne la redditività, minimizzando i danni ambientali e preservando gli standard qualitativi dei prodotti agricoli. Sono proprio le tecnologie digitali ad aprire le porte alla possibilità di rendere *precisi* i processi di produzione agricola tenendo in considerazione le effettive esigenze colturali e le caratteristiche biochimiche e fisiche del suolo.

Esistono diverse definizioni del concetto di Agricoltura di Precisione. Una descrizione particolarmente efficace è fornita da Pierce e Nowak (1999) i quali definiscono il concetto come *“l'applicazione di tecnologie e principi per la gestione della variabilità dello spazio e del tempo associabili agli aspetti legati alla produzione agricola con l'obiettivo di migliorare le performance in termini di raccolto e di qualità ambientale.”*

Nel tempo si sono succedute varie definizioni che hanno via via consentito di ampliare gli ambiti di applicazione delle fondamenta dell'Agricoltura di Precisione fino ad intercettare, tra gli altri, i processi di *decision making* ed i concetti della sostenibilità economica ed ambientale.

In Tabella 1 sono riportate le principali definizioni sulla base di una accurata selezione della letteratura esistente. Le origini dell'agricoltura di precisione risalgono agli anni 90 anche se, superato l'entusiasmo iniziale, le applicazioni pratiche risultano ad oggi abbastanza limitate e caratterizzate da un percorso di sviluppo irregolare sia dal punto di vista geografico che temporale (Swinton et al., 2001).

Tabella 1. Review della letteratura, definizioni e tecnologie dell'Agricoltura di Precisione

<b><u>AUTORE</u></b>	<b><u>DEFINIZIONE</u></b>	<b><u>TITOLO E JOURNAL</u></b>	<b><u>ANNO</u></b>	<b><u>COMPONENTI</u></b>
F.J.Pierce, P. Nowak	Precision agriculture is the application of technologies and principles to manage spatial and temporal variability associated with all aspects of agricultural production for the purpose of improving crop performance and environmental quality. Precision agriculture is technology enabled.	Aspects of Precision Agriculture- Advances in Agronomy vol. 67, pp. 1-85	1999	Tecnologie Benefici generati
H. Kirchmann, G. Thorvaldsson	Precision agriculture is a discipline that aims to increase efficiency in the management of agriculture. It is the development of new technologies, modification of old ones and integration of monitoring and computing at farm level to achieve a particular goal.	Challenging targets for future agriculture - European Journal of Agronomy 12, pp. 145-161	2000	Tecnologie Benefici generati Sostenibilità
J. V. Stafford	Precision Agriculture is “information intense” and could not be realized without the enormous advances in networking and computer processing power. Precision Agriculture, as a crop management concept, can meet much of the increasing environmental, economic, market and public pressures on arable agriculture.	Implementing Precision Agriculture in the 21st Century- Jagric. Engng Res 76, pp. 267-275	2000	Tecnologie
N. Zhang, M.Wang, N.Wang	PA is conceptualized by a system approach to re-organize the total system of agriculture towards a low-input, high-efficiency, sustainable agriculture.	Precision Agriculture-a worldwide overview- Computer and Electronics in agriculture, 36, pp. 13-132	2002	Tecnologie Benefici generati
R. Bongiovanni, J. Lowenberg-Deboer	Precision Agriculture (PA) can help in managing crop production inputs in an environmentally friendly way. By using site-specific knowledge, PA can target rates of fertilizer, seed and chemicals for soil and other conditions.	Precision Agriculture and Sustainability Precision Agriculture, Vol.5, pp.359-387,	2004	Benefici generati
A. McBratney, B. Whelan, T. Ancev	One generic definition could be “that kind of agriculture that increases the number of (correct) decisions per unit area of land per unit time with associated net benefits”.	Future directions of Precision Agriculture - Precision Agriculture, 6, pp. 7-23 Springer Science+Business Medis Inc.	2005	Benefici generati
Y. S. Tey, M. Brindal	Precision agriculture is a production system that involves crop management according to field variability and site-specific conditions. Precision agricultural technologies are those technologies which, either used singly or in combination, as the means to realize precision agriculture.	Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications, Precision Agriculture, Vol.13, pp 713-730	2012	Applicazioni Tecnologie
E. Pierpaoli, G. Carli, E. Pignatti, M. Canavari	Precision Agriculture is a fairly new concept of farm management developed in mid-1980s. PA bases its applicability on the use of technologies to detect and decide what is “right”.	Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review , Procedia Technology, Vol.8, pp.61-69	2013	Tecnologie
R. Schrijver, K.Poppe, C. Daheim	Precision agriculture (PA) or precision farming, is a modern farming management concept using digital techniques to monitor and optimise agricultural production processes.	Precision Agriculture and the future of farming in Europe- Scientific Foresight Study	2016	Applicazioni Tecnologie

Anche se non vi sono informazioni precise sul grado ed il livello di diffusione dell'Agricoltura di Precisione nelle diverse aree nel mondo per le difficoltà legate alla ricerca di informazioni su produttori e rivenditori, ciò che appare evidente è lo sviluppo prioritario di alcuni paesi ritenuti pionieri come Stati Uniti, Canada e Australia, seguiti in Europa da Regno Unito e Francia.

In Italia, la diffusione dell'Agricoltura di Precisione rimane molto limitata rispetto alla situazione internazionale, infatti solo l'1% della superficie agricola coltivata vede l'impiego di mezzi e tecnologie di agricoltura di precisione (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2016).

Pur con qualche difficoltà di implementazione legata agli elevati investimenti iniziali ed alla mancanza di competenze idonee tra gli agricoltori (Robert, 2002), l'Agricoltura di Precisione sta diventando un concetto sempre più pervasivo all'interno del settore primario e, la costante evoluzione delle tecnologie ad essa collegate sembra aprire scenari sempre più sfidanti per le imprese del settore.

Alla costruzione di tale contesto contribuisce in modo considerevole il rapido sviluppo dei concetti e delle tecnologie legati all'Industria 4.0 (Fantoni et al., 2017). Infatti, le componenti del nuovo paradigma industriale rappresentano un punto di partenza per lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche in grado di monitorare e gestire i processi aziendali, anche all'interno del settore primario come, ad esempio, i Cyber-Physical System (Rad et al., 2015). Al fine di investigare il contributo delle declinazioni tecnologiche tra l'Industria 4.0 e l'Agricoltura di Precisione, il presente lavoro analizza le tecnologie che trovano applicazione nei due contesti al fine di individuare la presenza o meno di connessioni tra le tecnologie e di cluster tecnologici omogenei.

## **Metodologia**

Nel presente lavoro si è posti l'obiettivo della creazione di un dizionario volti ad identificare le tecnologie più innovative che trovano applicazione nell'Agricoltura di Precisione successivamente arricchito con le tecnologie di Industria 4.0 al fine di identificare i cluster più rilevanti e le connessioni tra essi.

Il dizionario nasce dalla volontà di comprendere quali siano le tecnologie afferenti al dominio della Precision Agriculture e quelle legate al continuo sviluppo del paradigma di Industria 4.0. Concretamente, il dizionario si presenta come una lista di tecnologie associate al concetto di Precision Agriculture individuate con l'utilizzo di paper individuati sulla banca dati internazionale SCOPUS.

Il diagramma a blocchi in Figura 1 illustra le diverse fasi che sono state seguite per la realizzazione del dizionario.

Innanzitutto sono stati individuati e selezionati venticinque paper scientifici, relativi al periodo 2002-2017. I paper scientifici sono stati individuati e selezionati utilizzando come parola chiave "precision agriculture". In secondo luogo è stata condotta un'analisi dei paper per identificare le tecnologie citate e appartenenti al dominio dell'Agricoltura di Precisione. La lista di tecnologie identificate con l'analisi dei paper non era da ritenersi esaustiva a causa del ridotto numero di fonti analizzate, le quali però hanno fornito le informazioni di base per costruire il contesto di analisi. Per far fronte a tale limitazione, e vista la vicinanza dei concetti fondanti di Industria 4.0 e Agricoltura di Precisione, è stato utilizzato il Tecnimetro<sup>®</sup> al fine di ampliare la lista di tecnologie presenti nel dizionario. Il Tecnimetro<sup>®</sup> (Chiarello et al., 2018) è un dizionario che contiene oltre 1500 tecnologie appartenenti al paradigma di Industria 4.0 ed è stato creato selezionando le tecnologie di Industria 4.0 contenute all'interno di manuali, documenti tecnici e pubblicazioni scientifiche presenti su Scopus. Le relazioni tra le tecnologie selezionate sono state studiate attraverso un'attività di text mining. L'idea di fondo è stata quindi quella di comprendere se il Tecnimetro<sup>®</sup> contenesse altre tecnologie della Precision Agriculture che non erano state identificate con l'analisi dei paper.

Per rispondere a questa domanda i testi di tutti gli abstract, i titoli e le keyword delle pubblicazioni (dal 2002 al 2017) trovate su Scopus con la query "precision agriculture" sono stati analizzati utilizzando il software "R". In questo modo sono state individuate le tecnologie 4.0 comprese nel Tecnimetro<sup>®</sup> che venivano citate nelle pubblicazioni sulla Precision Agriculture. Al fine di eliminare eventuali termini non pertinenti, le tecnologie estratte attraverso il Tecnimetro<sup>®</sup> sono state analizzate e i termini fuori contesto sono stati eliminati manualmente.

L'eliminazione delle tecnologie è stata fatta con l'ausilio di gruppi di controllo.

Infine, la nuova lista di tecnologie ottenuta, è stata confrontata con la lista delle tecnologie individuate all'inizio con l'analisi dei venticinque paper e, da quest'ultima scrematura, abbiamo ottenuto il dizionario.

Tale analisi consentiva di confermare la relazione tra l'Industria 4.0 e la Precision Agriculture da un lato, e dall'altro ha permesso di ottenere una lista di oltre 1000 tecnologie riferibili al dominio della Precision Agriculture, ampliando la lista generata dall'analisi dei paper eseguita manualmente.

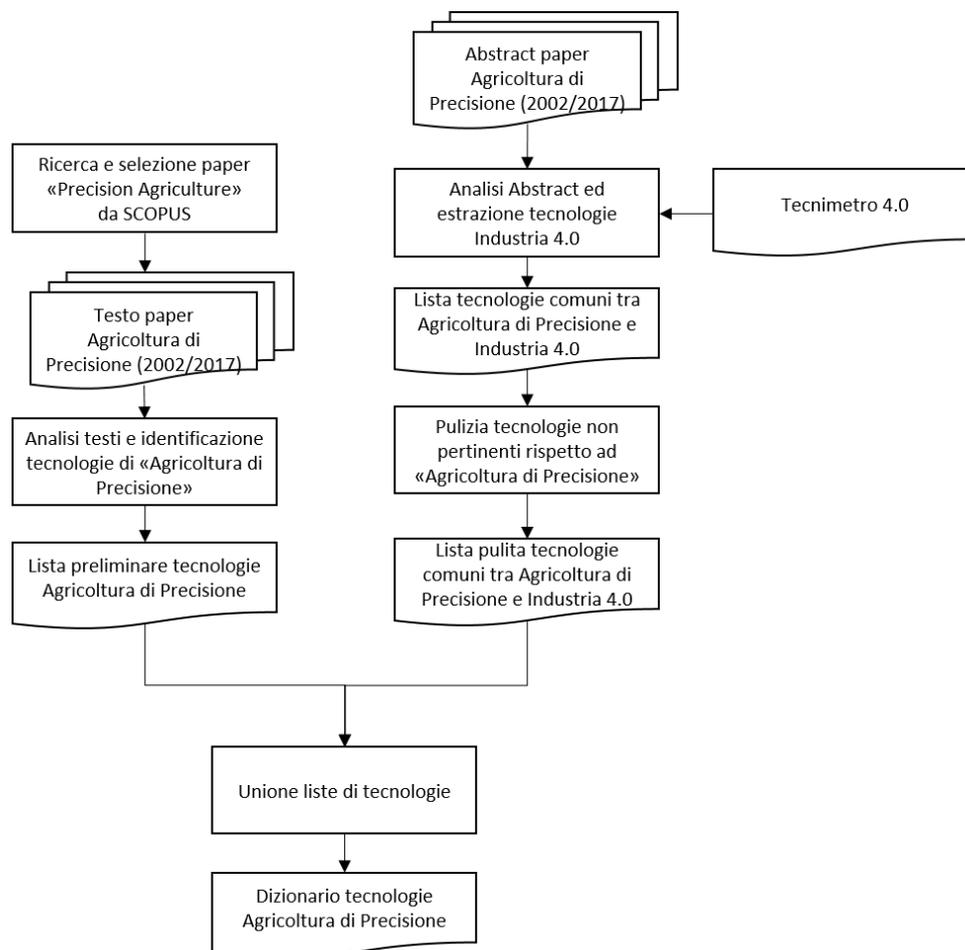


Figura 1. Processo di creazione del dizionario sulle tecnologie dell'Agricoltura di Precisione

Tale analisi mostra come l'intersezione tra l'insieme delle tecnologie dell'Industria 4.0 e quello delle tecnologie della Precision Agriculture è molto ampia e rende i due concetti molto vicini da un punto di vista tecnologico.

Al fine di comprenderne meglio la struttura ed identificare la presenza di possibili cluster tecnologici, il dizionario è stato realizzato un approfondimento di text mining sugli abstract dei paper afferenti al dominio della "Precision Agriculture" pubblicati su SCOPUS dal 2002 al 2017 per un numero complessivo di 4320 paper.

## Risultati

Il dizionario di tecnologie dell'Agricoltura di Precisione creato con il presente lavoro conta 324 termini le relazioni tra i quali lasciano intravedere, come da Tabella 2, la presenza di almeno 6 cluster di tecnologie.

Il grafo in Figura 2 mostra la struttura del dizionario contenente le tecnologie legate all'Agricoltura di Precisione e le relazioni tra le tecnologie che lo compongono. Questa raffigurazione consente di analizzare e comprendere le connessioni presenti tra i diversi cluster e conseguentemente tra le diverse tecnologie. Le connessioni sono rappresentate dalle linee che nel grafico uniscono i diversi nodi i quali rappresentano le singole tecnologie identificate. La dimensione dei nodi varia proporzionalmente al numero di paper in cui queste vengono citate, mentre la loro posizione dipende dal numero di connessioni tra le diverse tecnologie: quelle maggiormente connesse acquisiscono una posizione più centrale all'interno del grafo e viceversa.

Tabella 2. Cluster del dizionario sull'Agricoltura di Precisione

CLUSTER	TECNOLOGIE
Monitoring	GPS, GIS, Data processing, GSM, Satellite, Ultrasound, Lidar, Broadband, Cellular, ...
IoT	Wireless sensor network, Internet of things, RFID, Bluetooth, Zigbee, Wi-fi, Microcontroller, Arduino, ...
Automation	Autonomous vehicle, Mobile Robot, Unmanned aerial vehicle, Agricultural robot, Computer vision, Data management, ...
Decision	Artificial intelligence, Data mining, Expert systems, Forecasting, Machine learning, Semantic web, Smart grid, ...
Hardware	Embedded system, Cyber-physical system, Manure spreader, Raspberry pi, CMOS, FPGA, ...
Laser	Laser, Laser transmitter, Laser receiver, Laser surveying, Optical fiber, Photonic sensor, ...

Osservando le connessioni tra i nodi è possibile comprendere quali sono le tecnologie che vengono utilizzate in modo congiunto o che possono essere collegate tra loro nell'ambito di un'applicazione specifica. Inoltre, analizzando le relazioni, è possibile visualizzare ed ipotizzare percorsi di sviluppo nell'adozione congiunta di diverse tecnologie.

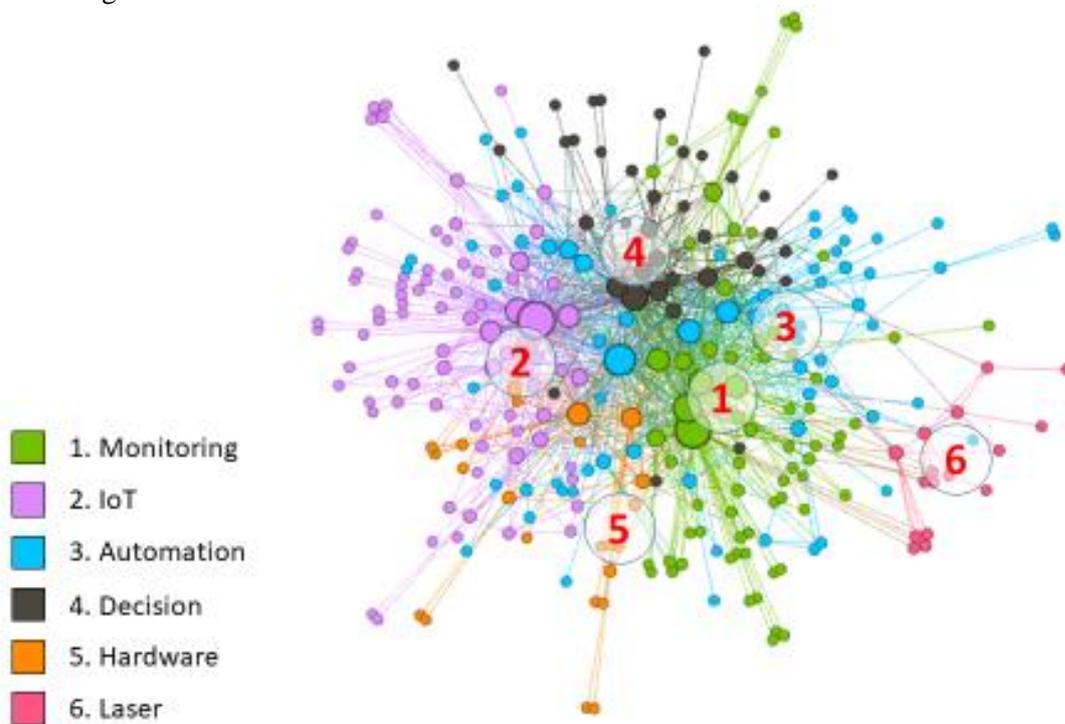


Figura 2. Figura 2 Rappresentazione del dizionario per l'Agricoltura di Precisione

## Conclusioni

La capacità del dizionario di individuare le relazioni esistenti tra le tecnologie lo rende uno strumento che può avere diversi tipi di impatto sia a livello teorico che pratico. Infatti, oltre a consentire l'approfondimento sul tema dell'Agricoltura di Precisione, attualmente un tema in pieno sviluppo, dal punto di vista della struttura del concetto e delle sue componenti, il dizionario può supportare le aziende e i policy maker nell'indirizzare attività strategiche e operative che possono incidere grandemente sullo sviluppo del settore agricolo. In particolare, le possibili applicazioni del dizionario afferiscono da un lato può essere utilizzato per analizzare i business plan, le richieste di accesso a fondi erogati da enti pubblici, i brevetti ed altri testi tecnici alle attività di business intelligence con cui le aziende possono analizzare i prodotti e i servizi messi in campo dai competitor e dall'altro generare un circolo virtuoso propulsivo per lo sviluppo di pratiche agricole più innovative e maggiormente produttive nonché rispettose dai criteri di sostenibilità, dall'altro il dizionario.

I limiti della presente ricerca sono legati al limitato numero di paper presi a riferimento per la costruzione di una prima lista di tecnologie dell'Agricoltura di Precisione. Tuttavia data la recente diffusione non omogenea del fenomeno la collaborazione con studiosi e professionisti del settore Agricolo potrebbe favorire l'individuazione di nuove fonti da analizzare e faciliterebbe l'interpretazione dei risultati. È auspicabile che la formazione del dizionario faciliti da un lato l'erogazione di finanziamenti a favore delle innovazioni tecnologiche più adeguate nel settore dell'agricoltura di precisione e dall'altro favorisca il recupero della competitività del settore agricolo grazie al miglioramento qualitativo e quantitativo dei prodotti e all'applicazione dei principi di sostenibilità.

## **Bibliografia**

- Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision agriculture*, 5(4), 359-387.
- Cervelli, G., Fantoni G., Pira S., Trivelli, L. et al., (2017). *“Industria 4.0 Senza Slogan”*. Towel Publishing s.r.l.s. ISBN: 9788894901061
- Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A., Fantoni, G., (2018). *“Development of an enriched dictionary for semantic analysis of documents in the Industry 4.0 domain.”* Computers in Industry. (Sumbitted)
- Cox, S. (2002). Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2-3), 93-111.
- Dobermann, A., Blackmore, S., Cook, S. E., & Adamchuk, V. I. (2004, September). Precision farming: challenges and future directions. In *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress* (Vol. 26).
- FAO (2014) *The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and Challenges*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. FAO, Rome.
- Kirchmann, H., & Thorvaldsson, G. (2000). Challenging targets for future agriculture. *European Journal of Agronomy*, 12(3-4), 145-161.
- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., & Bouma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision agriculture*, 6(1), 7-23.
- Ministero dello Sviluppo Economico, (2017) *“Piano Nazionale Industria 4.0”*;
- Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, (2015) *“Linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia”*;
- Pierpaoli, E., Carli, G., Pignatti, E., & Canavari, M. (2013). Drivers of precision agriculture technologies adoption: A literature review. *Procedia Technology*, 8, 61-69.
- European Parliament. 2016. *“Precision agriculture and the future of farming in Europe Scientific Foresight Study.”* EPRS European Parliamentary Research Service. Scientific Foresight Unit (STOA) PE 581.892
- Stafford, J. V. (2000). Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3), 267-275.
- Swinton, S. M., & Lowenberg-Deboer, J. (2001, June). Global adoption of precision agriculture technologies: Who, when and why. In *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture* (pp. 557-562). Citeseer.
- Tey, Y. S., & Brindal, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13(6), 713-730.
- Zarco-Tejada, P., Hubbard, N., & Loudjani, P. (2014). *Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers—Potential Support with the CAP 2014-2020*. Joint Research Centre (JRC) of the European Commission.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2-3), 113-132.