



scienza attiva®

EDIZIONE 2015/2016

AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE E SOSTENIBILITA'

L'automazione per l'agricoltura di precisione

Paolo Gay

***Università degli Studi di Torino, Dipartimento di
Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA)***

Documento di livello: A



Un progetto di



agorà scienza
centro interuniversitario



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO



scienza attiva®

INTRODUZIONE

L'agricoltura di precisione (AP), nata negli USA agli inizi degli anni '90, rappresenta oggi uno degli strumenti più promettenti per affrontare le nuove sfide sociali, economiche e ambientali dell'agricoltura del terzo millennio, che richiedono, per far fronte ad una popolazione sempre più numerosa ed esigente, un incremento delle produzioni e della produttività, una riduzione dei costi, unitamente a un maggiore rispetto per l'ambiente.

L'agricoltura di precisione (AP) è stata definita dall'USDA (United States Department of Agriculture) come *"a management system that is information and technology based, is site specific and uses one or more of the following sources of data: soils, crops, nutrients, pests, moisture, or yield, for optimum profitability, sustainability, and protection of the environment"* (http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1043474.pdf) ovvero come uno strumento per la gestione delle colture mirato a considerare le variabilità spaziali e temporali di parametri quali la composizione dei suoli, l'umidità, la disponibilità di nutrienti, la presenza di infestanti, patogeni ecc. nei campi, utilizzando le tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni (ICT). Bramley (2001) ha definito l'AP come l'insieme delle tecnologie che permettono di migliorare la gestione della produzione agricola partendo dall'assunzione che la produttività dei terreni e le relazioni ingresso-uscita possono variare su piccola scala, all'interno del medesimo campo. L'agricoltura di precisione è stata definita anche come l'arte e la scienza di utilizzare tecnologie avanzate per migliorare la produzione di colture riducendo al minimo il potenziale inquinamento ambientale (Koch & Khosla, 2003). L'agricoltura di precisione raggiunge questo obiettivo adottando operazioni sito-specifiche, ovvero, come si discuterà nel seguito, mirando e dosando gli interventi e le operazioni colturali su scala spaziale, sulla base delle specificità e peculiarità che la porzione di suolo/coltura presa in considerazione presenta.

L'agricoltura di precisione è un sistema di gestione delle aziende agricole che si propone di migliorare la produttività attraverso l'incremento dell'efficienza delle risorse utilizzate e la riduzione degli input (fertilizzanti, fitofarmaci ecc.) procedendo di pari passo ad una riduzione dell'incidenza degli aspetti negativi portati dall'attività produttiva agricola sull'ambiente. L'AP può fornire, inoltre, nuovi strumenti per garantire la tracciabilità dei prodotti ad un livello di dettaglio superiore sfruttando la registrazione delle attività su base spaziale.

L'agricoltura di precisione non è di per sé, come concetto, un'idea nuova. Fino a qualche decennio fa, quando le aziende agricole per la maggior parte non coprivano estensioni troppo ampie, l'agricoltore esaminava, camminando, i propri campi, più volte ogni anno. Il contadino era in grado di osservare le variabilità all'interno dei campi e di adottare decisioni per la gestione appropriate per ciascuna parte. Questo portava il contadino ad aumentare la densità di semi laddove l'attecchimento era scarso, distribuire dosi di fertilizzanti maggiori laddove la crescita si era riscontrata inferiore e così via. Questa conoscenza dipendeva dalla sua memoria, mantenuta aggiornata dall'osservazione diretta. Questo approccio è divenuto difficilmente percorribile con l'aumento della dimensioni dell'azienda e con l'avvento della meccanizzazione agricola. Più grandi e numerosi, infatti, sono diventati i campi dell'azienda e progressivamente ridotta è stata la possibilità per l'agricoltore di valutare e gestire le singole situazioni di variabilità. A poco a poco, gli interventi sono stati calibrati sui valori medi (proprietà del suolo, rese ecc.) di parcelle sempre più grandi.

L'assunzione, non sempre verificata, era che il/i campo/i fosse omogeneo e che questo giustificasse la medesima gestione in tutte le parti. Quando sono stati sviluppati i primi sistemi per il monitoraggio del rendimento e di misura della resa, con la creazione di apposite mappe, è stato dimostrato che i rendimenti del suolo variano sensibilmente anche all'interno dei singoli appezzamenti. Questa consapevolezza ha, di fatto, ha stimolato lo sviluppo dell'agricoltura di precisione.

Volendo caratterizzare la produzione agraria da un punto di vista di generico controllo di processo, è evidente che per incrementare la prestazioni, sia in termini di quantità e qualità delle produzioni, è necessario poter chiudere un anello di retroazione di controllo, ovvero passare da un sistema fondamentalmente in catena aperta ad uno in catena chiusa.

In questo passaggio, un elemento chiave e condizionante è dato dalla disponibilità di sistemi in grado di rilevare dati sull'andamento e sulle condizioni di processo, azione che in un normale processo industriale è svolta dai sensori e dai sistemi di misura. Quest'operazione in agricoltura non è banale in quanto le informazioni non sono tipicamente direttamente fruibili, se non attraverso l'elaborazione di segnali provenienti da più sensori opportunamente calibrati.

L'agricoltura di precisione prevede quindi un processo ciclico di raccolta dei dati da utilizzare, in questo schema di controllo in catena chiusa, per la gestione delle colture, la valutazione delle decisioni, con la peculiarità che l'azione di monitoraggio non si può considerare limitata all'ambito di un singolo ciclo colturale, ma si estende necessariamente anche negli anni successivi, mantenendo memoria di quelli precedenti. La prima verifica prima di applicare una gestione di AP è il verificare il grado di variabilità dei parametri del suolo, delle colture e degli eventuali infestanti e/o patologie. Un terreno omogeneo coltivato con un materiale genetico omogeneo senza particolari insorgenze di infestanti e patologie vedrà infatti benefici moderatamente limitati dall'AP. Pertanto, la raccolta dei dati, secondo le modalità e con le tecniche che descriveremo in seguito, è il primo passo a cui segue l'analisi dei dati e, infine, l'applicazione del sistema. Ogni anno o stagione i dati sono memorizzati in un database e utilizzati come dati storici per le decisioni future. Il sistema di AP può essere quindi schematizzato nella raccolta dei dati, l'analisi dei dati, la definizione delle decisioni gestionali, la loro applicazione, infine, la valutazione dei risultati. L'agricoltura di precisione mira a incrementare il livello di conoscenza del contadino dei propri terreni e colture in azienda, per arrivare ad una gestione basata su questa nuova, dettagliata, conoscenza.

L'AP ha una storia piuttosto breve: l'inizio del suo sviluppo e reale applicazione si può datare a circa 25 anni fa, quando i sistemi di localizzazione satellitari, GPS (Global Positioning System) primo fra tutti, e le nuove tecnologie di sensori sono stati resi disponibili.

Le prime applicazioni di AP furono rivolte principalmente alle operazioni su produzioni di tipo erbaceo. Alla raccolta meccanizzata furono affiancati sensori, installati sulle macchine, per mappare la variabilità dei rendimenti. All'inizio del 1990 apparirono, infatti, le prime applicazioni nel settore dei cereali con l'adozione di sensori di flusso per il grano (Godwin et al., 2003), mentre su colture a più alto valore (frutta e ortaggi) fu necessario attendere la fine degli anni '90.

Per approfondimenti:

- Bramley, R.G.V. (2001). Progress in the development of precision viticulture- Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards.

Precision tools for improving land management. Eds. L.D. Currie and P.Loganathan, Report 14, 25-43. (reperibile all'indirizzo: www.cse.csiro.au/client_serv/resources/bramley1.pdf)

- Godwin R.J., Wood, G.A., Taylor, J.C., Knight, S.M., Welsh, J.P. (2003). Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to Develop Management Guidelines. *Biosystems Engineering* 84(4) 375-391.
- B. Koch, R. Khosla (2003). The Role of Precision Agriculture in Cropping Systems *Journal of Crop Production*, 9, 361-381

ACQUISIZIONE DI DATI

Sono molti i tipi di dati che, raccolti durante uno o più cicli colturali e riportati su opportune mappe tematiche, possono essere di supporto ai processi di decisione. Tra questi si riportano le rese, le proprietà fisiche e chimiche del suolo, i dati ottenuti con procedure di telerilevamento, l'ispezione delle colture (stato di accrescimento e vigore vegetativo, eventuale presenza di patologie, parassiti, erbe infestanti ecc.), i dati meteo e micro-meteorologici. Questi dati possono essere raccolti per ogni singolo campo con il livello di risoluzione spaziale desiderato. Tutti i dati devono essere georeferenziati. Nel caso più comune si utilizzano sistemi di georeferenziazione satellitari, spesso accompagnati da sistemi odometrici e giroscopici, per poi essere riportati su base di dati GIS (Geographic Information System).

Georeferenziazione dei dati: il sistema GPS (Global Positioning System)

Il GPS, nato come applicazione militare, fu reso disponibile dagli USA per usi civili nel 1991, che aprirono al mondo il servizio con il nome SPS (Standard Positioning System), con specifiche differenziate da quello riservato all'uso delle forze militari denominato PPS (Precision Positioning System).

Il segnale civile, infatti, era intenzionalmente degradato da un apposito sistema (definito Selective Availability), che introduceva errori intenzionali e non predicibili nei segnali satellitari allo scopo di ridurre l'accuratezza della rilevazione, consentendo precisioni dell'ordine di 100–150 m. Tale sistema è stato disabilitato a partire dal maggio 2000 per effetto di un decreto del presidente degli USA Bill Clinton, consentendo alle applicazioni civili di godere di una precisione di circa 10–20 m. In quanto strumento strategico, l'utilizzo del GPS, non da parte delle forze armate statunitensi, rimane limitato a rilevamenti al di sotto di 18 km di altitudine, per velocità inferiori a 515 m/s. Queste limitazioni, studiate evidentemente per impedirne l'utilizzo nei sistemi di guida di missili, non pregiudica affatto le applicazioni in agricoltura.

La tecnologia GPS fornisce, in funzione della sua implementazione, livelli diversi di accuratezza: il GPS, usato senza altri accorgimenti, offre un'accuratezza, come detto, di alcuni metri; il GPS differenziale raggiunge una precisione inferiore al metro, mentre i sistemi RTK-GPS possono raggiungere alcuni centimetri. Per la precisione che è in grado di fornire, il DGPS sembra essere sufficiente nella maggior parte delle applicazioni, mentre i sistemi RTK tendono ad essere troppo costosi per uso aziendale. Recentemente, GPS RTK denominati "virtuali", ovvero basati su sistemi centrali in collegamento via rete telefonica cellulare, sono stati installati e possono essere accessibili da parte degli agricoltori sotto

forma di servizio, a basso costo. Ciò permetterà di migliorare la precisione di utilizzo GPS senza richiedere la predisposizione di particolari infrastrutture o dispositivi hardware.

Per approfondimenti:

- <http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>
- <http://www.nps.gov/gis/gps/history.html>
- <http://www.gps.gov/applications/agriculture/>
- http://www.trimble.com/gps_tutorial/

Valutazione delle produzioni al momento del raccolto: quantità

L'analisi della resa nei diversi appezzamenti, o parte di essi, è fondamentale per valutare e comprendere le potenzialità dei suoli e l'efficacia delle scelte adottate per la conduzione delle colture in azienda. Le quantità prodotte sono tipicamente rappresentate in mappe di resa e possono essere ottenute in maniera automatica dotando di opportuni sensori le macchine utilizzate per la raccolta. Questi sistemi misurano il flusso di prodotto raccolto in tempo reale, secondo una cadenza di tempo prefissata ed impostabile, ottenendo risultati su una scala spaziale con risoluzione che può raggiungere i pochi metri quadrati. Il sistema è composto dal sensore che misura il flusso di prodotto in ingresso o all'interno della macchina di raccolta, da eventuali sensori in grado di misurare alcune proprietà qualitative del raccolto, da un GPS per la georeferenziazione e da una CPU che riceve i dati raccolti e li archivia. Alcuni dati possono essere visualizzati in tempo reale all'agricoltore alla guida della macchina su uno specifico monitor posto in prossimità della postazione di guida. Le prime applicazioni furono su mietitrebbiatrici utilizzando sensori a raggi γ (Godwin et al., 2003).



Figura 1 – Esempificazione della creazione di mappe di produzione in fase di raccolto (Fonte: Lexion Combine Division, <http://www.claasofamerica.com/product/channel/lexion-780-730>). Le mappe sono create utilizzando le misure ottenute da appositi sensori collocati a bordo della macchina in grado di valutare il flusso massico di granella raccolta.

In seguito furono sviluppati sensori in grado di valutare la forza di impatto dei semi contro una piastra deflettore (si veda, ad esempio, AgLeader Tecnologia, 2014) e quindi di stimare la portata del prodotto raccolto. Successivamente sono stati studiati sistemi di misura per la raccolta di colture diverse. Nel caso delle macchine di raccolta di cotone sono stati utilizzati

sensori basati su trasduttori ottici (Tomasson et al., 1999), per i pomodori da trasformazione celle di carico sotto le catene di convogliamento swl prodotto (Pelletier et al., 1999), analogamente per la raccolta di foraggi (Wild & Auernhammer 1999) ecc.

Nel settore della viticoltura sono stati sviluppati sensori da abbinare alle macchine per la raccolta meccanica delle uve da vino. La loro introduzione risale al 1999, con le prime applicazioni in Australia e negli Stati Uniti (Arnò 2009). In queste macchine sono utilizzate celle di carico per pesare il raccolto in transito su un nastro trasportatore o un array di sensori ad ultrasuoni, montati sopra il condotto di scarico dell'uva, per stimarne il volume e, quindi, la massa dei grappoli raccolti (Bramley e Hamilton 2004). In Florida, Schueller et al. (1999) hanno utilizzato un sistema automatico, basato su un elevatore idraulico dotato di celle di carico e sistema GPS, per pesare i contenitori con le arance appena raccolte. Secondo questo approccio, la pesa di ogni bin colmo di frutti ha rappresentato una stima affidabile della produzione degli alberi circostanti. Le informazioni di posizione e carico rilevati dalle celle di carico sono la base per la realizzazione mappe di rendimento.

Applicazione analoga è stata sviluppata da Aggelopoulou et al. (2011a) dove la resa di frutteti di melo è stata mappata valutata misurando la massa raccolta in bidoni raggruppati ogni 5-10 piante. Applicazioni di questo tipo sono del tutto trasparenti agli operatori, non introducendo fasi aggiuntive e/o elementi che potrebbero ridurre la capacità di lavoro.

Fountas et al. (2011) hanno misurato la variabilità della resa nella raccolta delle olive. Le olive, raccolte utilizzando reti collocate sotto gli olivi, sono raccolte in sacchi posti alla base dei rispettivi alberi. I sacchi sono infine pesati ed associati alla posizione, ovvero al singolo gruppo di olivi. Ampatzidis et al. (2009) hanno presentato un'applicazione per la valutazione della resa in frutteti di pesco basata su transponder RFID (Radio Frequency Identification). Rispetto alle applicazioni prima citate in questo caso è prevista un'informazione relativa alla tracciabilità che si trasmette, attraverso la cassa utilizzata per la raccolta, lungo la filiera.



Figura 2: Esempio di sistema GIS utilizzato in agricoltura di precisione per riportare la distribuzione della resa nel campo (Fonte: Trimble, www.trimble.com/agriculture)

Qiao et al. (2005) hanno sviluppato un robot mobile per la classificazione automatica di peperoni al fine di realizzare mappe di resa e analisi di qualità. La sperimentazione condotta ha evidenziato la presenza di elevate variabilità anche all'interno di appezzamenti di modeste dimensioni.

Sulla base delle informazioni raccolte sono quindi prodotti dei layout GIS (esempio in figura 2) che, sovrapposti alla normale cartografia, permettono di interpretare i risultati raggiunti e di predisporre nuove azioni mirate.

Per approfondimenti:

- A. Aggelopoulou, S. Fountas, D. Pateras, G. Nanos, T. Gemtos, 2011a. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. *Precision Agriculture*, 12, 118-129
- Y.G. Ampatzidis, S.G. Vougioukas, D. Bochtis, C.A. Tsatsarelis, 2009. A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies: field testing. *Precision Agriculture*, 10, 63-72.
- J. Arnó, J.A. Martínez-Casasnovas, M. Ribes-Dasi, J.R. Rosell, 2009. Precision Viticulture: research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 779-790
- R. Bramley, R.P. Hamilton, 2004. Understanding variability in winegrape production systems. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10, 32–45
- S. Fountas, K. Aggelopoulou, C. Bouloulis, G.D. Nanos, D. Wulfsohn, T.A. Gemtos, M. Galanis, 2011. Site-specific management in an olive tree plantation. *Precision agriculture*, 12, 798, 179-195.
- R.J. Godwin, G.A. Wood, J.C. Taylor, S.M. Knight, J.P. Welsh, 2003. Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to Develop Management Guidelines. *Biosystems Engineering* 84(4) 375-391
- J. Qiao, A. Sasao, S. Shibusawa, N. Kondo, E. Morimoto, 2005. Mapping Yield and Quality using the Mobile Fruit Grading Robot. *Biosystems engineering*, 90, 135-142
- G. Pelletier, K.S. Upadyaya, 1999. Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23, 103-107
- J.K. Schueller, J.D. Whitney, T.A. Wheaton, W.M. Miller, A.E. Turner, 1999. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23, 145-153
- J.A. Tomasson, D.A. Penington, H.C. Pringle, E.P. Columbus, S.J. Tomson, R.K. Byler, 1999. Cotton mass flow measurements: Experiments with two optical devices. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(1), 11-17
- K. Wild, H. Auernhammer, 1999. A weighing system for local yield monitoring of forage crops in round balers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23, 119–132
- J.D. Whitney, W.M. Miller, T.A. Wheaton, M. Salyoni, J.K. Schueller, 1999. Precision farming applications in Florida citrus. *Applied Engineering in Agriculture*, 15, 399-403
- AgLeader Tecnologia 2014, <http://www.agleader.com/>
- <http://www.claasofamerica.com/product/channel/lexion-780-730/electronics-operation/quantimeter-proficam>

Valutazione delle produzioni al momento del raccolto: qualità

Per la maggior parte delle colture la qualità è un aspetto determinante nella definizione del prezzo di acquisto. Soprattutto nella frutta e ortaggi, una classificazione di alta qualità permettere di raggiungere fasce di prezzo premianti per i produttori, ma questo è anche vero per altre colture, come ad esempio il grano duro per la produzione di pasta, dove parametri come il contenuto proteico rientrano esplicitamente nei contratti di acquisto. Alcune di queste qualità possono essere rilevate direttamente in campo o durante la fase di raccolta al fine di geo-localizzare il dato e poter produrre, anche in questo caso, delle mappe che ne rappresentino la variabilità.

Sono stati sviluppati, ad esempio, sensori in grado di rilevare il contenuto di umidità dei cereali da utilizzarsi in parallelo quelli per la mappatura delle rese. In questo caso il principio fisico utilizzato è la valutazione delle caratteristiche dielettriche, ovvero la permittività, del cereale raccolto. Altre grandezze, quali il contenuto proteico di semi di cereali o il contenuto di olio di semi oleosi, posso essere stimati con sensori spettrometrici e sono ora disponibili anche a livello commerciale (si veda, ad esempio Zeltex ACUHARVEST).

In molti laboratori si sta lavorando per sviluppare sensori per stimare parametri del prodotto legati alla qualità. Nella maggior parte dei casi occorre individuare quale (o quali) grandezza fisica, in condizioni nominali o successive ad uno stimolo, riportino delle informazioni significative dello stato di qualità che si vuole caratterizzare. Individuata la grandezza occorre predisporre un apposito sensore, rispettando i requisiti di affidabilità, precisione, sicurezza e, infine, costo. Infine è necessario mettere a punto, sperimentalmente, un metodo di calibrazione che permetta di mettere in relazione la lettura della grandezza con il parametro di qualità ricercato. Ad esempio, come discusso da Kondo e Ting (1998) nel caso specifico della frutta, gli elementi da considerare nella valutazione della qualità includono parametri esterni (dimensioni, colore, forma, struttura superficiale e di massa), interni parametri (dolcezza, acidità o malattie interne) e di freschezza. Dato l'elevato costo che l'agricoltore deve sostenere per la raccolta (nella maggior parte dei casi condotta manualmente), in diversi contesti è conveniente ridurre le quantità a vantaggio della qualità e dell'omogeneità della qualità.

Un ampio lavoro è stato condotto sulla qualità delle uve, considerato l'impatto che questa ha sulla qualità finale dei vini prodotti. Un primo approccio è stato costituito dall'utilizzo di strumenti per il telerilevamento per il rilievo di indici che potessero esprimere lo stato di salute e vigoria della coltura. Tra questi, uno attualmente utilizzato come indice di vigore vegetativo è il NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, Rouse et al, 1974) che si ottiene combinando opportunamente i segnali (ottici) rilevati nelle bande del vicino infrarosso e del rosso (per approfondimenti si veda la sezione dedicata al telerilevamento). E' stato quindi necessario validare l'utilizzo di questo parametro prelevando e analizzando un larghissimo numero di campioni di uva in vigneti dei quali era stato rilevato l'indice NDVI. E' stato infine riscontrata un'alta correlazione tra gli indici di vegetazione (NDVI) rilevati ad inizio di maturità e le caratteristiche della qualità (finale) delle uve, ottenendo dei risultati piuttosto interessanti, soprattutto dalla comparazione dei risultati, espressi come mappe, di quantità di produzione e qualità. Bramley e Hamilton (2004) rilevarono nelle loro sperimentazioni, ad esempio, che un vigneto con un'alta densità di vegetazione può portare produzioni più intense, fino al doppio, che le mappe di produzione e di qualità non sempre sono simili e che il grado di variabilità delle produzioni è più elevato che quello della qualità. Un vantaggio ulteriore nel poter disporre di sensori calibrati è il ridurre i costi delle analisi che, una volta validata la corrispondenza delle rilevazioni, potrebbero essere ridotte sia in termini di numero che di costo (Bramley, 2005). Come altro esempio, Best et al. (2005) hanno studiato possibili relazioni tra la superficie fogliare e la produzione in vigna, trovando che i parametri tipici di qualità associati alle uve (°Brix, indice colore) erano inferiori quando l'indice era più grande (maggiore vigoria delle piante). Sethuramasamyraja et al. (2010) usarono uno spettrometro portatile nel vicino infrarosso (NIR) per analizzare la variabilità antociani in due vigneti, per due anni, in California, USA. Le vigne furono divise logicamente in due parti, sulle basi delle misure ottenute. La vendemmia e la successiva vinificazione fu separata per le due zone. I due lotti di vino così ottenuti sono stati valutati da un panel di

esperti i quali hanno riscontrato una sensibile differenza nella qualità del vino, dimostrando quindi l'utilità del metodo.

Per approfondimenti:

- S. Best, L. León, M. Claret, 2005. Use of Precision Viticulture Tools to Optimize the Harvest of High Quality Grapes. FRUTIC 05, 12-16 September 2005, Montpellier France
- R. Bramley, R.P. Hamilton, 2004. Understanding variability in winegrape production systems. Australian Journal of Grape and Wine Research, 10, 32–45.
- R. Bramley, 2005. Understanding variability in winegrape production systems within vineyard variation in quality over several vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research, 11, 33–42
- N. Kondo, K.C. Ting, 1998. Robotics for Bioproduction Systems. ASAE Publication, USA, ISBN0- 929-35594-6
- J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite Symposium, 1, 309-317.
- B. Sethuramasamyraja, S. Sachidhanantham, R. Wample, 2010. Geospatial Modeling of Wine Grape Quality Indicators (Anthocyanin) for Development of Differential Wine Grape Harvesting Technology. International Journal of Geomatics and Geoscience, 1 (3)
- E.A. Veraverbeke, P. Verboven, J. Lammertyn, P. Cronje, J. De Baerdemaeker, B.M. Nicolai, 2006. Thermographic surface quality evaluation of apple, Journal of Food Engineering, 77 (1), 162–168
- Zeltex ACUHARVEST, <http://www.zeltex.com/accu harvest.html>

Tecniche real-time in agricoltura di precisione

L'approccio real-time per l'agricoltura di precisione prevede che le modalità e l'intensità degli interventi sui suoli e sulle colture non passino attraverso una pianificazione basata su mappe tematiche di prescrizione, ma che siano determinate sulla base di osservazioni, tipicamente rilevate attraverso opportuni sensori, contestualmente. In questo caso, infatti, l'azione è diretta conseguenza dei rilievi fatti nel medesimo istante, nel medesimo luogo. Secondo questo principio un'azione erbicida, chimica o meccanica, può essere adottata nel momento stesso in cui un sensore individua una pianta infestante, così come una dose di fertilizzante può essere incrementata, decrementata o posta a zero in funzione dello stato della coltura rilevata. Analogamente, un'irroratrice può essere attivata solamente in prossimità del bersaglio e i suoi ugelli possono essere aperti in maniera proporzionale per seguire al meglio il profilo e il volume della pianta.



Figura 3 - Esempio: sensore *N-Sensor Active Light Source (ALS)*, basato su sorgente di luce Xenon, prodotto da Yara (Fonte Yara, <http://www.yara.com>) e installato su una trattoria John Deere.

Quale esempio di applicazione, in figura 3 è riportato un sistema di sensori in grado di valutare l'attuale livello di assorbimento dell'azoto delle colture in un'area di 5-6 metri a lato della trattoria. Questo sistema, progettato per operare di notte per evitare l'interferenza della luce solare, emette dei lampi di luce mediante lampade Xenon per poi misurare le caratteristiche del segnale riflesso dalle colture. L'elaborazione di questo segnale può permettere la creazione di mappe oppure il controllo diretto della macchina incaricata della distribuzione dei fertilizzanti. Questa soluzione permette di dosare il prodotto solo ove occorre, nella giusta quantità, con evidenti benefici per l'ambiente e risparmi per l'azienda.

Analisi delle proprietà del suolo

Il suolo è il substrato dove si coltivano colture. Le sue caratteristiche chimico-fisiche influenzano i parametri di crescita delle colture quali la resa e la qualità. La maggior parte delle attività di coltivazione, quali, ad esempio, l'aratura, le lavorazioni del terreno e le fertilizzazioni, coinvolgono significativamente anche il suolo. Gli effetti di queste operazioni sono analizzati, in un contesto di AP, monitorando le variazioni delle proprietà fisiche e chimiche. Un primo approccio consiste nel pianificare campionamenti in aree individuate da una griglia a maglia rettangolare collocata virtualmente sul campo in studio. Più nel dettaglio, il metodo prevede di contrassegnare idealmente il campo con linee tra di loro parallele ed ortogonali, a distanza uniforme, prelevando campioni di suolo all'interno di ogni piccola area che viene così a definirsi. La dimensione delle parcelle individuate dall'intersezione delle linee può variare a seconda dello scopo dell'analisi. Nei progetti di ricerca si considerano generalmente parcelle più piccole (meno di 0,1 ha), ma nel caso di applicazioni aziendali normalmente si predispongono aree d'interesse più ampie, dell'ordine di 0,4 ettari. I campioni di terreno sono prelevati dalla parcella in più punti, mescolati tra di loro, e poi analizzati in termini di struttura, di contenuto di elementi nutritivi, pH, sostanza organica ecc. Sulla base dei risultati di questa analisi sono prodotte delle mappe del suolo. Un esempio di applicazione è stato fornito da Fountas et al. (2011) dove, mediante l'adozione di una griglia di campionamento, sono state prodotte mappe del suolo riportanti la quantità di P e K in un oliveto.

L'analisi dettagliata delle caratteristiche del suolo permette inoltre di valutare l'esistenza o meno di possibili correlazioni tra la presenza di sostanze nutritive del suolo e la resa delle colture. Ad esempio in Aggelopoulou et al. (2011a) è stato proposto di produrre mappe di prescrizione per l'applicazione di fertilizzanti mettendo a confronto le quantità raccolte (nel loro caso mele) con i valori delle sostanze nutritive rimosse dalla coltura per produrre i frutti.

Le attività di campionamento e di analisi del suolo comportano un lavoro piuttosto gravoso e, conseguentemente, costoso. Se per attività di ricerca questo può essere supportato e giustificato, nella maggior applicazioni commerciali non è accettabile. Una seconda

possibilità consiste nel tracciare inizialmente la mappatura delle rese o di qualche altro parametro fisico facilmente misurabile (come, ad esempio, la conducibilità elettrica) individuando zone omogenee e quindi collocare i punti di campionamento per l'analisi del suolo in zone dove questi parametri appaiono critici. Questo approccio consente di ridurre notevolmente il numero di analisi da effettuare, mantenendo un'accettabile precisione nei risultati.

Un'ulteriore possibilità è data dall'applicazione dell'AP in tempo reale (si veda la sezione apposita). In questo caso occorre sviluppare sensori in grado di misurare le proprietà del suolo in movimento, posizionando, ad esempio, i trasduttori a bordo di una trattoria o di un attrezzo. Individuati i sensori, questo metodo risulta veloce e a basso costo. In questo contesto, diversi metodi per la valutazione di parametri pedologici sono già disponibili o sono in fase di sviluppo (Pan et al., 2014). I sensori per il suolo sono tipicamente basati sull'analisi di proprietà elettriche (es. conducibilità), elettromagnetiche (es. proprietà dielettriche), ottiche e radiometriche, meccaniche, acustiche, pneumatiche, ed elettrochimiche (Adumchuk et al. 2004). La resistività elettrica e l'induzione elettromagnetica sono state utilizzate per valutare la conducibilità elettrica apparente del terreno (ECA). Gli strumenti per la misura della resistività elettrica utilizzano dei dischi verticali, inseriti nel suolo, a cui è applicata una tensione elettrica. Dalla misura della corrente e dalla conoscenza della distanza tra i dischi è possibile risalire alla resistenza, alla resistività e, infine, alla conducibilità del suolo (per approfondimenti, si veda, ad esempio Veris[®] Technologies, 2014). Un'altra tecnica è quella adottata nei sensori ad induzione elettromagnetica. In questo caso, una o più bobine sono utilizzate per la generazione di un campo magnetico che, passando attraverso al suolo, si trova infine indotto su una seconda bobina captatrice. L'intensità del campo indotto dipende da diversi fattori caratteristici del suolo, tra cui il contenuto di argilla, di acqua, di materia organica ecc. Queste due tecniche sono state utilizzate in molte applicazioni in agricoltura di precisione, abbinata con apparati GPS. In questo modo è possibile produrre velocemente, in maniera automatica e non troppo costosa, mappe che riportino la variabilità del suolo del campo. L'ECA è anche correlabile alla capacità di ritenzione idrica del suolo e, pertanto, mappe ottenute con questa tecnica sono utilizzate per applicazioni di irrigazione a tasso variabile (Hedley e Yule 2009).

La struttura (texture) del suolo è un altro fattore fondamentale, che a sua volta influenza diversi parametri del terreno e delle colture. In molti casi questa misura è stata suggerita come la prima da effettuarsi nell'approccio ad un'applicazione dell'AP in azienda. In Pan et al. (2014) è possibile trovare la descrizione delle procedure e degli strumenti da applicare per questo tipo di rilievi.



Figura 4: Esempio di sistema di misurazione ECA (Modello Veris[®] Technologies Q2800, <http://www.veristech.com/the-sensors/q2800>)

Altri sensori, in fase di studio, riguardano la valutazione di alcune proprietà del suolo come materia organica e contenuto di nutrienti utilizzando le proprietà della luce riflessa e/o trasmessa attraverso il suolo. Questi sensori, concettualmente basati su uno spettrofotometro ed una sonda in fibra ottica, operano nella banda delle radiazioni visibile e infrarossa (banda VIS-NIR).

Per approfondimenti:

- V.I. Adamchuk, J.W. Hummel, M. T. Morgan, S.K. Upadhyaya, 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44, 71–91
- A. Aggelopoulou, S. Fountas, D. Pateras, G. Nanos, T. Gemtos, 2011a. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. *Precision Agriculture*, 12, 118-129
- S. Fountas, K. Aggelopoulou, C. Bouloulis, G.D. Nanos, D. Wulfsohn, T.A. Gemtos, M. Galanis, 2011. Site-specific management in an olive tree plantation. *Precision agriculture*, 12, 179-195
- C.B. Hedley, Z.I.J. Yule, 2009. Soil water status mapping and two variable rate irrigation scenarios. *Precision Agriculture* 10, 342–355
- L. Pan, V.I. Adamchuk, S. Prasher, R. Gebbers, R.S. Taylor, M. Dabas, 2014. Vertical Soil Profiling Using a Galvanic Contact Resistivity Scanning Approach. *Sensors*, 14(7), 13243–13255 (scaricabile da: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4168439/>)
- http://www.aip-suoli.it/download/varie/emi_sensors_priori.pdf
- Veris[®] Technologies, 2014: <http://www.veristech.com>

Telerilevamento (Remote sensing)

Il telerilevamento è definito come l'insieme delle tecniche atte a raccogliere informazioni sul campo senza essere a contatto fisico con l'oggetto in studio (pianta, suolo ecc.). Si tratta di una tecnologia utile all'AP in quanto può fornire dati e parametri distribuiti spazialmente in

modo relativamente semplice. Il principio si basa sull'interazione tra un'onda elettromagnetica e l'oggetto target. L'onda è, come noto dalla fisica, in parte assorbita e in parte riflessa, in funzione delle proprietà del materiale e della sua superficie. Dalla misura di questi segnali, e delle loro componenti, si possono trarre delle importanti informazioni sull'utilizzo del terreno e, nel caso questo sia coltivato, sullo stato delle colture. Le piante, e in particolare i tessuti contenenti clorofilla, producono una particolare risposta spettrale, in termini di componenti assorbite e riflesse, che ne permette l'individuazione e caratterizzazione. Misurare l'intensità della radiazione riflessa a particolari lunghezze d'onda mediante apparati di ripresa multispettrali permette di valutare, ad esempio, il vigore delle piante, ma anche eventuali stati di malattia, di carenza di nutrienti o di stress idrico. Dall'analisi delle immagini multispettrali del suolo è possibile risalire al contenuto di materia organica del suolo, all'umidità ecc. La riflessione della luce (sia naturale solare che emessa da sorgenti calibrate artificiali) è stata studiata per applicazioni in AP con la creazione di opportuni indici che rappresentino lo stato della vegetazione. Il più utilizzato di questi è il Normalized Vegetation Index (NDVI) che può essere utilizzato quale espressione del vigore delle piante, correlabile alla resa delle colture e, in taluni casi, alla loro qualità.

Le misure di riflettanza possono essere effettuate da satelliti, aerei, droni o strumenti collocati a terra. I satelliti possono fornire immagini relative a grandi aree, a costo relativamente basso, ma non forniscono risultati utilizzabili nel caso di cielo coperto e nuvoloso, sono vincolati da traiettorie (ed orari) di volo fissati e, infine, non raggiungono risoluzioni troppo dettagliate. Le riprese effettuate da aeroplani o elicotteri non soffrono il problema delle nuvole, in quanto si ha una maggiore libertà nella pianificazione del volo, ma sono più costosi. I sensori a terra offrono delle buone prestazioni, ma richiedono più lavoro per le operazioni di ripresa. I sensori a terra utilizzano normalmente sorgenti di luce artificiali, con spettro di radiazione noto, che rende le misurazioni indipendenti dalle condizioni della luce incidente del sole, come noto influenzate anche dalle condizioni meteo. Per tale motivo è comune operare di notte, in maniera da rendere nullo l'effetto della radiazione solare.

In diversi studi, la riflettanza delle colture è stata utilizzata in AP per caratterizzare la vigoria di accrescimento delle colture, fattore che riflette la disponibilità di azoto e lo stato di salute delle piante. In alcuni casi questo è anche utilizzato per predire il rendimento e qualità del prodotto che verrà raccolto. L'indice NDVI è stato perciò applicato per regolare le dosi di azoto da apportare. L'ipotesi è che le piante che presentano un più alto NDVI godano di un maggiore azoto disponibile e richiedano quindi solamente di dosi ridotte di fertilizzante in confronto a piante con indice NDVI inferiore. Un esempio di questo tipo di applicazione è stato presentato da YARA (Yara, 2014) per il dosaggio di azoto su colture come cereali, colza o patate. La modulazione ottimale del dosaggio permette un notevole risparmio di fertilizzante, maggiori rendimenti e qualità del prodotto (Lan et al., 2008).

Bramley et al. (2003) hanno utilizzato l'indice NDVI in viticoltura correlandolo alla qualità delle uve, separando il prodotto in lotti per la produzione di vino di qualità alta e bassa.

Qualsiasi oggetto quando presenta una temperatura superiore allo zero assoluto emette radiazioni elettromagnetiche. Questo principio è alla base del funzionamento delle fotocamere termiche (termocamere) in grado di rilevare le differenze di temperatura. Termocamere sono state utilizzate in agricoltura di precisione per diverse applicazioni, tra le quali, ad esempio, la valutazione dello stato idrico delle colture ai fini della regolazione dell'irrigazione (Alchanatis et al, 2010), oppure, sfruttando le diverse caratteristiche termiche dei frutti e delle foglie, la valutazione del numero di frutti presenti su una pianta. A

differenza di altri metodi, con la termografia può non essere possibile sviluppare metodologie universali per le operazioni in agricoltura perché il comportamento termico dei prodotti agricoli è influenzato dalle condizioni climatiche.

Un'altra proprietà delle piante o dei prodotti è l'assorbimento dell'onda elettromagnetica quando questa passa attraverso di essa. Ogni oggetto ha un assorbimento caratteristico di energia a diverse lunghezze d'onda e questo può essere utilizzato per evidenziare parametri legati alle caratteristiche qualitative. Sensori per valutare la proteina o olio contenuto di semi sono già in uso in applicazioni commerciali. La fluorescenza della clorofilla può indicare lo stato della fotosintesi nelle foglie verdi. I sensori di fluorescenza misurano l'assorbimento a specifiche lunghezze d'onda a seguito della dissipazione dell'energia assorbita da emissione di luce a lunghezze d'onda più lunghe. La tecnologia per il rilevamento di fluorescenza può essere utilizzata per rilevare lo stato di azoto pianta (Corpa et al., 2003).

Per approfondimenti:

- V. Alchanatis, Y. Cohen, S. Cohen, M. Moller, M. Sprinstin, M. Meron, E. Sela, 2010. Evaluation of different approaches for estimating and mapping crop water status in cotton with thermal imaging. *Precision Agriculture*, 11, 27-4
- D.M. Bulanon, T.F. Burks, V. Alchanatis, 2008. Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection. *Biosystems Engineering*, 101(2), 161–171
- D.M. Bulanon, T.F. Burks, V. Alchanatis, 2009. Image fusion of visible and thermal images for fruit detection. *Biosystems Engineering*, 103(1), 12–22
- L.A. Corpa, J.E. McMurtrey, E.M. Middletonc, C.L. Mulchid, E.W. Chappellea, C.S. Daughtry, 2003. Fluorescence sensing systems: In vivo detection of biophysical variations in field corn due to nitrogen supply. *Remote Sensing of Environment*, 86, 470–479
- Y. Lan, S. Zhang, W. Hoffmann, C. Ma, 2008. Variable Rate Fertilization for Maize and its Effects Based on the Site-specific Soil Fertility and Yield. *CIGR Ejournal*. Manuscript IT 08 002
- A. Manickavasagan, D.S. Jayas, N.D.G. White, J. Paliwal, 2005. Applications of Thermal Imaging in Agriculture – A Review. *Proc. CSAE/SCGR 2005 Meeting Winnipeg, Manitoba, June 26 - 29*, paper n. 05-002
- Yara, 2014: <http://www.yara.com>

Analisi dei dati e definizione delle zone di gestione

Tutti i dati raccolti devono essere analizzati e interpretati per estrarre il massimo in termini di contenuto di informazione. Le tecniche più utilizzate possono basarsi sulla statistica descrittiva, utilizzata per analizzare la distribuzione e la variabilità dei dati, e sulla geostatistica dove ai dati, in quanto tali, viene associato il concetto di posizione, sviluppando metodi probabilistici di interpolazione spaziale. La costruzione della mappa corrispondente al livello delle parcelle è reso possibile, sulla base di stima dell'errore in punti non campionati, utilizzando un modello di variabilità spaziale dei dati campionati e un metodo di interpolazione. Questo tipo di informazioni, che possono essere ottenute per le proprietà diverse e per anni successivi, aprono nuove e interessanti possibilità di analisi delle colture e gestione agronomica (Arnò, 2009). Un passo importante risiede nella capacità di individuare zone omogenee rispetto ai parametri studiati. Kitchen et al. (2005)

hanno proposto la definizione di aree di gestione sulla base di misure di ECA. Per fare questo hanno usato un metodo di confronto tra pixel appartenenti alla medesima zona, confrontare le zone sulla base di diversi parametri. In altri casi sono state utilizzate tecniche di soft-computing per determinare la correlazione tra le proprietà misurate e permettere una previsione dei risultati. Sono stati infatti utilizzati strumenti quali le reti neurali, le logiche fuzzy per analizzare i dati e giustificare numericamente la variazione dei rendimenti. Per approfondimenti:

- J. Arnó, J.A. Martínez-Casasnovas, M. Ribes-Dasi, J.R. Rosell, 2009. Review: Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. Spanish Journal of Agricultural Research, 7(4), 779-790
- N.R. Kitchen, K.A. Sudduth, D.B. Myers, S.T. Drummond, S.Y. Hong, 2005. Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity. Computers and Electronics in Agriculture, 46, 285-308

Tecnologie di applicazione a rateo-specifico

La tecnologia denominata Variable Rate Application (VRA) è forse lo strumento principale per l'agricoltura di precisione. Tutte le informazioni raccolte, come descritto in precedenza, devono, infatti, essere utilizzate per portare ad una migliore gestione delle colture e questo è proprio l'obiettivo dell'applicazione a rateo variabile (ARV). ARV significa applicare dosi di input (fertilizzanti, prodotti fitosanitari ecc.) al momento opportuno e con precisione. Vi sono due possibili approcci: utilizzando mappe (dette di prescrizione) oppure utilizzando sensori (real-time AP). Nel primo caso si utilizzano informazioni tratte dal GIS, utilizzando i sistemi di rilevazione descritti in precedenza, per controllare processi quali la concimazione, densità di semina, e l'applicazione di erbicidi e il loro tasso di distribuzione, fornendo informazioni puntuali sulla modalità ottimale di applicazione. Il secondo approccio utilizza sensori che consentono di regolare i tassi applicazioni in movimento, nello stesso istante nel quale i dati sono rilevati. I sensori rilevano alcune caratteristiche della coltura o del suolo e regolano le attrezzature per l'applicazione ottimale. ARV può essere applicato a tutti gli input come l'applicazione di fertilizzanti, l'irrorazione di fitofarmaci, l'irrigazione, ma anche per pratiche come la potatura o la raccolta (Auernhammer, 2001). Entrambi i sistemi presentano vantaggi e svantaggi. L'uso dei sensori in real-time sono generalmente più accettati dagli agricoltori in quanto semplici da usare e non richiedono una fase di elaborazione di dati in ufficio. E' evidente che un metodo che misceli entrambi gli aspetti potrebbe offrire ulteriori vantaggi in futuro. L'ARV nell'applicazione di fertilizzanti nella gestione del vigneto e di altre pratiche come l'irrigazione, potrebbe aiutare a ridurre la variabilità nello sviluppo della vite e nella qualità delle uve (Sethuramasamyraja et al. 2010). Nel caso di mappe di prescrizione, le aree di gestione definiscono delle regioni omogenee che condividono comuni esigenze di trattamento. La mappa prescrizione, una volta elaborata, viene importata dal controllore della macchina agricola incaricata di effettuare l'operazione o il trattamento richiesto e ne cambia la regolazione (ad esempio la dose del prodotto applicato per unità di superficie, come prescritto) in funzione della posizione della macchina nel campo. Sono disponibili sul mercato macchine prodotte per regolare sulla base di una mappa di prescrizione la semina, la distribuzione di fertilizzanti, acqua, o di preservare aree in cui eventuali prodotti fitosanitari non possono essere applicati. Ovviamente, l'applicazione è efficace se la qualità dei dati a disposizione è elevata. Questo

obiettivo è più facile da raggiungere con quelle colture dove la variabilità temporale è ridotta. Per esempio è più pratico con le colture arboree che non con quelle erbacee.

Nel caso dei frutteti, diverse caratteristiche possono essere considerate per regolare direttamente gli input. Ad esempio, il volume della chioma, la cui densità e altezza possono essere misurate elettronicamente (Giles et al. 1988) e l'intensità e il profilo di irrorazione possono essere regolati automaticamente di conseguenza, riducendo i casi di operazione fuori bersaglio. In aggiunta, l'assenza di una o più piante può essere rilevata, interrompendo l'erogazione e riducendo, quindi, lo spreco del prodotto fitosanitario. Analogo discorso per quando la macchina raggiunge il fine campo o si arresta per un qualsiasi motivo. Questo livello di automazione facilita il conducente nella normale gestione delle operazioni.

Proprio per queste nuove applicazioni sono stati sviluppati nuovi ugelli in grado di modulare la portata e di modificare il diagramma di irrorazione al fine di migliorare l'uniformità di distribuzione sul bersaglio.

L'irrigazione a rateo variabile è di grande importanza in tutti i contesti in cui si riscontrano carenze di riserve idriche. Applicazioni con sistemi a pivot, a perno centrale, utilizzando mappe di prescrizione hanno dimostrato la possibilità di raggiungere notevoli risparmi di acqua ed energia. Ad esempio, in uno studio di fattibilità sviluppato su terreni coltivati in Grecia e in Turchia ha dimostrato che il considerare la variabilità spaziale delle caratteristiche del suolo può portare fino ad un risparmio del 7% di acqua e di energia (Gemtos et al. 2010).

Negli ultimi anni sono stati sviluppati sistemi wireless di sensori per la misura del contenuto idrico del suolo durante la stagione di sviluppo delle colture. I sensori sono installati nelle zone di gestione e possono fornire all'agricoltore informazioni che gli permettano di decidere se e quando attivare i sistemi per l'irrigazione o fornire direttamente ai sistemi di controllo dei sistemi di irrigazione automatici le informazioni che possono definirne i livelli di corretta applicazione.

Diversi sistemi di rilevamento diretti sono stati utilizzati per il controllo delle infestanti. Una linea di azione prevede l'individuazione delle piante infestanti e di uso di erbicidi solo quando necessario. Tale sistema trova utilizzo tra le file delle colture. Un sensore rileva, attraverso l'analisi del colore e dell'immagine, le infestanti e attiva, solo in quel caso, la distribuzione del diserbante. Con questa tecnica è stato possibile risparmiare più del 30% di prodotti erbicidi. Un'altra linea d'azione può prevedere il diserbo meccanico, evitando accuratamente le piante coltivate, rilevate dai sensori, dal sistema di visione o da una mappa. In questo ultimo caso l'idea è di memorizzare la posizione di messa a dimora del seme e di utilizzarla in seguito per le conduzioni delle operazioni colturali. In questo caso la precisione del sistema GPS tradizionale non è sufficiente; occorrerà quindi rifarsi ad un sistema RTK-GPS.

Tecnologie analoghe si applicano nella distribuzione dei concimi. Sono infatti lontani i tempi in cui lo spandiconcime era formato da una tramoggia e un paio di piatti in rotazione, il tutto azionato, con trasmissione meccanica, dalla presa di potenza del trattore. Oggi lo spandiconcime evoluto ha almeno un terminale in cabina per l'impostazione dei dosaggi per ettaro. Quasi sempre il dosatore ha acquistato un azionamento di tipo elettrico che permette, modulando il numero di giri, di rispettare con buona precisione i dosaggi. Sempre più spesso, inoltre, è dotato di un dispositivo di pesatura che controlla il quantitativo di prodotto residuo, sia per avvertire l'operatore quando si avvicina il momento di ricaricare, sia, ancora una volta, per migliorare il rispetto delle dosi stabilite.



Figura 5: Concimazione a dose variabile (Modello Axis 40 W di Kuhn, fonte: www.kuhn.it)

È evidente che nel caso di spandiconcime dotato di pesatura elettronica e distributore a controllo elettrico (si veda ad esempio figura 5), il dosaggio variabile si ottiene semplicemente cablando alcuni cavi elettrici. Occorre infatti collegare l'attrezzo al trattore con una presa Isobus - se presente - oppure destreggiarsi con pochi cablaggi per ottenere una macchina che differenzi il dosaggio in funzione dell'area di campo trattata. Naturalmente, si deve avere un trattore dotato di ricevitore Gps e un terminale in grado di operare sulle mappe di prescrizione inviando i giusti impulsi alla macchina spandiconcime.

Per approfondimenti:

- H. Auernhammer, 2001. Precision farming - the environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30, 31-43
- T.A. Gemtos, A. Markinos, T. Nassiou, 2005. Cotton lint quality spatial variability and correlation with soil properties and yield. In European conference on Precision Agriculture (ECPA 2005), Uppsala, Sweden.
- D.K. Giles, M.J. Delwiche, R.B. Dodd, 1988). Electronic measurement of tree canopy volume. *Transactions of the ASAE*, 31, 264-272
- B. Sethuramasamyraja, S. Sachidhanantham, R. Wample, 2010. Geospatial Modeling of Wine Grape Quality Indicators (Anthocyanin) for Development of Differential Wine Grape Harvesting Technology. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1(3), 2010