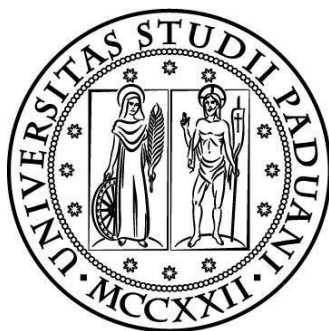




Università degli Studi di Padova

Corso di laurea triennale in Scienze e Tecnologie Animali

**Applicazione delle tecnologie di
Agricoltura di Precisione nella coltivazione del Mais
in una azienda cerealicola-zootecnica**

Relatore: Prof. Luigi Sartori

Correlatore: Massimo Salvagnin

Laureando: Simone Gatto

Matricola n.: 613347

Anno accademico 2012-2013

INDICE

1- INTRODUZIONE.....	7
1.1- Premessa.....	7
1.2- L'Agricoltura di Precisione	8
1.3- La Zootecnia di Precisione.....	8
2- L'AGRICOLTURA DI PRECISIONE	10
2.1- La variabilità in agricoltura	10
2.1.1- La variabilità spaziale.....	10
2.1.2- La variabilità temporale	10
2.1.3- Zone omogenee	11
2.2- La gestione della variabilità.....	12
2.2.1- Il riferimento spaziale.....	12
2.2.2- GPS e agricoltura di precisione	14
2.2.3- Sistemi informativi geografici (GIS).....	15
2.2.4- Telerilevamento.....	16
2.2.5- Sensori e Mappature di produzione.....	17
2.2.6- Campionamento	18
2.2.7- Una nuova tecnica di campionamento: ARP.....	19
2.3- Fase decisionale.....	21
2.3.1- Le simulazioni	21
2.4- Tecnologie per l'applicazione a dosaggio variabile (TAV).....	22
2.4.1- Adeguamento parco macchine: il sistema ISOBUS.....	24
2.5- Gli impieghi nell'applicazione a dosaggio variabile.....	25
2.5.1- La semina	25
2.5.2- La concimazione	26
2.5.3- I trattamenti	27
2.5.4- L'irrigazione.....	28
2.6- I vantaggi dell'agricoltura di precisione	30
2.7- La convenienza dell'adozione dell'Agricoltura di Precisione	30
2.7.1- Aspetti economici.....	31
2.7.2- Aspetti ambientali	32

3- LA ZOOTECCIA DI PRECISIONE	33
3.1- Gestione animali e dell'allevamento	34
3.1.1- Identificazione dei capi	34
3.1.2- Attività motoria	35
3.1.3- Produzione individuale.....	36
3.1.4- Collettori e pulsatori.....	38
3.1.5- Sistemi di mungitura automatici (AMS)	39
3.1.6- Sistemi di distribuzione personalizzata degli alimenti.....	42
3.1.7- Strategie di razionamento	44
3.2- Gestione delle strutture dell'allevamento.....	45
3.2.1- L'ambiente di allevamento.....	45
3.2.2- Il benessere animale	45
3.2.3- Le strutture di allevamento.....	47
3.2.4- Evoluzione delle strutture zootecniche	47
3.2.5- Pavimentazione delle stalle	48
3.2.6- Controllo ambientale	49
3.2.7- Monitoraggio e gestione della mandria.....	49
3.2.8- Il microclima	50
3.2.9- Strategie per il controllo del microclima.....	51
3.3- La convenienza dell'adozione della Zootecnia di Precisione.....	53
4- OBIETTIVI.....	55
5- MATERIALI E METODI	56
5.1- Descrizione del sito	56
5.2- L'azienda e l'Agricoltura di Precisione.....	57
5.3- Area di studio.....	60
5.4- Gestione agronomica.....	60
5.5- Periodo di prova climatico.....	62
6- ANALISI DELL'APPLICAZIONE DI TECNOLOGIE DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE.....	63
6.1- Fase 1 (2002-2006)	63
6.1.1- Le mappe di resa	63
6.1.2- Il campionamento dei terreni.....	64
6.1.3- La concimazione del mais	68

6.2- Fase 2 (2007-2011)	69
6.2.1- Prime mappe di prescrizione	70
6.2.2- Nuovo campionamento dei terreni	71
6.2.3- Mappe delle produzioni.....	73
6.2.4- Evoluzione delle mappe di prescrizione.....	75
6.3- Fase 3 (2012)	77
6.3.1- Il campionamento globale dei terreni.....	77
6.3.2- Le nuove mappe di prescrizione.....	79
6.3.3- Le ultime mappe di produzione.....	81
6.3.4- Nuove operazioni colturali sito-specifiche.....	82
7- RISULTATI	83
7.1- Analisi delle rese	83
7.1.1- Aumento della produzione	83
7.1.2- Omogeneizzazione delle rese	84
7.2- Analisi della dose variabile di concime	85
7.3- Analisi economica	87
7.3.1- Andamento del prezzo del mais	87
7.3.2- Aumento della produttività.....	88
7.3.3- Andamento del prezzo del concime	88
7.3.4- Risparmio del concime.....	89
7.3.5- Costi dell' Agricoltura di Precisione	90
7.3.6- Aumento del reddito.....	92
8- CONCLUSIONI	93
9- BIBLIOGRAFIA	97
9.1- Sitografia	98

1- INTRODUZIONE

1.1- Premessa

L'agricoltura e la zootecnia sono oggi giorno in continua evoluzione e mutamento, perché devono affrontare molteplici difficili problematiche, alcune immediate ed alcune future, quali:

- La progressiva diminuzione delle risorse energetiche e primarie attualmente utilizzate (petrolio e acqua su tutte)
- Il costante aumento dei prezzi per l'acquisto dei fattori produttivi
- La diminuzione dei prezzi di vendita dei prodotti agricoli e zootecnici
- L'inquinamento ambientale
- Il benessere animale
- Il continuo ed inarrestabile mutamento del clima

Queste problematiche, inglobate nel panorama dell'attuale crisi economica internazionale, contribuiscono alla modificazione del sistema primario che, da un modello principalmente produttivistico volto al soddisfacimento dei fabbisogni alimentari, si sta orientando verso la valorizzazione dei prodotti e la salvaguardia delle risorse naturali. Questi sono anche i punti salienti che orienteranno ancor più le scelte in materia di riforme dei programmi di sostegno all'agricoltura da parte dell'Unione Europea, la quale vuole rendere possibile questo cambiamento tramite la revisione delle pratiche colturali e delle tecnologie adottate, e promuovendo iniziative e premi agli imprenditori che si impegnano in questa nuova direzione.

Gli imprenditori e le aziende che operano in questo settore devono inoltre affrontare tali problematiche e nello stesso tempo garantire loro un rendimento economico adeguato, mettendo in atto un enorme sforzo tale da garantire nel lungo periodo la rinnovabilità del processo produttivo, cercando da una parte di salvaguardare l'ambiente e il territorio ma dall'altra tutelando la redditività del processo stesso e mirando all'ottenimento del più basso rapporto tra costi e benefici.

Bisogna quindi orientare le proprie scelte verso una strategia che faccia particolare attenzione alla gestione agronomica del territorio agrario e ad una applicabilità razionale delle innovazioni nell'ambito zootecnico.

Il mezzo che permette di attuare questi cambiamenti è l'innovazione tecnologica, così da ridurre i costi di produzione nel lungo periodo e soprattutto di limitare l'immissione di sostanze inquinanti, senza sottovalutare la riduzione di sprechi di materiali primari.

Da qualche decennio infatti è iniziata la ricerca di soluzioni alternative ai metodi tradizionali, e proprio grazie a questa continua evoluzione tecnologica ed all'introduzione di nuove normative comunitarie e nazionali, si sono perfezionati due nuovi sistemi gestionali e aziendali: l'Agricoltura e la Zootecnia di Precisione.

1.2- L'Agricoltura di Precisione

L'agricoltura di precisione è nata negli Stati Uniti d'America agli inizi degli anni novanta e il nome deriva dall'inglese Precision Agriculture o Precision Farming o Site Specific Farming Management. La sua nascita ed evoluzione è stata favorita e sostenuta proprio dalle potenzialità derivanti dalla diffusa applicazione delle nuove soluzioni tecniche al settore primario.

Questa pratica consiste nell'applicazione di tecnologie, principi e strategie per una gestione spaziale e temporale della variabilità associata agli aspetti della produzione agricola, in relazione alle reali necessità dell'appezzamento (Pierce e Nowak, 1999).

Essa può quindi essere intesa come una forma di agricoltura progredita, volta all'impiego di tecniche e tecnologie mirate all'applicazione variabile degli input colturali all'interno dei terreni, sulla base dell'effettiva esigenza della coltura e delle proprietà chimico-fisiche e biologiche del suolo, al fine di perseguire dei vantaggi di ordine agronomico, mediante l'accrescimento della performance della coltura attraverso la razionalizzazione degli input e la riduzione dei costi colturali ed ambientali (Godwin, 2003).

1.3- La Zootecnia di Precisione

La zootecnia di precisione è un'espressione a cui si associano tutti quelli aspetti economici e gestionali che si stanno orientando e aprendo all'uso di nuove tecnologie.

Oggi ci troviamo a fronteggiare due ordini di problemi.

Il primo è quello della gestione, che non può essere basata solo sull'impressione o sulla raccolta manuale dei dati, ma deve essere informatizzata a livello di allevamento o, meglio, di gruppi di allevamenti. La gestione informatizzata dei dati produttivi considerati dal punto di vista sanitario, produttivo ed economico sfrutta l'idea di una zootecnia di precisione, derivante dalla Precision Farming. L'allevamento, da struttura puramente meccanica, sta diventando una struttura controllata elettronicamente; questo apre al problema dello sviluppo dei programmi, della loro gestione, dell'assistenza tecnica nell'informatica e nell'elettronica applicata alla zootecnia.

Un secondo aspetto che necessita di uno sviluppo della ricerca riguarda l'utilizzazione dei mezzi di produzione con l'avvento delle nuove tecnologie.

Alcuni aspetti chiave degli anni recenti sono:

- l'evoluzione delle tecnologie nei comparti dell'edilizia rurale, degli impianti e della gestione degli allevamenti;
- il miglioramento dei livelli prestazionali delle strutture e della qualità degli ambienti stabulativi;
- la sostenibilità delle aziende tramite l'uso razionale delle risorse, risparmio energetico, energie rinnovabili, limitazione dei rischi di inquinamento, benessere animale, inserimento nel territorio e nel paesaggio;
- il miglioramento delle condizioni lavorative: minore fatica, maggiore sicurezza.

2- L'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

2.1- La variabilità in agricoltura

In agricoltura, un qualsiasi appezzamento è caratterizzato da una certa variabilità che interessa tutti i parametri che riguardano il terreno stesso e potendo localizzarla e classificarla è possibile utilizzare tecniche di agricoltura di precisione a distribuzione variabile degli input.

La variabilità riscontrabile in campo è la risultante dell'interazione tra una componente spaziale, una componente temporale ed il tipo di coltivazione e gestione agronomica messe in atto dall'azienda (Sartori et al, 2005).

Il fattore chiave per l'applicazione di tecniche di gestione a intensità variabile è che l'intensità della variabilità è proporzionalmente più conveniente all'aumentare della variabilità.

La componente spaziale ha la stessa importanza della componente temporale, dal momento che gli stessi fattori costituiscono la massima espressione della produttività in un'entità variabile del tempo (Machado, 2000).

Ad essi è associata la componente colturale dovuta alla differente risposta produttiva manifestata da colture diverse all'interno dello stesso appezzamento (Bjarne et Steffen, 2003).

2.1.1- La variabilità spaziale

Per variabilità spaziale si intende l'attitudine di un determinato parametro a manifestarsi con intensità differente nello spazio, discostandosi in maniera più o meno marcata dal valore medio misurabile all'interno dell'appezzamento.

L'aspetto fondamentale per cui si può distinguere la manifestazione di un determinato parametro all'interno di un campo è la sua ubicazione all'interno dello stesso, il quale può essere più o meno intensamente correlato dal punto di vista spaziale a tutti gli altri parametri, di conseguenza risulta che l'insieme di tutti i parametri influenza la resa finale, in quanto l'interazione degli stessi influenzano l'espressione della massima produttività della coltura (Gupta, 1999).

2.1.2- La variabilità temporale

I limiti che riguardano la massima potenzialità di una coltura sono variabili tanto nello spazio quanto nel tempo. Per questo si deve considerare anche la variabilità temporale di un determinato parametro. Essa si può definire come l'attitudine dello stesso ad assumere un'intensità differente nel tempo in corrispondenza dello stesso punto all'interno dell'appezzamento.

La variabilità temporale si può riscontrare in due modalità:

- esaminando la variabilità di un determinato punto nel corso della stessa annata. In questo caso il parametro in esame tende a manifestare un'intensità differente nel corso del tempo sulla base delle condizioni ambientali e dalle interazioni con gli altri fattori presenti (es: contenuto acqua disponibile);
- osservando la variabilità in annate differenti: varianza temporale. In questo caso il parametri in questione tende a variare nel tempo in corrispondenza dello stesso punto, indipendentemente dall'eventuale variazione subita nel corso della singola stagione colturale.

2.1.3- Zone omogenee

Lo studio della variabilità sia spaziale sia temporale persegue l'obiettivo di individuare e quantificare l'intensità di uno o più parametri e caratterizzarne i suoi componenti principali con lo scopo di determinare in aree di appezzamenti stabili nel tempo, singole parti di esse in cui i fattori limitanti alla produttività siano diverse dal resto dell'appezzamento, per poter così applicare input in forma variabile. Queste aree vengono definite come zone omogenee.

L'individuazione di queste zone permette all'operatore di riconoscere le aree in cui focalizzare la propria attenzione nella fase di studio della variabilità, per poi poter pianificare degli interventi di campionamento e infine di definire quelle aree dell'appezzamento da trattare in maniera differente, grazie alle tecnologie di Agricoltura di Precisione. Per zona omogenea si intende una o più parti di un appezzamento le cui interazioni tra i singoli fattori limitanti la potenzialità produttiva della coltura hanno causato un livello di resa diverso dalle altre; tali zone pertanto possono essere gestite in maniera uniforme ma differente dal resto dell'appezzamento, per poterne aumentare la produttività ed ottenere di conseguenza un maggior tornaconto economico.

Il numero di zone omogenee sarà maggiore all'aumentare della variabilità riscontrata, aumentando anche la difficoltà di gestione sia in termini di complicazione di cantieri di lavori sia di compatibilità tra la frammentazione dell'appezzamento in molte aree differenti.

2.2- La gestione della variabilità

Lo studio della variabilità di un appezzamento è una delle fasi principali per poter applicare le tecniche di agricoltura di precisione. Punto fondamentale per poter esaminare con cura la variabilità è la raccolta dei dati. L'acquisizione dei dati relativi alla variabilità dei parametri riscontrabili all'interno di un appezzamento permette di definire i fattori sui quali poter ragionare per definire le scelte e le strategie da adottare. Per la raccolta dati esistono diverse tecniche, su tutte la mappatura delle produzioni che sfrutta foto e dati provenienti da fonti aeree e satellitari.

Le varie modalità di acquisizione dei dati si possono assumere in:

- Riferimenti spaziali (GPS)
- Sistemi Informativi Geografici (GIS)
- Telerilevamento
- Sensori e Mappature di produzione
- Campionamento

2.2.1- Il riferimento spaziale

Le informazioni relative a un terreno devono essere geo-referenziate per poter dare informazioni utili e complete di un appezzamento. Il sistema di posizionamento globale (GPS) è lo strumento migliore per identificare e registrare la posizione di un oggetto sulla superficie terrestre.

Tre sistemi sono stati creati per quest'obiettivo:

- Sistema globale di posizionamento e navigazione americana: NAVSTAR-GPS
- Sistema globale di navigazione satellitare russo: GLONASS
- Sistema europeo geostazionario di navigazione: EGNOS

Questi sistemi sono caratterizzati dalla presenza di:

- una costellazione di satelliti attorno alla Terra (figura 1)
- una stazione di controllo, che monitora manovra e aggiorna le informazioni dei satelliti
- una stazione che invia agli utenti interessati i posizionamenti richiesti

La posizione di un utente GPS si calcola in base alla distanza dai satelliti rispetto al punto considerato. Il principio di funzionamento si basa su un metodo di posizionamento sferico, esso consiste nel misurare il tempo impiegato da un segnale radio a percorrere la distanza satellite-ricevitore.

Conoscendo il tempo impiegato dal segnale per raggiungere dal ricevitore l'esatta posizione di tre o quattro satelliti per avere una buona posizione bidimensionale o tridimensionale, è possibile determinare la posizione nello spazio del ricevitore (Sartori et, 2005).

L'utilizzo di un ricevitore GPS consente quindi di captare il segnale emesso dai satelliti visibili sull'orizzonte del ricevitore stesso, oltre che a conoscere la propria posizione, la quale viene espressa in coordinate(X;Y;Z) in un sistema cartesiano tridimensionale di riferimento che ha l'origine in corrispondenza con il centro della Terra.

L'accuratezza del dato di posizione è influenzata da molte cause di errore, alcune inevitabili:

- sfasamento degli orologi satellitari o del ricevitore
- riduzione della precisione
- atmosfera terrestre
- errori della traiettoria del segnale

Per questo motivo l'emittente di onde radio del satellite può funzionare da ricevitore, in modo tale da captare i segnali provenienti dalle stazioni di base che sono situate in punti in cui sono conosciute le coordinate geografiche reali rispetto ai singoli satelliti. In questo modo ogni stazione di base può calcolare continuamente la sua distanza da ciascun satellite e stabilire l'entità dello scarto tra distanza reale e quella misurata, per poter fare una correzione differenziale.

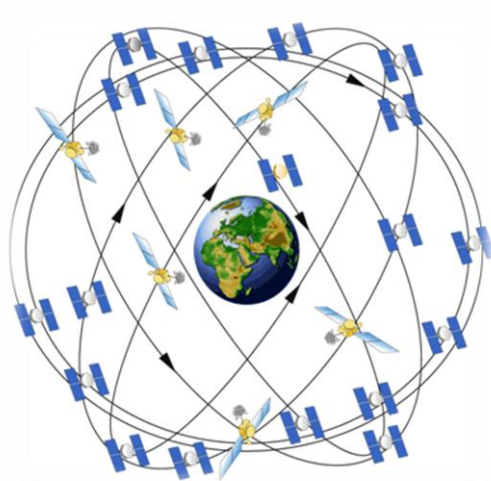


Fig. 1: Rappresentazione schematica del sistema di posizionamento e navigazione satellitare, riportante le differenti orbite dei 24 satelliti in rotazione attorno alla superficie terrestre.

Fig. 2, a fianco: la foto di un ricevitore satellitare di posizione John Deere StarFire 3000 da applicare alla macchina operatrice per captare i segnali GPS.

2.2.2- GPS e agricoltura di precisione

Il sistema GPS offre la possibilità di poter esprimere la posizione di un punto qualsiasi nell'appezzamento come coppia di coordinate geografiche e di associare delle informazioni e dei dati relativi ad esso. Inoltre registra la variabilità presente al suo interno, codificandola e creando un formato geografico all'interno di un sistema di riferimento.

L'uso di un ricevitore satellitare (figura 2) in agricoltura può trovare diverse applicazioni, che si possono ricondurre essenzialmente alla rilevazione dei confini di un appezzamento ed alla determinazione della posizione di una macchina operatrice al suo interno, così da poter creare in corrispondenza di un punto la registrazione (mappatura) e/o l'attuazione di un'informazione (distribuzione a dosaggio variabile).

Altre utilizzazioni in agricoltura sono:

- campionamento del suolo e scouting: impiego di un ricevitore satellitare per registrare i punti di prelievo del terreno e per individuarli e riconoscerli successivamente all'interno della mappa (figura 3)
- rilevazione di confini e aree: operazione che consiste nel seguire i bordi dell'appezzamento con un ricevitore satellitare abbinato a uno strumento di registrazione (es. palmare o data-logger) e di annotare le coordinate dei vertici del campo per il calcolo del perimetro e dell'area.
- sistemi di navigazione: sistemi elettronici di guida che sfruttano ricevitori satellitari che indicano il percorso ottimale da seguire tramite segnali luminosi o acustici (barra di guida) o che guidano autonomamente la macchina durante il percorso rettilineo (guida semi-automatica)(figura 4).
- livellazione del terreno: con l'abbinamento di questa operazione con un ricevitore satellitare si può velocizzare e rendere più precise le procedure ad essa connesse.



Fig.3 (a sinistra): Ricevitori satellitari utilizzati per il campionamento del suolo.

Fig. 4 (a destra): monitor del GPS per sistemi di navigazione assistita.

2.2.3- Sistemi informativi geografici (GIS)

Uno strumento GIS può essere definito come una serie di strumenti per acquisire, estrarre e trasformare dati spaziali nel mondo reale tramite un sistema composto da banche dati, hardware, software e organizzazione che gestisce, elabora e integra informazioni su una base spaziale geografica. Un GIS localizza elementi di dati spaziali appartenenti al mondo reale in un sistema di coordinate su mappe in formato digitale; in tale processo gli elementi possono essere raggruppati in diversi strati informativi (figura 5).

Inoltre, esso registra in forma tabulare le informazioni descrittive relative agli elementi spaziali rappresentati sulle mappe, che vengono definiti “attributi”. Questi ultimi vengono catalogati in un database separatamente dagli elementi grafici, ma rimangono ad essi associati, permettendo di interrogare allo stesso tempo i dati spaziali e gli attributi (Sartori et al, 2005).

Un GIS può quindi combinare dati geografici a dati di altro genere per generare mappe tecniche sintetiche, permettendo all'utente di raccogliere, gestire ed interpretare in maniera pianificata e sistematica le informazioni relative a specifici siti.

I dati utilizzati all'interno di un GIS si distinguono per i seguenti attributi: posizione specifica nello spazio, componente descrittiva, componente temporale, relazioni spazio-temporali con altri dati.

Ai fini dell'agricoltura di precisione l'impiego di questi strumenti è fondamentale perché essi consentono di gestire una grande quantità di dati, con il fine elaborarli associandoli a funzioni di analisi, e visualizzarli alla fine graficamente in modo geo-referenziato.

Nel caso della gestione variabile di un appezzamento, tali modelli consentono di sovrapporre informazioni differenti riferite alla stessa area, facilitandone la comprensione delle relazioni esistenti a loro carico nella parte del terreno esaminata (Basso, 2003).

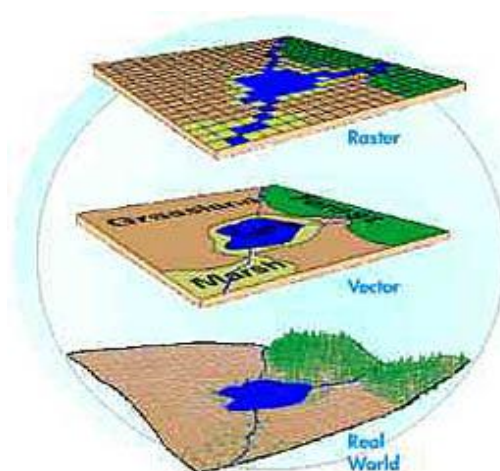


Fig. 5: Il GIS è uno strumento che permette di sovrapporre file raster, file vettoriali e il mondo reale.

2.2.4- Telerilevamento

Il telerilevamento (TR) è una tecnica che permette di acquisire informazioni sulle caratteristiche di un oggetto attraverso l'analisi di dati che non entrano in contatto con esso (Lillesand et al, 1994).

L'acquisizione dei dati nel telerilevamento si basa sulla misurazione della quota di energia elettromagnetica che, raggiunta la superficie terrestre e gli oggetti che si trovano su essa, viene riflessa o emessa; sia essa proveniente dal sole, dalla terra, dalla vegetazione o generata da strumenti radar o laser.

In agricoltura, lo spettro di maggior interesse parte dalle onde dell'ultravioletto (UV) all'infrarosso. In genere il telerilevamento utilizza informazioni ottenute da piattaforme aeree, satellitari o da supporti a Terra, che sono in grado di sfruttare la radiazione elettromagnetica in una o più lunghezze d'onda, sia riflessa che emessa dalla superficie terrestre.

I dati vengono poi raccolti attraverso sensori o apparecchi fotografici remoti, distanziati dall'oggetto di studio. Le informazioni reperite riguardano il terreno, lo stato di salute della coltura, l'andamento della coltura durante il ciclo produttivo, la fase di maturazione del prodotto finale, il momento ideale per la raccolta. Tutte queste informazioni, attraverso questa tecnologia, possono essere reperite in tempi brevi su superficie ampie, ripetendo l'acquisizione in più volte nel corso del ciclo colturale, evitando di entrare in campo nei momenti in cui le condizioni pedoclimatiche non lo permetterebbero e avendo così dati aggiornati sulla coltura (figura 6).

Il telerilevamento integrato alle tecniche di analisi GIS, rappresenta un modo pratico, sistematico ed economico di ottenere, mantenere ed aggiornare le informazioni nei seguenti campi di applicazione:

- gestione dei processi produttivi
- dettagli degli appezzamenti e tipologie di colture
- inventario e previsioni di produzione
- controllo della proprietà
- valutazione dei danni post-calamità

Le informazioni prodotte su larga scala, inoltre non sono limitate da misure intervallate nello spazio o da interpolazioni geo-statistiche a seguito di differenti strategie di campionamenti del suolo e della vegetazione (Sartori et al, 2005).

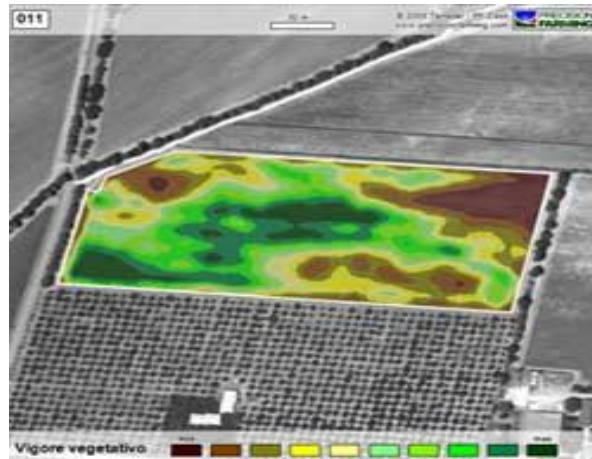


Fig. 6: Mappa di vigore vegetativo: da un aeromobile (aereo, elicottero, satellite spaziale) viene ripresa una immagine del suolo con una speciale fotocamera multispettrale: per ogni pixel dell'immagine si rileva l'intensità di riflessione della luce solare da parte del fogliame; in alcune lunghezze d'onda (nel non visibile, quale infrarosso e infrarosso vicino) si ottengono valori particolarmente significativi per capire la reale attività fotosintetica della pianta e quindi il suo stato di benessere.

2.2.5- Sensori e mappature di produzione

La mappatura delle produzioni consiste nella rilevazione e registrazione del flusso di massa o di volume istantaneo di prodotto agricolo abbinato alle specifiche coordinate geografiche di quel punto (Sartori et al, 1999).

Tale monitoraggio è possibile tramite sensori montati nella mietitrebbiatrice, dotata di un'antenna per la ricezione satellitare, al fine di avere una precisione accurata del dato di posizionamento.

I sensori determinano la resa direttamente attraverso la misura della forza d'impatto del flusso o del volume, oppure indirettamente tramite l'osservazione della densità per mezzo dell'attenuazione dei raggi gamma emessi da una sorgente.

Gli appositi sensori utilizzati si classificano in:

- Sensori di portata della granella: servono per la misurazione della massa e del volume del flusso della granella.
- Sensori densità: misurano la portata volumetrica della granella.
- Sensori di umidità: rilevano l'effettiva produzione di sostanza secca
- Sensori di velocità d'avanzamento: misurano la velocità di avanzamento della macchina operatrice per via diretta e indiretta
- Sensori alla barra: posti sulla testa raccogliitrice rilevano la sua posizione rispetto al terreno sia la larghezza effettiva di lavoro.

- Sensori in fase di sperimentazione: sono associati a tecnologie NIR e servono a determinare gli aspetti qualitativi di una coltura, quali ad esempio l'investimento colturale al momento della raccolta o il popolamento delle malerbe.

Questi sensori hanno un margine di errore relativo in base alla tipologia (dal 3% al 10%).

La fase più importante nell'impiego di questi sensori è la loro calibrazione all'inizio della stagione di raccolta in modo da non aver ripercussioni sull'accuratezza dei dati.

Una volta ottenuti i vari dati grezzi del raccolto, è possibile elaborare le mappe di produzione per ciascun appezzamento, tramite un software in dotazione all'azienda (figura 7).

In questa fase è possibile visualizzare sul monitor il tracciato della mietitrebbiatrice all'interno del campo, il suo confine, i dati puntiformi relativi alle misurazioni dei sensori e unendo tali informazioni si ottiene la mappa di produzione.

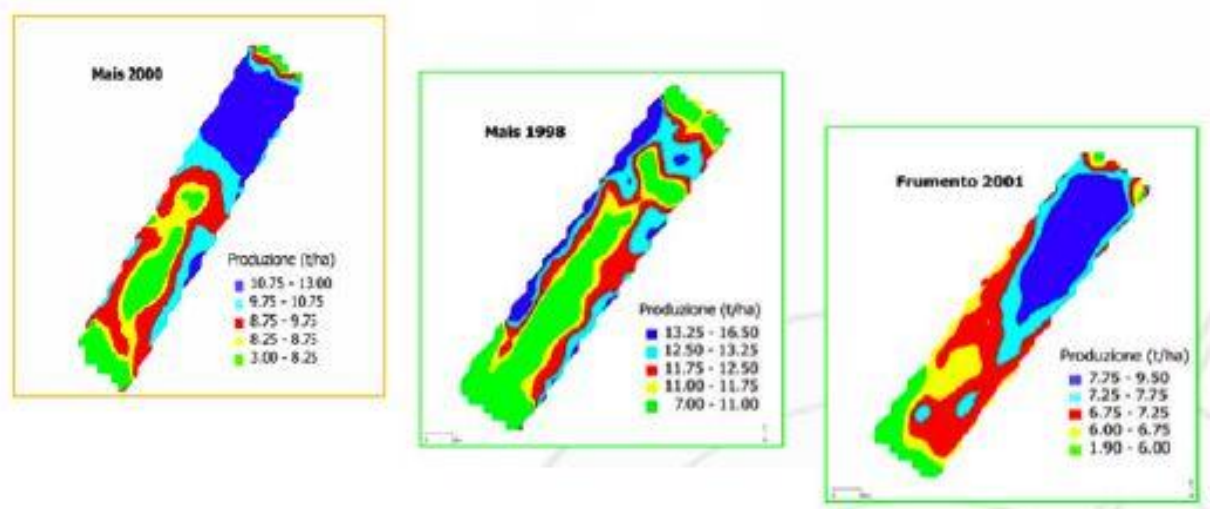


Fig. 7: Mappe di produzione raccolte negli anni per lo stesso campo: le differenze di produzione misurate nello spazio (identificate con le zone colorate che hanno dimensione e forma differenti) sono cambiate nel tempo.

2.2.6- Campionamento

Il campionamento del terreno è un aspetto fondamentale per un adeguato programma di gestione delle operazioni colturali, soprattutto in caso di variabilità spaziale accertata.

Il campionamento consiste in una serie di prelievi all'interno dell'appezzamento in esame mirati ad analizzare le proprietà chimico-fisiche del suolo, esaminandone la struttura e la composizione di elementi primari e secondari di cui le piante traggono benefici.

Il parametro che riveste maggior interesse è la fertilità di un terreno, ovvero la capacità di un terreno di mettere a disposizione della pianta gli elementi nutritivi necessari (Sartori et al, 2005).

Esistono principalmente due metodi di campionamento:

- Campionamento sistematico: consiste nel dividere il campo in tante aree uguali, formando una griglia, in cui verranno poi raccolti i campioni. A ogni singola area viene poi attribuito un valore per il proprio risultato dell'analisi, avvalendosi dell'uso di un ricevitore satellitare per individuare il punto esaminato.
- Campionamento selettivo: prevede l'individuazione di zone del terreno con caratteristiche pedologiche o produttive uguali, tramite lo studio delle mappe di produzione e dei campionamenti degli anni precedenti e successivamente esse vengono campionate (figura 8).

In agricoltura di precisione il campionamento rappresenta un passaggio di fondamentale importanza per la conoscenza e la gestione della variabilità di un appezzamento e se viene unita alla mappatura delle rese può massimizzarne l'efficacia di esecuzione.

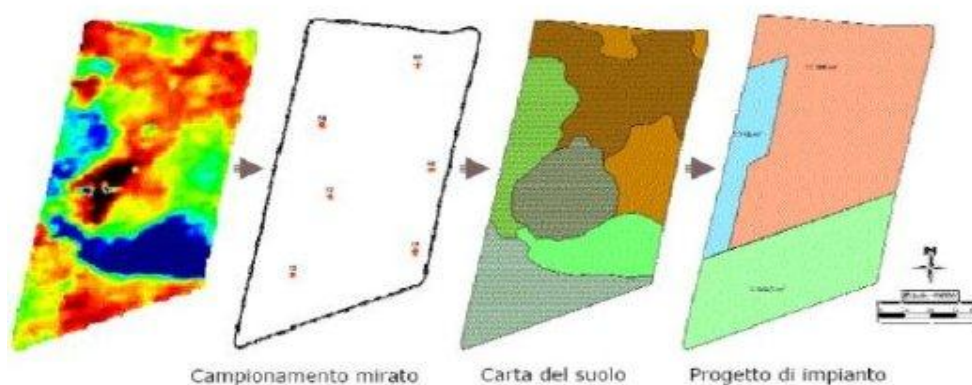


Fig. 8: Campionamento del suolo selettivo con l'individuazione delle zone che si vogliono analizzare in base allo studio delle mappe di produzione e dei campionamenti precedenti.

2.2.7- Una nuova tecnica di campionamento: ARP

La tecnologia ARP (Automatic Resistivity Profiling) è un nuovo metodo d'indagine rapido e non distruttivo che permette di determinare in continuo la resistività elettrica del suolo (in Ohm/m) legata a variazioni di tessitura, contenuto idrico e salinità.

Potenzialità in agricoltura:

- Delineazione della variabilità spaziale delle proprietà permanenti del suolo all'interno dell'appezzamento
- Supporto alle tecniche di indagine tradizionale: riduzione ed ottimizzazione del numero dei campioni
- Supporto per tecniche di Agricoltura di Precisione

L'ARP consente la mappatura ad alta risoluzione di ampie superfici a tre profondità del piano di campagna (0-50; 0-100 e 0-200 cm) in tempi rapidi (fino a 20 ha al giorno) ed a costi contenuti.

Lo strumento è provvisto di un ricevitore GPS a correzione differenziale che permette, non solo di localizzare con un livello di dettaglio centimetrico i valori di resistività, ma anche di ricostruire un modello digitale di elevazione del terreno (DEM).

Il sistema, sviluppato in Francia da Geocarta S.A., uno spin-off del CNRS francese (Centre National de la Recherche Scientifique), rappresenta ad oggi la tecnologia più valida per l'individuazione della variabilità delle proprietà permanenti del suolo (Basso et al, 2010).

Lo strumento si compone di quattro assi di ruote dentate; il primo asse immette una corrente debolmente alternata nel terreno, mentre i tre assi successivi misurano la differenza di potenziale permettendo di risalire ai valori di resistività contemporaneamente sui tre livelli distinti (figura 9).

Gli elettrodi vengono infissi nel terreno in continuo grazie alle ruote dentate che permettono agli elettrodi di essere sempre a contatto con il terreno. La posizione esatta orizzontale (X;Y) e verticale (Z) del sistema ARP viene ottenuta mediante l'utilizzo di un GPS differenziale con precisione di circa 30 cm e restituita in coordinate UTM. Con una sola indagine è possibile conoscere la variabilità spaziale orizzontale che è percorsa lungo il profilo, con un'altissima densità di misure (30.000/ha). I punti di forza di questa tecnologia sono:

- Rapidità di esecuzione
- Stabilità della misura
- Imperturbabilità ai fattori esterni (come presenza di metalli e temperatura aria)
- Alta risoluzione
- Robustezza paragonabile agli attrezzi di uso comune in agricoltura.

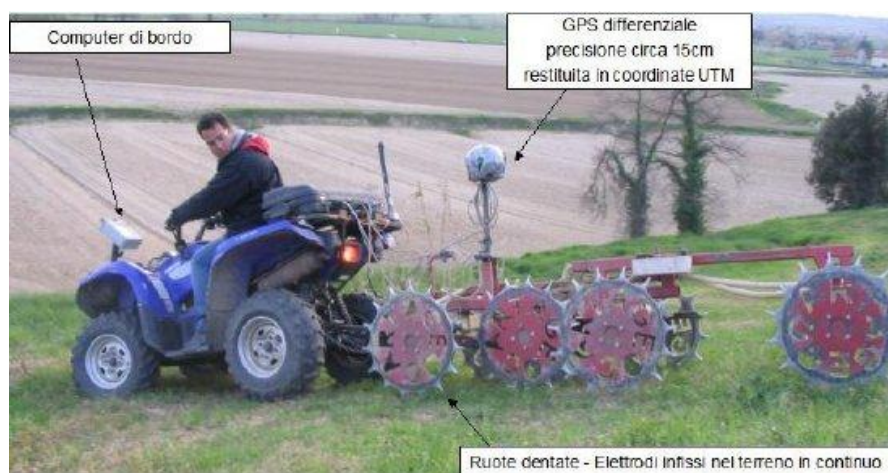


Figura 9: Il sistema ARP, trasportato da un mezzo a quattro ruote munito di encoder digitale e sistema DGPS, è capace di acquisire in continuo superfici di considerevoli estensioni in tempi brevi

2.3- Fase decisionale

Una volta stabilita l'entità della variabilità di un appezzamento e quantificata la sua entità, il passaggio all'utilizzo delle tecniche di agricoltura di precisione necessita di una approfondita e consapevole fase decisionale. Tale fase decisionale è costituita da una elaborazione dei dati, da parte dell'operatore interessato ad applicare tecniche a dosaggio variabile, il quale deve scegliere la strategia migliore da eseguire sul proprio terreno.

Lo studio e l'analisi della variabilità non è sufficiente per operare in questa maniera, in quanto è necessario valutare la dinamica e le influenze reciproche di suolo, clima, genetica e pratiche colturali, oltre a considerare che il suolo non è solo un contenitore di elementi chimici semplici ma una complessità di interazioni chimico-fisiche (Sartori et al, 2005).

Per questi motivi nella fase decisionale ci si può avvalere dell'apporto di computer e tecnologie che permettono un approccio migliore per le problematiche presenti in agricoltura, grazie all'uso si sistemi di supporto: le simulazioni.

2.3.1- Le simulazioni

L'importanza che i modelli di simulazione possono assumere a livello di pianificazione è dimostrata dal loro impiego da parte delle Istituzioni Governative per la programmazione di strategie a lungo periodo. Nell'agricoltura di precisione, l'aver a disposizione queste tecnologie permette di operare con un enorme potenzialità.

La simulazione di un sistema viene definita come l'imitazione reale nel tempo di un processo o del sistema stesso e permette la valutazione dello scenario così costituito per operare nel sistema reale (Sartori et al, 2005).

La simulazione consiste nel:

- Codificare un modello matematico in un programma da utilizzare nel computer per produrre dati simulati
- Confrontare dati reali prodotti dal modello matematico con quelli sperimentali
- Simulare scenari differenti a partire da condizioni note

Attraverso lo sviluppo di modelli, grazie a sistemi come il DSSAT o il SALUS, si possono quantificare e prevedere lo sviluppo e la crescita delle piante, la durata delle fasi fenologiche, le componenti della resa, l'influenza di stress idrici e nutrizionali e inoltre gli effetti metereologici sulla produzione. L'utilizzo di questi strumenti simulativi permette di prevedere con una certa affidabilità l'efficacia delle pratiche colturali con gestioni differenti per un determinato terreno considerato, in una precisa zona climatica e con una cultivar stabilita.

Le strategie di un agricoltore possono essere aidate e supportate dai modelli di simulazione, con l'ausilio di questi modelli infatti, l'agricoltore ha la possibilità di simulare in breve tempo tecniche agronomiche e modalità operative diverse per ottenere risposte quantitativamente affidabili.

2.4- Tecnologie per l'applicazione a dosaggio variabile (TAV)

Dopo che l'operatore ha individuato e scelto le strategie con cui agire su di un appezzamento attraverso la pratica di tecniche di agricoltura di precisione, deve avvalersi di attrezzature che permettano di distribuire gli input produttivi quali semi, concimi, pesticidi, ecc., in maniera differenziata e razionalizzata (figura 10).

L'attrezzatura che permette ciò è chiamata tecnologia di applicazione variabile (TAV).

Esistono sostanzialmente due metodologie per poter effettuare la TAV:

- TAV basata su mappe
- TAV basata su sensori

Entrambe le metodologie si avvalgono dei seguenti elementi:

- Sensori, che forniscono i dati per cui sono stati concepiti;
- Unità di acquisizione ed elaborazione, che legge ed elabora i dati di input e le mappe di prescrizione;
- Unità di controllo, che comanda gli attuatori dell'applicazione a dosaggio variabile sulla base delle informazioni ricevute dall'unità precedente e delle caratteristiche della macchina operatrice;
- Attuatori, che agiscono sul sistema di regolazione dell'attrezzatura trasformando gli impulsi e gli input ricevuti in azioni fisiche.

La tecnologia di applicazione variabile basata su mappe consiste nell'utilizzo di macchine che possono modificare l'entità di un trattamento specifico tramite le informazioni contenute nelle mappe di prescrizione. Questo metodo è possibile tramite la presenza di un sistema di localizzazione della macchina nell'appezzamento (GPS) che consente di modulare il funzionamento del macchinario a seconda del punto dell'appezzamento in cui si trova, il quale ha caratteristiche ed esigenze ben precise e precedentemente analizzate.

La metodologia basata invece sui sensori, si avvale di sensori chiamati "on the go", i quali rilevano in tempo reale i parametri correlati con la resa della coltura (caratteristiche del terreno, stato della coltura, ecc.) i quali vengono poi utilizzati come indicatori per la distribuzione e regolazione dei vari input produttivi. Questo metodo non richiede necessariamente l'impiego del ricevitore

satellitare ma può essere integrato con esso per la registrazione dei dati e la loro elaborazione su mappe. La TAV basata su mappe opera in base a parametri prefissati e, dal momento che intercorre un certo lasso di tempo tra la costruzione delle mappe e l'applicazione degli input, vi può essere una mancata corrispondenza nel caso si intervenga per correggere caratteristiche che variano nel tempo, come le caratteristiche chimico-fisiche di un terreno. Inoltre le mappe risultano costruite su un limitato numero di punti, mentre i sensori raccolgono tutta la variabilità spaziale.

Le mappe però danno l'opportunità di operare sulla base di un quadro globale e complesso del terreno (Sartori et, 2005).

D'altra parte la TAV basata su sensori non vede il diretto intervento dell'uomo, per cui si conosce solo a posteriori l'effettivo risultato della distribuzione a dosaggio variabile. I sensori poi, non sono sempre affidabili per le varie grandezze che si vogliono rilevare in quanto non sempre esistono o permettono una rilevazione accurata e con il minimo scarto di errore. Inoltre le numerose grandezze che devono essere continuamente monitorate possono creare delle difficoltà. Tuttavia, questa metodologia richiede minor investimenti, sia di tempo che economici, poiché essi non richiedono l'impiego di ricevitori satellitari, di sistemi informativi geografici e di sistemi di elaborazione dati.

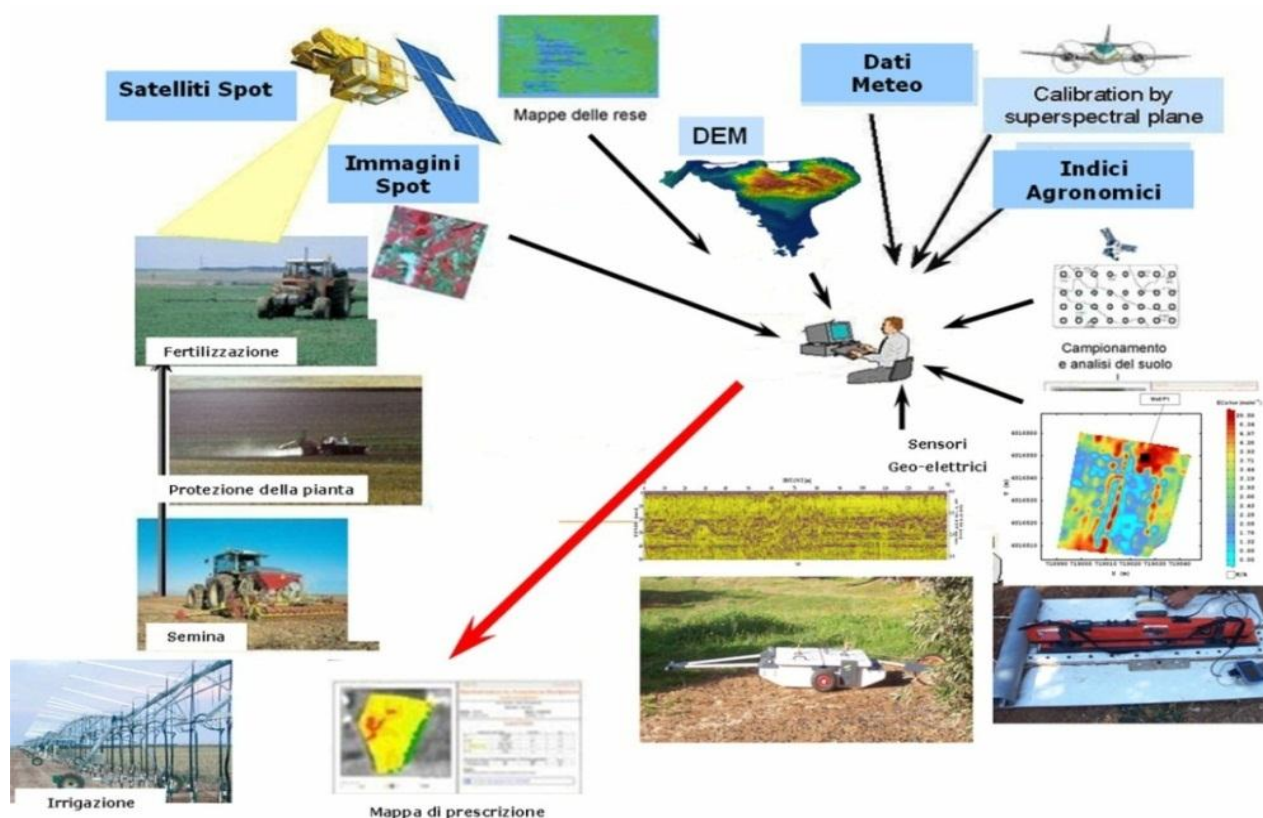


Figura 10: tutti i sistemi di acquisizione e di analisi di un appezzamento e della sua variabilità portano alla creazione di mappe di prescrizione che vengono utilizzate per l'applicazione a dosaggio variabile in varie operazioni culturali.

2.4.1- Adeguamento parco macchine: il sistema ISOBUS

Allo scopo di poter applicare tecnologie a dosaggio variabili è necessario adeguare il parco macchine a disposizione con strumenti e sistemi che permettano di leggere, elaborare e applicare la prescrizione della dose, agendo direttamente sugli attuatori ovvero le macchine operatrici, esercitandone il controllo.

Negli ultimi anni a tal proposito, è stato creato un sistema che permette il raggiungimento di tali obiettivi, offrendo inoltre una semplicità di utilizzo e un'enorme efficienza: il sistema ISOBUS.

La tecnologia ISOBUS, di cui l'azienda americana DICKY-JOHN è la principale ideatrice e realizzatrice, induce un radicale cambiamento degli strumenti a disposizione degli operatori per la conduzione del proprio lavoro. Nelle cabine dei trattori entrano veri e propri computer di bordo, i quali hanno funzione di supervisore della macchina, supportando l'agricoltore nell'esecuzione delle operazioni e cercando di alleviare quelle più frustranti, grazie a nuove tecniche nell'automazione congiunta del sistema trattore-attrezzi (figura11).

Le tecnologie ISOBUS sono più facili da usare, immediate nella comprensione e standardizzano il comando e controllo di attrezzi anche se provenienti da costruttori diversi.

Questo nuovo sistema nasce per rendere automatiche una serie di informazioni riguardanti la tracciabilità delle operazioni colturali di campagna, una delle funzioni che saranno sempre più richieste nel futuro per dare valore aggiunto ai prodotti agricoli.

Grazie al sistema ISOBUS un unico terminale grafico, definito dalla norma Virtual Terminal (figura 12), posto a bordo trattore può governare tutti gli attrezzi ISOBUS compatibili e gestire mappe a rateo variabile, inviando alla parte ISOBUS lato macchina in maniera automatica le indicazioni di cambio di dose quando l'attrezzatura si sposta da una area ad una altra con differente prescrizione.



Fig.11 a sinistra: Schema del funzionamento di ISOBUS ed esempio di cabina con computer di bordo (Virtual Terminal) di un trattore. Fig. 12: a destra, Virtual Terminal della John Deere, i dati del trattore e le mappe di prescrizione vengono caricate sul monitor tramite una memory card.

2.5- Gli impieghi nell'applicazione a dosaggio variabile

Prima di applicare tecnologie a dosaggio variabile è di importanza fondamentale adottare nella propria azienda un'adeguata gestione delle macchine da utilizzare.

Bisogna infatti prestare molta attenzione alla regolazione e taratura delle attrezzature prima dell'entrata in campo. Un aumento di pochi centimetri nelle lavorazioni del terreno causa aumenti di costi ed energia, così come la mancata taratura di un irroratrice o di un spandiconcime può vanificare i fini dell'intervento (Sartori et al, 2005).

Gli impieghi dove la gestione sito-specifica hanno dato importanti riscontri sull'applicabilità del dosaggio variabile sono:

- La semina
- La concimazione
- I trattamenti
- L'irrigazione

2.5.1- La semina

Nella semina la TAV agisce su tre aspetti: la densità, la profondità di deposizione seme e la varietà. Nelle seminatrici convenzionali si utilizza una ruota di trasmissione aderente al terreno, collegata al sistema di distribuzione delle sementi, distribuendo costantemente e indipendentemente dalla velocità di avanzamento del trattore.

Le seminatrici adatte per l'Agricoltura di Precisione devono poter variare la densità di semina durante il lavoro all'interno dell'appezzamento e questo avviene disconnettendo la trasmissione tra la ruota e il sistema di distribuzione del seme e inserendovi un motore, idraulico o elettrico (figura 13), per dare gli input all'organo di distribuzione, in modo da variare il regime di rotazione a seconda delle esigenze (Savorelli et al, 2011).

Infatti tramite una console montata sul trattore si può indicare la quantità di semi o chili da seminare. Attraverso poi un sensore di velocità installato nella ruota della macchina si determina in tempo reale la velocità alla quale il motore deve girare per applicare la dose prevista mentre un sensore di lavoro indica contemporaneamente quando dovrebbe iniziare o ultimare il dosaggio.

La variazione della profondità di semina invece si ottiene applicando martinetti idraulici comandati da opportuni sensori a monte delle ruote di profondità.

Infine si può variare il tipo di seme all'interno dello stesso appezzamento predisponendo la seminatrice con tramogge multiple e indipendenti, quest'esigenza è particolarmente utile in zone con varietà resistenti a fitopatie o a carenze strutturali.



Fig. 13: Motore idraulico a controllo elettronico per il dosaggio variabile di semina: questa tipologia di motori permette di comandare la trasmissione della seminatrice per fare il dosaggio.

2.5.2- La concimazione

La necessità di ottimizzare la distribuzione di fertilizzanti azotati, siano essi di origine organica o minerale, rappresenta una priorità per il comparto agricolo, per motivazioni economiche legate ai costi e all'aumento dei prezzi, ma anche per aspetti ambientali e normativi.

La distribuzione variabile dei concimi si può effettuare tramite l'uso di sistemi basati su due principi di funzionamento.

La prima tipologia prevede il posizionamento di sensori di riflessione sulla cabina del trattore rivolti verso la vegetazione; i valori trovati vengono trasmessi all'unità di elaborazione, che a sua volta comunica la quantità di concime da distribuire all'attuatore posto nello spandiconcime.

La seconda tipologia si basa invece sull'abbinamento tra mappe già predisposte e caricate nel computer di bordo (figura 14), il quale una volta riconosciuto il livello di concimazione da somministrare, comanda l'attuatore (idraulico o elettrico), il quale provvederà a modulare la serranda di apertura o il sistema di regolazione volumetrico dello spandiconcime (Savorelli, 2011).

Con l'applicazione di estensimetri si può controllare il peso presente nella tramoggia e determinare la dose di concime da distribuire, sincronizzando automaticamente le quantità richieste dalle mappe e la velocità di avanzamento del trattore in tempo reale.

Per una corretta distribuzione in entrambe le tipologie è fondamentale avere un ottimo concime granulato, sia per quanto riguarda la sfericità sia per la granulometria, e procedere alla taratura per ogni tipologia di intervento prima di ogni inizio della semina.



Fig. 14: Modelli di spandiconcime a dosi variabili con pesatura automatica: offrono la possibilità di distribuire dosi variabili di prodotto in accordo con una mappa di distribuzione opportunamente elaborata. Il funzionamento si basa sul confronto tra la mappa e la posizione in campo determinata da un ricevitore GPS, unitamente alle prescrizioni agronomiche contenute in un file (dosi da erogare per ciascuna classe della mappa).

2.5.3- I trattamenti

Il controllo delle malerbe è un'altra operazione presa in considerazione per la gestione sitospecifica. La modalità di controllo come le operazioni precedenti può essere effettuata in due modalità:

- Applicazione variabile attraverso sensori, che dopo aver rilevato l'infestante controllano in tempo reale l'entità del trattamento.
- Applicazione tramite l'utilizzo di mappe di prescrizione, generate negli anni precedenti.

Quest'ultima modalità risulta essere la più affidabile, offrendo i seguenti vantaggi:

- Visione più globale dell'infestazione che permette una scelta più specifica del principio attivo da utilizzare.
- Facoltà di individuare il periodo più appropriato per la rilevazione delle infestanti in base alle loro caratteristiche.
- Possibilità di effettuare i trattamenti prima della nascita delle malerbe.

Per poter realizzare questa tecnica è necessaria la costruzione di mappe di infestazione, convertibili successivamente in mappe di prescrizione della dose, e l'uso di macchine irroratrici idonee.

La costruzione delle mappe è possibile attraverso rilevazioni delle zone infestate con analisi delle immagini a terra o aeree, tramite il monitoraggio diretto dell'appezzamento mediante l'uso di veicoli dotati di sensori o con una rilevazione manuale diretta, cercando di abbinare le rilevazioni con ricevitori satellitari o computer palmari. Una volta create le mappe di infestazioni si devono

rilevare le aree soggette da un grado di infestazione tale da ipotizzare perdite di resa. Questo va fatto intersecando le aree su cui si vuole intervenire con una mappa di perdita di resa con un valore economico di soglia stabilito (Sartori et al, 2005).

Una volta determinata la mappa di prescrizione del trattamento con diserbante si devono utilizzare irroratrici specifiche (figura 15), che utilizzano sistemi di controllo automatico della dose che sono alla base delle tecnologie di applicazione variabile, quali:

- Sistema on/off: il più semplice attuabile attraverso l'accensione e lo spegnimento degli ugelli
- Controllo della pressione: agisce regolando la variazione del volume di pressione, che è proporzionale alla portata: raddoppiando la portata occorre quadruplicare la pressione
- Controllo della portata: agisce sulla variazione della velocità di avanzamento del trattore e grazie alla selezione automatica degli ugelli attraverso attuatori elettrici o pneumatici, che variano la portata in variazione del diametro dei propri fori.
- Iniezione diretta con controllo del principio attivo: la variazione di prodotto distribuito è possibile tramite la presenza di sensori e sistemi di controllo che adeguano la portata delle pompe dosatrici in base alle condizioni operative.



Fig. 15: Esempio di irroratrice specifica con sistemi di controllo automatico della dose

2.5.4- L'irrigazione

La possibilità di variare spazialmente la somministrazione dell'acqua ed eventualmente di prodotti chimici in funzione della variabilità della tessitura, topografia, stato ed esigenze delle colture durante il ciclo produttivo, consente di aumentarne l'efficienza, la qualità delle risorse e il reddito degli agricoltori (Sartori et al, 2005).

Le tecnologie di agricoltura di precisione legate all'irrigazione si applicano alle macchine per l'irrigazione, quali i pivot ad ali traslanti o impennante (figura 16) e agli irrigatori mobili.

Nel caso dei pivot i sistemi applicati prevedono:

- Una variazione della portata tramite circuiti separati ciascuno caratterizzato portata diversa e attivabili in base a combinazioni programmate dalla centralina principale.
- Variazione della portata tramite un sistema a doppio ugello in cui il primo ha una portata raddoppiata rispetto al secondo, il tutto attivato singolarmente o assieme da una elettrovalvola azionata da un microprocessore, il quale è integrato a un sensore di posizione satellitare che fornisce la velocità angolare dell'ala.
- Variazione continua della portata di ogni ugello mediante l'inserimento di una valvola che apre o chiude il circuito per durate e frequenze variabili in funzione della quantità di fluido da distribuire.

Nel caso degli irrigatori mobili ci si avvale di una centralina di controllo che regola la velocità dell'aspo rotante in base alle necessità idriche specifiche delle varie zone dell'appezzamento.

I vari benefici forniti da un impianto di irrigazione variabile si possono elencare come:

- L'applicazione dell'esatto quantitativo d'acqua in terreni ad elevata esigenza
- La riduzione dell'eccessiva applicazione d'acqua in terreno meno esigenti
- La riduzione degli sprechi dovuti a sovrapposizioni del passaggio dei sistemi di irrigazione
- La possibilità di regolare le diverse esigenze idriche di differenti colture nello stesso appezzamento
- Il minor dilavamento di elementi nutritivi mobili (azoto) e minor erosione del terreno

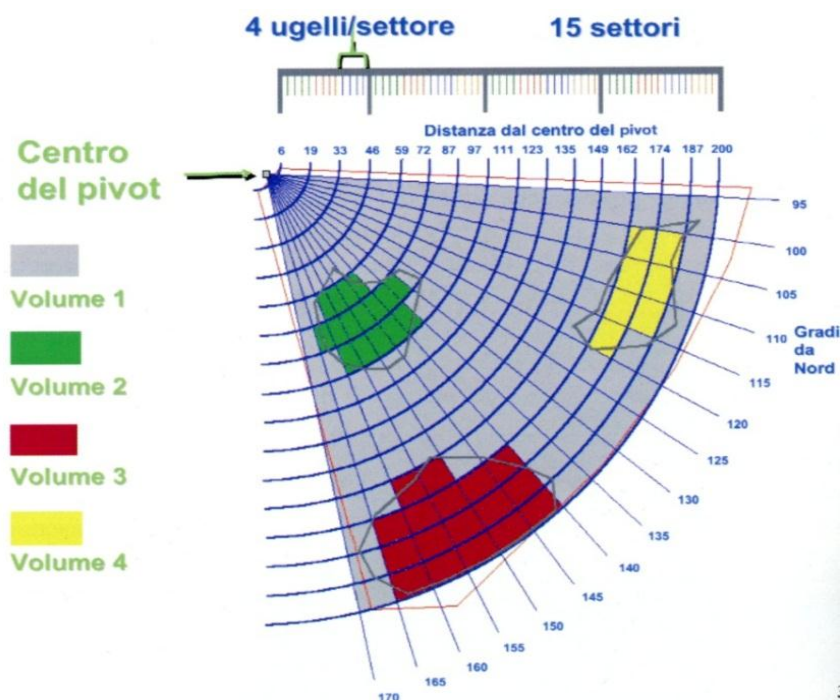


Fig. 16: Esempio di mappa di prescrizione per un impianto di irrigazione ad ali impennate.

2.6- I vantaggi dell'agricoltura di precisione

- Aumento e assimilazione dei dati aziendali per un maggior controllo
- Aumento della qualità gestionale degli appezzamenti
- Ottimizzazione degli input produttivi con conseguente risparmio
- Diminuzione dell'energia impiegate dalle macchine
- Miglioramento delle caratteristiche qualitative della produzione
- Rese più elevate ed omogenee
- Riduzione degli input chimici e dell'impatto ambientale
- Facilita la rintracciabilità aumentando il valore del prodotto

2.7- La convenienza dell'adozione dell'Agricoltura di Precisione

L'applicazione delle strategie di Agricoltura di Precisione rappresenta per gli agricoltori l'opportunità per ottenere benefici economici dati dall'ottimizzazione degli input e dalla riduzione della pressione esercitata dai sistemi agricoli sull'ambiente (Ping et al, 2004), nonostante ci siano anche alcune difficoltà oggettive che ne possono rallentare lo sviluppo e la diffusione nel settore primario.

La gestione delle pratiche colturali attraverso l'applicazione a dosaggio variabile degli input produttivi possono garantire numerosi benefici, i quali si possono dividere in sostanzialmente due tipi di vantaggi:

- vantaggi di tipo economici, dovuti alla razionalizzazione nell'utilizzo dei diversi fattori colturali;
- vantaggi di natura ambientale, connessi alla riduzione dell'impatto negativo esercitato sulle risorse naturali dalle pratiche agricole.

TABELLA 1 - ALCUNI RISULTATI POSITIVI RIPORTATI IN BIBLIOGRAFIA PER STUDI EFFETTUATI SUL MANAGEMENT SITO-SPECIFICO DELL'AZOTO

Autori	Risultato della TAV
Roberts <i>et al.</i> , 2001	Riduzione di azoto lisciviato variabile tra 2,2 kg/ha e 4,5 kg/ha
Rejesus e Hornbaker, 1999	Riduzione dei nitrati in falda dell'80%
Harmel <i>et al.</i> , 2004	Riduzione del fertilizzante azotato apportato del 4-7%
Wang <i>et al.</i> , 2003	L'azoto potenzialmente lisciviabile è inferiore con la TAV anche di 12 kg/ha
Godwin <i>et al.</i> , 2002	Riduzione del surplus di azoto pari a 9,5 kg/ha
Jacobsen <i>et al.</i> , 1998	È possibile preservare solo il 3% dei 150 kg/ha normalmente dispersi in un terreno arato
Thrikawala <i>et al.</i> , 1999	Riduzione delle perdite di azoto del 13%
Larson <i>et al.</i> , 1997	Perdite di azoto con la TAV inferiori di 31 kg/ha rispetto al dosaggio uniforme in terreno sabbioso-argilloso e argilloso

2.7.1- Aspetti economici

I benefici di natura economica derivano da una generale ottimizzazione degli interventi agronomici e da una razionalizzazione delle pratiche colturali, più che da una riduzione nell'impiego di un singolo fattore colturale, pur essendo questo un aspetto che non si può trascurare per alcune specifiche pratiche colturali. La difficoltà di monetizzare i risparmi è una delle questioni più delicate nell'adozione di tecnologie. La convenienza dell'utilizzo di macchine con tecnologie di precisione è data dall'intensità della variabilità di un determinato fenomeno che si manifesta in un determinato appezzamento, essendo la stessa convenienza economica soggetta a variabilità spaziale e temporale (Bongiovanni et al, 2004), e dalla propensione al rischio dell'imprenditore agricolo, per il quale possono essere individuate una attitudine o una repulsione al rischio derivanti dall'investimento di risorse richieste per l'implementazione di un sistema gestionale basato sui principi dell'Agricoltura di Precisione (Marra et al, 2003).

Le difficoltà riscontrabili nella determinazione della convenienza sono più evidenti in analisi di breve periodo, poiché è richiesta un'approfondita analisi dei benefici che si possono ritrarre e dagli investimenti che si devono sostenere rispetto ad una gestione uniforme dell'appezzamento; questi dati però risultano a loro volta variabili e di intensità differente nelle varie aree omogenee definite, oltre ad essere legati ad aspetti che generalmente non sono tenuti in considerazione in fase decisionale, come accade per la gestione dei dati, i quali richiedono oltre ad un costo di acquisizione più o meno elevato, anche un costo di gestione ed utilizzo.

In generale i casi in cui sia dimostrata la convenienza per l'acquisizione di metodologie proprie dell'Agricoltura di Precisione riguardano soprattutto la concimazione a dosaggio variabile e l'aumento delle rese di produzione a lungo periodo.

Nel primo caso la possibilità di contenere e ottimizzare l'impiego dei fertilizzanti è risultata di immediato interesse presso gli operatori del settore agricolo, sia a fini gestionali che ambientali, in quanto il beneficio economico si riscontra piuttosto facilmente ed è variabile non solo in base alla superficie aziendale e alla complessità ma anche in base alla complessità del livello tecnologico del sistema adottato, oltre che al livello di preparazione tecnica degli operatori.

Nel secondo caso l'adozione di più sistemi di gestione sito-specifica per le diverse pratiche colturali, in un'analisi di lungo periodo, si può verificare l'aumento delle rese di produzione in rapporto con le rese prima effettuate con la gestione normale e tradizionale degli appezzamenti.

Nel lungo periodo questo aumento di produzione consente un maggior guadagno agli operatori agricoli, tale da giustificare il costo dell'acquisizione di queste tecnologie.

2.7.2- Aspetti ambientali

L'adozione di pratiche sostenibili per il processo di produzione attuato da un'azienda agricola è oggi uno dei più importanti e strategici aspetti per il miglioramento dell'efficienza in agricoltura e la soluzione di alcune problematiche ambientali (Bakhshs et al, 2000).

L'adozione di sistemi in grado di consentire l'esecuzione degli interventi colturali ad intensità variabile rappresenta un'opportunità per applicare con precisione l'intensità delle lavorazioni del terreno, la distribuzione di fertilizzanti e di fitofarmaci nella difesa alla coltura.

La possibilità di effettuare quindi una razionalizzazione degli interventi colturali in base alle esigenze effettive riscontrate in un appezzamento del terreno e della coltura in atto rappresenta un enorme prospettiva per le aziende agricole, poiché offre l'opportunità di unire le soluzioni tecnologiche offerte dall'Agricoltura di Precisione con le tecniche conservative che del territorio agricolo. L'entità dei miglioramenti conseguibili è variabile, a seconda delle condizioni iniziali del terreno, dalle modalità di distribuzioni variabili e dalle interazioni tra diversi fattori, quali la capacità di assorbimento della coltura. I benefici ambientali si riscontrano quindi quanto maggiore sia la capacità di monitorare gli effetti delle distribuzioni e dei trattamenti ad intensità variabile, approfondendo la conoscenza dei molteplici legami che si instaurano tra i fattori coinvolti, sia per quanto riguarda il terreno sia per la coltura.

L'Agricoltura di Precisione si basa sui principi di un agricoltura conservativa che è costituita da una insieme di pratiche agricole che mirano alla conservazione delle caratteristiche degli appezzamenti agricoli e a ottimizzare l'uso delle risorse ambientali, cercando di ridurre nello stesso tempo il degrado del terreno, attraverso una gestione integrata e razionale del suolo, dell'acqua e delle risorse biologiche esistenti, in associazione con i fattori di produzione esterni (Basso et al, 2003).

3- LA ZOOTECNIA DI PRECISIONE

Lo sviluppo che ha interessato i settori dell'elettronica e dell'informatica negli ultimi anni, ha ampiamente coinvolto il comparto zootecnico, come dimostrano i numerosi esempi di strumentazioni messi a punto per la rilevazione e il monitoraggio di alcuni caratteri sanitari e funzionali degli animali, ritenuti importanti ai fini gestionali, fino alle strumentazioni introdotte di recente per soddisfare le esigenze legate alle nuove tematiche della zootecnia quali il benessere animale e la tracciabilità.

Analogamente a quanto descritto per l'Agricoltura di Precisione, anche nella gestione dei capi presenti in allevamento può essere implementato un sistema rigoroso di raccolta e gestione dati, basato fondamentalmente sull'individuazione delle singole unità presenti in allevamento (i box dell'allevamento) e sull'identificazione univoca dei singoli capi mediante il già obbligatorio sistema di anagrafica aziendale, che, se gestito su supporto informatico consente di risalire rapidamente all'animale in esame e a tutte le informazioni raccolte nel corso della sua permanenza in stalla.

Le informazioni raccolte per ciascun animale riguardano principalmente:

- 1) Gli aspetti produttivi: quantità di latte prodotta, analisi della composizione di latte, presenza di cellule somatiche, concentrazione di micotossine, ecc.
- 2) I dati riproduttivi: inter-parto, lattazione, ecc.
- 3) Gli aspetti sanitari: presenza di zoppie, mastiti, prescrizioni veterinarie, ecc.
- 4) Le condizioni ambientali: temperatura, ventilazione, polverosità, ecc.

Questo nuovo sistema di gestione delle aziende zootecniche è uno dei principi su cui si basa la Zootecnia di Precisione, ovvero una gestione mirata all'ottenimento di vari benefici grazie alla raccolta e allo studio dei dati aziendali, nonché alla messa a punto di sistemi di gestione dei capi, specifici e personalizzabili, per aumentare la loro accuratezza e appunto precisione.

La Zootecnia di Precisione si basa principalmente in tre punti:

- Evoluzione delle tecnologie nei comparti dell'edilizia rurale, degli impianti e della gestione degli allevamenti per ottenere un miglioramento dei livelli prestazionali delle strutture e della qualità degli ambienti stabulativi
- Ottimizzazione degli input produttivi: uso razionale delle risorse, aumento della produttività degli animali, benessere animale, ottimizzazione dei processi riproduttivi
- Miglioramento delle condizioni lavorative: minore fatica, maggiore sicurezza

Le tecnologie di Zootecnia di Precisione stanno riscontrando un crescente interesse per le aziende del settore, sviluppandosi in tutto il comparto zootecnico: dai bovini ai suini e fino agli avicoli, riscontrando i maggiori risultati negli allevamenti bovini, in particolare nelle aziende di vacche da latte.

3.1- Gestione animali e dell'allevamento

3.1.1- Identificazione dei capi

Una delle problematiche più frequente per l'allevamento bovino medio grande è l'identificazione degli animali. Lo sviluppo dell'elettronica ha consentito la messa a punto di collari che possono essere considerati vere e proprie carte di identità delle vacche, al punto che consentono di identificare i capi in mungitura, di gestire i cancelli, di attivare gli auto-alimentatori, di trasmettere segnali di attività; detti collari possono funzionare in modo induttivo, vale a dire senza batterie o ad onde radio (figura 1).

Quando si trova nelle immediate vicinanze di un dispositivo di riconoscimento (ricetrasmittitore), il collare risponde alle onde emesse a bassa frequenza e rimanda a sua volta delle onde modificate, codificate. Il ricetrasmittitore riconosce l'animale come se ci fosse un'impronta digitale.

Il ricetrasmittitore può essere installato sul box di alimentazione, in sale di mungitura, sulle poste, sulle porte di ingresso, sulle aree di passaggio ecc., e può essere mobile o portatile.

La possibilità dell'identificazione degli animali in modo rapido, attendibile e univoco, è stato un grosso aiuto per l'allevatore, perché permette di organizzare un'esatta e razionale registrazione dei dati in modo automatico (Codeluppi, 2006).

Sempre negli allevamenti medio-grandi un grosso problema per il dispendio di tempo necessario, è rappresentato da dover separare le vacche da fecondare, da quelle da mettere in asciutta, o da visitare, o ammalate ecc.

L'installazione in uscita dalla sala di mungitura di un cancello automatico di separazione è di grande aiuto e consente un notevole risparmio di tempo per gli operatori. Questo cancello può essere gestito sia dal computer aziendale che dalla sala di mungitura. Al passaggio delle vacche da separare, il cancello si predispone in posizione tale da mandare le vacche in un'area dove gli operatori possono intervenire per le diverse operazioni da eseguire.

La conoscenza del peso delle vacche o meglio la sua tendenza nel tempo fornisce chiare indicazioni per la gestione dell'alimentazione. È possibile effettuare la pesata in modo completamente automatico con bilance elettroniche.



Fig. 1: Identificatore a collare RTB/T: lettura sicura del codice di identificazione, non contiene batteria, completamente stagno.

3.1.2- Attività motoria

Tra le apparecchiature più richieste in questi ultimi anni nelle strutture a stabulazione libera vi sono dei dispositivi che permettono di registrare l'attività di ogni singola vacca, e di fornire chiari segnali per l'identificazione del calore, il quale nelle stalle medio-grandi ha sempre rappresentato un importante problematica.

La mancanza di operatori esperti e la mancanza di tempo necessario alla permanenza in stalla nei momenti opportuni, portano all'aumento dei giorni parto-concepimento con conseguente decremento delle nascite dei vitelli, riduzione delle produzioni di latte, oltre a maggiori spese per la fecondazione artificiale con pesanti danni economici.

I rilevatori di ultima generazione sono strumenti ideati per sopperire queste problematiche, essi permettono di registrare in modo automatico il movimento di una specifica vacca in un determinato allevamento(Codeluppi, 2006).

I rilevatori possono essere applicati o al piede (figura 2) o al collo dell'animale.

Alcuni con l'ausilio di collegamenti radio e altri con centraline elettroniche, trasmettono ad ogni ora i dati di movimento di ciascun soggetto ad un computer, che li elabora confrontandoli con i dati relativi ai giorni precedenti (figura 3).

In base alla configurazione della stalla, il dispositivo evidenzia in sala di mungitura o al computer le vacche con attività fisica anomala, tale da presupporre un calore, nel caso la vacca abbia mostrato un'attività fisica più intensa della norma, o rilevare un problema podalico, se l'animale è sempre fermo o si sposta lentamente e brevemente. I segnalatori di attività motoria diventano quindi validi strumenti per gli allevatori, i quali devono però prestare attenzione alla taratura dei parametri, al funzionamento e all'interpretazione dei dati numerici e di tempo. In più ogni allevamento ha una sua individualità data dalla tipologia della struttura e dal tipo di gestione alimentare e di

allevamento degli animali, pertanto i dati devono essere confrontati con quelli ricavati da un'ampia raccolta e analisi degli stessi all'interno dell'azienda.

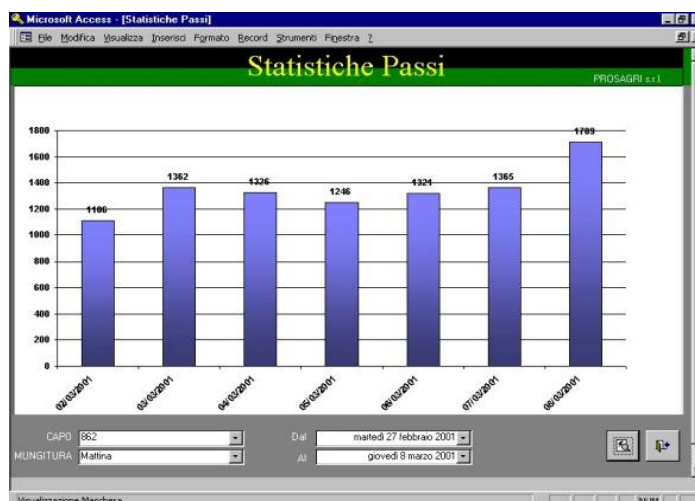


Fig.2 (a sinistra): Modello di pedometro: contenitore robusto e completamente stagno, sistema di identificazione preciso ed affidabile, possibilità sostituzione batteria esaurita.

Fig.3 (a destra): Software per la registrazione e l'analisi dell'attività motoria MOVE CONTROL: è un misuratore dell'attività motoria delle bovine che permette di rilevare un incremento dell'attività associabile allo stato di possibile calore.

3.1.3- Produzione individuale

Il dato più importante per l'allevatore di vacca da latte, sia per le scelte strategiche aziendali che per verificare l'andamento dell'allevamento, è la produzione individuale di latte giornaliera.

Fino a poco tempo fa la presenza di un buon mungitore e di vasi misuratori erano sufficienti per aver ciò sotto controllo ma spesso i dati raccolti si potevano elaborare solo a fine mungitura e non erano adatti nel caso l'allevamento fosse numeroso e comprendente diversi gruppi mungitura.

Oggi si ricorre a strumenti elettronici che permettono di conoscere in tempo reale i dati relativi alle produzioni e sono adatti negli allevamenti con molti capi. Gli strumenti elettronici utilizzati per il rilevamento della produzione di latte di una vacca mirano inoltre a non peggiorare la qualità del latte e la qualità di mungitura.

Sul mercato sono presenti in diversi tipi di lattometri elettronici (figura 4) che misurano porzioni costanti o variabili di peso, porzioni costanti o variabili di volume, misurano a flusso e a livello continuo. Le caratteristiche più importanti del lattometro elettronico sono la semplicità di utilizzo e un efficiente sistema di pulizia. Il lattometro registra la produzione del latte prodotto oltre ad altri

parametri legati alla routine di mungitura, come il flusso medio del latte, la curva di emissione, il tempo di mungitura, ecc.

I lattometri di ultima generazione sono in grado di:

- Gestire le diverse funzioni di stacco automatico in funzione della curva di emissione del latte della bovina
- Abbinati a particolari pulsatori e a software appositamente sviluppati possono modificare in funzione del flusso di latte, durante la mungitura, i parametri di funzionamento dei pulsatori e l'intensità del vuoto;
- Possono rilevare in modo automatico la conducibilità e la temperatura del latte e segnalare le anomalie
- Prelevare in modo automatico un campione rappresentativo di latte.

Alcuni ricercatori stanno sviluppando sistemi dove sia possibile conoscere in tempo reale oltre alla quantità di latte, anche parametri come grasso, proteine, cellule, urea e stato igienico. Con l'utilizzo di lattometri e particolari software alcune ditte stanno mettendo a punto un sistema che permette di convogliare il primo latte munto o il latte delle vacche-problema in una seconda linea.

Questo permetterebbe di migliorare notevolmente la qualità del latte da consegnare all'acquirente. La disinfezione del gruppo di mungitura tra una vacca e l'altra è un dispositivo dotato di una serie di elettrovalvole programmate, che permette in modo automatico di sciacquare, disinfettare e risciacquare i gruppi prendi-capezzoli al momento dell'uscita delle vacche dalla sala di mungitura, con un semplice comando di attivazione. Questo dispositivo è particolarmente indicato negli allevamenti dove esistono condizioni igieniche ambientali (lettiera) precarie, ambienti poco aerati e problemi di mastite da microrganismi contagiosi.



Fig.4: Due modelli di lattometri: il primo misura la quantità e la conducibilità elettrica del latte prodotto da ogni bovina, insieme con il tempo totale di mungitura ed il flusso di eiezione del latte;

il secondo misura la produzione di latte e controlla il flusso, è dotato di un sensore che misura il passaggio del latte in termini di portata (velocità del flusso). Ciò avviene utilizzando la tecnologia a raggi infrarossi (NIR). Attraverso questi dati è possibile monitorare, in tempo reale, le condizioni sanitarie della mandria. Infatti l'andamento della produzione è il rilevatore dello stato di salute dell'animale mentre, la conducibilità elettrica, è lo strumento più affidabile oggi a disposizione per la diagnosi precoce delle mastiti.

3.1.4- Collettori e pulsatori

Grazie all'affidabilità delle nuove tecnologie elettroniche oggi è possibile adottare sull'impianto di mungitura collettori particolari (figura 5), divisi in quattro quarti, in cui per ogni quarto è previsto un sensore che rileva temperatura e conducibilità del latte. Il computer rileva quindi la temperatura e la conducibilità medie del latte munto nelle prime fasi della mungitura, e a fine mungitura indica con particolari segnali luminosi, visibili da parte del mungitore, il quarto che si discosta dalla media; inoltre sempre con segnale luminoso viene indicata l'assenza di latte nel collettore.

Questo tipo di collettore può gestire le fasi dello stacco automatico del gruppo di mungitura o dei singoli prendi-capezzoli interagendo con il computer.

Questo dispositivo non identifica le vacche con cellule elevate o con mastite, ma è un aiuto per il mungitore: infatti mediante i segnali luminosi che il dispositivo emette, il mungitore ha la possibilità di identificare il quarto meno produttivo e adottare soluzioni per risolvere il problema.

La moderna tecnologia dei microprocessori e dell'elettronica permette di avere pulsatori programmabili (figura 6) a seconda di :

- numero di cicli di pulsazione
- rapporto del pulsatore
- stimolazione o messa a latte con fase iniziale di massaggio per vacche particolari
- intensità di vuoto all'esterno e all'interno guaina.

Essi offrono inoltre la possibilità di rapporti differenziati sui quarti anteriori rispetto ai posteriori; di variare rapporto e cicli del pulsatore in funzione del flusso di latte durante la mungitura, e in assenza di latte di interrompere la mungitura senza che il gruppo si stacchi (Codeluppi, 2006).

La perfezione e l'affidabilità dell'elettronica permettono di avere cicli di pulsazione e rapporti del pulsatore corrispondenti ai requisiti previsti dalle norme ISO, indipendentemente dal vuoto di funzionamento dell'impianto di mungitura.



Fig. 5: a sinistra un modello di collettore di nuova generazione: garantisce un'elevata capacità di scarico del latte munto senza generare turbolenze, quindi schiuma, assicurando la stabilità del livello di vuoto. La regolarità delle superfici interne del collettore garantiscono una pulizia ottimale; la coppetta trasparente è costruita in materiale plastico alimentare resistente agli agenti chimici oltre che alle alte temperature. La forma ergonomica ne garantisce la maneggevolezza.

Fig. 6: a destra un dispositivo che permette la programmazione e il controllo dei gruppi di pulsatori grazie a un costante monitoraggio, inoltre offre la possibilità di alternare i gruppi di pulsatori abbattendo le fluttuazioni di vuoto.

3.1.5- Sistemi di mungitura automatici (AMS)

La mungitura è un'operazione che vincola fortemente l'organizzazione aziendale: le vacche da mungere richiedono di continuo l'intervento dell'uomo, spesso in orari disagiati e poco consoni a una vita sociale normale. D'altra parte esiste, e si fa sempre più forte, la contraddizione fra l'esigenza di manodopera specializzata e la scarsa propensione a svolgere questo tipo di attività; la mungitura, infatti, non è solo un'operazione meccanica assistita dall'uomo, ma rappresenta anche un momento estremamente importante per il monitoraggio della situazione sanitaria e produttiva degli animali, che necessiterebbe di personale di buona qualificazione professionale, che oggi è difficilmente reperibile. Nel tentativo di dare soluzioni alle problematiche anzidette, la sperimentazione e la tecnologia hanno messo a punto, alcuni sistemi automatici di mungitura.

Questi, noti a livello internazionale con la sigla AMS (Automatic Milking Systems), sembrano soddisfare in linea teorica le esigenze del settore bovino da latte, ma sono innovazioni così radicali che richiedono un profondo cambiamento nella gestione e nell'organizzazione delle stalle, dall'alimentazione alla durata della carriera produttiva, dal comportamento dell'animale alla progettazione della stalla ,dagli aspetti igienico-sanitari alla quantità e qualità della produzione (Zappavigna et al, 2007).

Allo stato attuale l'impiego di sistemi automatici di mungitura sembra riscuotere maggior interesse in aziende che utilizzano unità lavorative familiari, piuttosto che in grandi aziende condotte con manodopera salariata, in quanto l'attrattiva del miglioramento delle condizioni di vita rende più sopportabile l'elevato investimento iniziale. La robotizzazione della mungitura è una delle grandi frontiere dell'innovazione tecnologica nel settore bovino da latte, nonostante abbia già ottenuto un discreto successo di vendite e di critica.

Le motivazioni che potranno spingere verso gli AMS sono:

- Difficoltà a reperire manodopera qualificata per la mungitura
- Svincolo dal gravoso impegno della mungitura per le aziende che utilizzano unità lavorative familiari;
- Aumento della produzione di latte rispetto alle tradizionali 2 mungiture/giorno.

Le tecnologie di AMS hanno portato allo sviluppo del sistema automatico di mungitura volontaria. La mungitura volontaria permette alla vacca di decidere il momento opportuno per essere munta e il proprio tempo di mungitura (figura 7).

L'AMS richiede una completa automazione del processo di mungitura: la vacca può scegliere di essere munta in qualsiasi momento nel corso di un periodo di 24 ore. Il gruppo di mungitura comprende una macchina mungitura, un sensore di posizione tettarella (di solito un sistema laser), un braccio robotizzato per l'applicazione e rimozione dell'automatico capezzolo-cup, e un sistema per il controllo del cancello per il traffico delle vacche. Quando la vacca decide di entrare nel gruppo di mungitura (a causa di mangimi altamente gradevole che trova nella casella di mungitura), un sensore ID legge un TAG di identificazione (transponder) sulla vacca e passa l'ID al sistema di controllo. Se la vacca è stata munta troppo recentemente, il sistema blocca la vacca al cancello automatico dell'unità. Se la vacca può essere munta invece, il cancello si apre e inizia la pulizia automatica tettarella e successivamente la mungitura con l'applicazione della coppa.

Come incentivo a partecipare al gruppo di mungitura, vengono somministrati mangimi concentrati all'interno del box mungitura. Il nucleo innovativo del sistema AMS è il manipolatore robotico nel gruppo di mungitura. Il braccio robotico consente di automatizzare i compiti di pulizia e mungitura e rimuove gli elementi finali del lavoro manuale dal processo di mungitura.

L'accurata progettazione del braccio robot e dei sensori di controllo permette notevoli prestazioni senza supervisione, in modo tale che l'agricoltore è necessario solo per l'ispezione sulla condizione delle vacche e quando una di esse non ha partecipato alla mungitura.

La capacità tipica di un AMS è 50-70 vacche per gruppo di mungitura. L'AMS è solito raggiungere frequenze di mungitura tra 2 e 3 volte al giorno, per cui un gruppo di mungitura ha una capacità di

7,5 vacche all'ora. Una nuova variazione sul tema di mungitura robotizzata include un sistema simile braccio robotico, ma accoppiato con una piattaforma rotante, migliorando il numero di vacche che possono essere gestiti per il braccio del robot.

A) Vantaggi :

- Eliminazione del lavoro: l'allevatore è liberato dal processo di mungitura e il lavoro è dedicato al controllo degli animali, alimentazione, ecc.
- Aumento della frequenza di mungitura: la frequenza di mungitura può aumentare fino a tre volte al giorno, ma in genere 2,5 volte al giorno. Ciò può comportare un minore stress sulla mammella e maggiore comfort per la mucca, come in media meno latte viene memorizzato. La maggiore frequenza di mungitura aumenta la produzione di latte per vacca.
- Ambiente di stress inferiore: gli orari di mungitura selettivi riducono lo stress della vacca.
- Maggior gestione della mandria: l'uso del computer di controllo consente una maggiore possibilità di raccolta dei dati. Tali dati consentono all'agricoltore di migliorare la gestione attraverso l'analisi delle tendenze della mandria, per la risposta esempio della produzione di latte ai cambiamenti di mangimi.

B) Svantaggi:

- Alto costo per l'investimento iniziale
- Aumento dei costi di elettricità
- Aumento della complessità del gruppo di mungitura AMS rispetto ai sistemi tradizionali
- Difficoltà nell'applicazione a sistemi di pascolo
- Qualità del latte inferiore

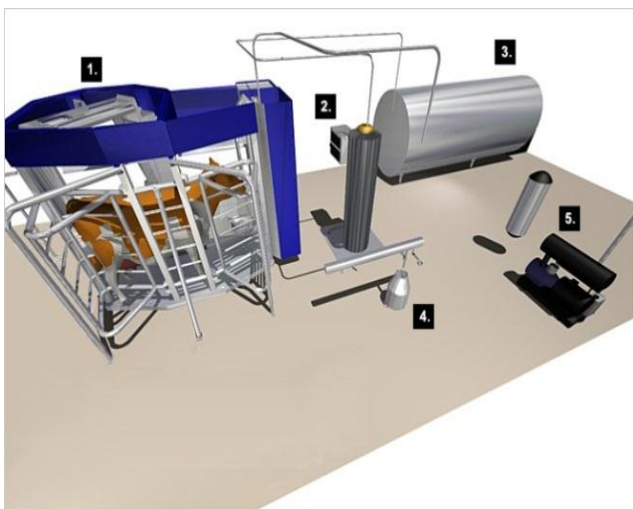


Fig.7: a sinistra un immagine schematizzata delle componenti del sistema di mungitura automatica. A destra un cabina/postazione per la mungitura volontaria.

3.1.6- Sistemi di distribuzione personalizzata degli alimenti

Le modalità di alimentazione delle bovine da latte assumono un ruolo di grande importanza negli allevamenti moderni sia per gli aspetti economici implicati che per quelli tecnologici. Infatti, i costi degli alimenti zootecnici e le crescenti quantità utilizzate annualmente in allevamenti di dimensioni sempre più grandi, obbligano ad un loro utilizzo sempre più efficiente. Un esempio è fornito dal successo del razionamento unifeed che consente di realizzare diete perfettamente bilanciate, grazie anche alla vasta disponibilità di carri trincia-miscelatori trainati e semoventi.

Più recentemente, tuttavia, sono stati sviluppati dei sistemi automatici (Automatic Feeding Systems o AFS) in grado di preparare e distribuire razioni unifeed con un intervento limitato da parte dell'operatore (figura 8). Questi sistemi sono basati sia su tecnologie già esistenti ed utilizzate per distribuire automaticamente singoli ingredienti (concentrati, insilati, fieni), sia su concetti totalmente innovativi.

Uno degli aspetti che maggiormente caratterizza un sistema automatico per l'unifeed è la possibilità di aumentare la frequenza di preparazione/ distribuzione della razione da 1 fino a 15 volte al giorno. Questa modalità operativa sembra produrre uno stimolo all'attività di assunzione di cibo da parte delle bovine le quali sono già naturalmente predisposte ad effettuare numerosi piccoli pasti giornalieri. Questi risultati, nella pratica, sono fortemente influenzati dalle modalità di gestione dell'allevatore. La frequenza di distribuzione dell'unifeed inoltre può ridurre la competizione alimentare tra gli animali e la quantità di scarto lasciato in mangiatoia e favorisce le visite delle vacche al robot di mungitura riducendo i picchi di accesso che si registrano con le modalità convenzionali di razionamento.

Una prima distinzione tra i sistemi automatici di distribuzione e preparazione dell'unifeed può essere basata sulla possibilità di alimentare gli animali individualmente o per gruppi:

- **Unifeed individuale:** quest'opzione è stata sviluppata per alimentare le singole bovine con razioni calibrate individualmente in base alla produzione di latte di ciascuna. Il sistema prepara la razione quando la vacca si presenta in mangiatoia e le fornisce una piccola quantità di unifeed per ogni pasto per fare in modo che l'animale consumi tutto l'alimento evitando la selezione degli ingredienti più appetiti e l'eventuale scarto.
- **Unifeed a gruppi:** la maggior parte dei modelli analizzati appartiene a questa categoria di robot. Gli animali sono alimentati con razioni bilanciate per gruppi anche molto piccoli di animali anche in combinazione con auto-alimentatori (sia in stalla che in sala/box di mungitura) per pervenire ad un'alimentazione il più possibile "di precisione".

In questo caso possiamo distinguere i modelli proposti sulla base del modo di distribuzione (stazionario o mobile) oppure in base al modo di preparazione della razione (miscelatori fissi o mobili):

- **Sistemi stazionari:** questi modelli si basano su nastri metallici o in gomma per la distribuzione della razione preparata da miscelatori fissi. Questa tecnologia viene utilizzata in particolare in ambienti dove vi sono limitazioni di spazio e la sua evoluzione ha portato a realizzare sistemi automatici di distribuzione a frequenza e orari definibili dall'allevatore.
- **Sistemi mobili con vagone distributore:** questi modelli si basano su uno o più (in funzione del numero di razioni da preparare) trincia-miscelatori di tipo fisso, azionati elettricamente. La razione preparata durante le 24 ore successive viene prelevata automaticamente da un vagone mobile di piccola cubatura ad intervalli e con frequenze decise dall'allevatore.
- **Sistemi mobili con vagone miscelatore/distributore:** questi sistemi si basano su una batteria di containers per lo stoccaggio temporaneo dei foraggi e sili per i mangimi che periodicamente riempiono un vagone miscelatore/distributore generalmente di tipo sospeso su rotaia. I container possono essere fissi ed allineati vicino alla stalla o mobili in caso la disposizione dei sili permanenti sia in varie aree dell'azienda. I vagoni/distributori sono di piccolo volume e dotati di sistemi di miscelazione simili a quelli disponibili per i carri-miscelatori tradizionali anche se in questo caso, essendo azionati elettricamente tramite batterie imbarcate, è necessario ottimizzare le richieste di potenza riducendo o eliminando i sistemi di trinciatura.
- **Sistemi semoventi:** questi sistemi consistono in carri trincia miscelatori completamente semoventi e automatici. Una delle caratteristiche di questo sistema è di non richiedere modifiche di tipo strutturale (rotaie, container temporanei, linea elettrica, ecc.), ma di adattarsi alle caratteristiche di edifici esistenti se sufficientemente accorpati e di loro successive modifiche.



Figura 8: Esempio di sistemi di alimentazione automatico: a sinistra sistema di distribuzione in una posta fissa montato sulla singola rastrelliera, mentre a destra, box di alimentazione automatica con stabulazione libera.

3.1.7- Strategie di razionamento

Uno degli aspetti che maggiormente caratterizzano i sistemi automatici per l'unifeed riguarda la possibilità di aumentare la frequenza di distribuzione in modo da gestire l'ingestione di alimento, stimolare l'attività delle bovine, ridurre lo scarto in mangiatoia e adattare il volume di razione da distribuire alle dimensioni del gruppo di animali. Nel caso della tecnica convenzionale il razionamento avviene con 1-2 distribuzioni al giorno intervallate da un numero variabile (3-5 nel maggior numero di casi) di riavvicinamenti della razione in mangiatoia (figura 9). Questa prassi, da un punto di vista gestionale, non si discosta molto dalle più tradizionali tecniche di alimentazione ad libitum, dove l'allevatore ha ben poche possibilità di intervenire sul ritmo di assunzione del cibo. La composizione dell'alimento in mangiatoia varia nel corso della giornata in seguito alla selezione operata dagli animali sugli ingredienti più appetiti. Nel caso della distribuzione automatizzata con AFS, è possibile ripartire la razione giornaliera in più distribuzioni con diversi vantaggi, quali:

A) per gli auto-alimentatori:

- Ripartizione della quota giornaliera di mangime in numerosi dosi
- Personalizzazione della quantità di concentrato per singola vacca
- Controllo della reale ingestione di concentrato per singola vacca
- Miglior dosaggio del concentrato

B) per tecniche unifeed con carri trincia-miscelatori:

- Assunzione contemporanea di foraggi e concentrati
- Riduzione della capacità di selezione alimentare e aumento dell'ingestione di sostanza secca
- autoregolazione del consumo e rispetto delle dosi di ciascun alimento
- impiego di mangimi aziendali e riduzione dei tempi di lavoro



Fig. 9: distribuzione della dose unifeed con la tecnica convenzionale, ai singoli box.

3.2- Gestione delle strutture dell'allevamento

3.2.1- L'ambiente di allevamento

L'ambiente di allevamento è l'insieme degli elementi esterni all'animale che ne condiziona la vita e il comportamento ed è uno degli aspetti di maggiore rilevanza per il benessere e la salute degli animali. Se l'ambiente è ottimale, l'animale è in grado di esprimere al meglio le proprie potenzialità produttive, consentendo la massimizzazione dei risultati economici dell'allevamento, temi principali della zootecnia di precisione ed è il principale tema su cui si concentrano le attenzioni delle norme europee sul benessere animale negli allevamenti.

Il benessere animale è l'argomento posto al centro delle politiche comunitarie, è ritenuto elemento fondamentale per la tutela dei consumatori e per il miglioramento della sanità animale, della qualità dei prodotti e della redditività delle imprese zootecniche.

Da parte dei consumatori si avverte sempre più pressante la richiesta che gli animali destinati al consumo alimentare siano trattati bene. Ci si rende conto che una buona protezione del benessere degli animali contribuisce, direttamente e indirettamente, alla salubrità e qualità dei prodotti alimentari.

Per dare risposta a questa esigenza, la normativa UE su questo argomento si è costantemente ampliata negli ultimi anni e sembra destinata ad intensificarsi ulteriormente negli anni a venire.

3.2.2- Il benessere animale

Nel corso dell'evoluzione ogni specie si è "equipaggiata" con caratteristiche fisiche, fisiologiche e comportamentali adatte ad affrontare le varie difficoltà che potrebbe incontrare nel proprio ambiente di vita. Il benessere è una condizione intrinseca dell'animale: il soggetto che riesce ad adattarsi all'ambiente si trova in uno stato di benessere, viceversa il soggetto che non ci riesce (perché non ne è in grado per caratteristiche psicofisiche proprie, o perché ne è impedito da fattori esterni) si trova in una condizione di stress.

"Il benessere è uno stato di salute completo, sia fisico che mentale, in cui l'animale è in armonia con il suo ambiente" (Hughes, 1976).

Poiché tutti gli animali hanno avuto questo percorso evolutivo e ogni specie si è adattata ad un particolare habitat, ogni definizione del benessere deve tener conto dell'ambiente, della fisiologia e del comportamento specifico dell'animale.

Gli animali da allevamento hanno un insieme di bisogni simili a quelli dei loro antenati selvatici, sebbene alcune necessità si siano modificate nel corso della domesticazione. È ovvio che esigenze

fondamentali, come quelle di cibo, acqua e rifugio non sono cambiate nel passaggio dall'animale selvatico a quello domestico. Meno ovvio che l'istintività che gli animali selvatici esprimono nei comportamenti associati alla riproduzione, alla ricerca del cibo, dell'acqua e del riparo, siano ancora presenti negli animali domestici.

Le cinque libertà per la tutela del benessere animale:

- 1) libertà dalla fame, dalla sete e dalla cattiva nutrizione;
- 2) libertà dai disagi ambientali;
- 3) libertà dalle malattie e dalle ferite;
- 4) libertà di poter manifestare le caratteristiche comportamentali specie-specifiche;
- 5) libertà dalla paura e dallo stress.

Alcune tra queste "libertà" sono universalmente riconosciute e applicate naturalmente dagli allevatori, altre rientrano nelle competenze "storiche" del medico veterinario, mentre le ultime due rappresentano qualcosa di non sempre immediata comprensione e applicazione, rientrando in quel bagaglio scientifico che deve essere fatto proprio da tutti gli operatori del settore ed in particolare dal medico veterinario. Inoltre, sempre più spesso, le due ultime libertà, le più difficili da valutare oggettivamente, rappresentano i punti salienti della normativa europea relativa al benessere degli animali da allevamento.

La valutazione del benessere coinvolge una serie di risposte che l'animale mette in atto per adattarsi all'ambiente in cui si trova. Infatti l'organismo risponde alle varie situazioni ambientali non solo con cambiamenti comportamentali, primi e precoci segni di necessità di adattamento, ma anche con meccanismi fisiologici ed immunitari, che possono avere ripercussioni sullo stato di salute e sull'accrescimento. Per questo motivo gli studi e le innovazioni effettuate in merito, sempre più frequentemente prendono in considerazione una serie di reazioni, che vengono comunemente chiamate "indicatori" di adattamento. Il loro utilizzo può consentire di evidenziare eventuali problemi di stress acuto e/o cronico che nel tempo possono avere effetti negativi anche sulle produzioni animali. Quindi anche se il benessere animale non è misurabile nello stesso modo utilizzato per variabili semplici, quali altezza o lunghezza, tuttavia può essere valutato considerando i vari aspetti e problemi correlati.

Tutti i sistemi fin qui studiati sono basati su una gamma di parametri di valutazione, che possono essere distinti in due categorie:

- parametri relativi agli animali, i quali misurano la reattività e la capacità di adattamento a specifici ambienti (es. parametri fisiologici comportamentali e sanitari);
- parametri relativi all'ambiente d'allevamento ed alla sua gestione.

Ad esempio le dimensioni e le caratteristiche delle strutture (pavimentazioni, microclima, pulizia) utilizzate per l'allevamento, la qualità della lettiera, la numerosità dei gruppi di animali.

La questione del benessere animale, in definitiva, è e dovrà sempre di più essere considerata quale componente essenziale di un sistema integrato di qualità di produzione degli alimenti di origine animale, che garantisca al consumatore prodotti provenienti da allevamenti non inquinanti per l'ambiente e dove gli animali vengono allevati secondo criteri che ne rispettino le esigenze fondamentali.

3.2.3- Le strutture di allevamento

Le soluzioni progettuali di una stalla per vacche da latte devono rispondere ai seguenti requisiti fondamentali:

- garantire le miglior condizioni micro ambientali per l'animale, per ottenere i migliori indici di conversione;
- garantire normali condizioni igieniche degli animali e della stalla, ai fini della qualità degli alimenti;
- garantire il minore impiego di manodopera e, nel contempo, sicure condizioni di lavoro per gli addetti alla stalla;
- garantire la maggiore economicità della soluzione costruttiva.

Bisogna, inoltre, tener presente che la stalla non è una struttura a sé stante, ma inserita in un complesso edilizio di norma comprendente le strutture per la gestione delle deiezioni animali (concimaia e/vasche di stoccaggio dei liquami), per la conservazione dei foraggi (fienili ed eventuali impianti di essiccazione) e degli altri alimentii (silos e magazzini), l'eventuale mangimificio, i ricoveri macchine, i magazzini per le scorte e, non ultima, l'abitazione.

La progettazione di conseguenza, deve partire dallo studio non della sola stalla, ma di tutto il complesso zootecnico. Negli ultimi anni sono stati studiati e messi in atto delle modifiche agli impianti e alle strutture zootecniche.

3.2.4- Evoluzione delle strutture zootecniche

- edifici molto aperti ma chiudibili (tamponamenti leggeri asportabili o regolabili, tamponamenti "naturali");
- tetti a due falde ad elevata pendenza (25-30%), coibentati, con fessura di colmo;
- altezza in gronda elevata ma non eccessiva (3,5-4,5 m);

- abbondanti sporti di gronda, per proteggere gli animali e gli alimenti dal sole e dalla pioggia.



Fig.10: Esempi di edifici costruiti di recente per soddisfare le esigenze strutturali e il benessere degli animali, si notino il maggior sviluppo in verticale della struttura e la tipologia del tetto a due falde con alta pendenza.

3.2.5- Pavimentazione delle stalle

Pavimentazioni deformabili in gomma come alternativa alle tradizionali pavimentazioni di calcestruzzo:

- riduzione dell'incidenza delle lesioni podaliche;
- migliore deambulazione delle vacche, con riduzione degli scivolamenti e minori pressioni a livello di arti e piedi(minor lesioni podaliche);
- maggiore evidenza dei calori (vacche più sicure).



Fig. 11: Pavimentazione in gomma per corsia con raschiatore: è semplice da installare, non necessita di manutenzione ed è facile da pulire. È gradita dagli animali in quanto è antiscivolo e rende maggiormente confortevoli gli attraversamenti.

3.2.6- Controllo ambientale

La ventilazione è un aspetto sempre più delicato perché:

- le stalle sono più larghe e alte (si è passati da stalle larghe 16-20 m a stalle larghe 30-50 m);
- le vacche sono più grandi e fanno più latte, quindi producono più calore.

I sistemi attivi per limitare i danni causati dal caldo estivo sulle bovine prevedono l'uso di ventilazione forzata, spesso abbinata all'acqua; ai tradizionali ventilatori assiali ad asse di rotazione orizzontale ("canale di vento") si stanno aggiungendo i grandi ventilatori ad asse verticale e pale orizzontali ("cascata di vento").



Fig. 12: Grande ventilatore ad asse verticale e pale orizzontali: è in grado di diminuire il tasso d'umidità della stalla e garantisce un maggior ricambio d'aria uniforme.

3.2.7- Monitoraggio e gestione della mandria

Le ultime tecnologie hanno portato alla creazione di rilevatori/misuratori di parametri fisiologici e produttivi:

- sistemi attivometrici (a piede, a collare) con sensori per determinazione sugli animali di:
 - 1) postura (in piedi, coricati)
 - 2) attività ruminale
 - 3) velocità avanzamento e lunghezza passo
 - 4) temperatura corporea, ritmo cardiaco e peso
- sistemi sperimentali per l'individuazione delle zoppie mediante misurazione pressioni esercitate dagli unghioni sul pavimento

- sistemi per misurazione istantanea singola vacca di diversi parametri:
 - 1) grasso
 - 2) proteine
 - 3) lattosio
 - 4) cellule somatiche
 - 5) eventuali tracce di sangue
- Sistemi di identificazione e localizzazione animali: analizzatori automatici di immagini riprese mediante videocamere per valutazione comportamento/sanità animale (per esempio BCS).



Fig. 13: Monitor per la rilevazione di dati rilevanti la salute degli animali: il sistema si compone di collari specifici (da applicare agli animali sulla parte superiore sinistra del collo bovino) i cui segnali inviati tramite infrarosso all'antenna e quindi trasmessi al PC consentono, attraverso uno specifico software, di ottenere un'ampia gamma di elaborazioni e di risoluzioni grafiche di facile lettura ed acquisizione.

3.2.8- Il microclima

Il microclima, in ambiente zootecnico, è l'insieme dei fattori che caratterizzano l'aria degli ambienti dove vivono e sono allevati gli animali.

Questi fattori possono essere:

- Chimici: ossigeno, azoto, anidride carbonica, gas inerti, vapore acqueo
- Fisici: temperatura, calore radiante, umidità, movimento dell'aria

Il microclima è di grande importanza per il benessere animale, in quanto può condizionare fortemente non solo le capacità produttive e riproduttive delle bovine, ma anche la qualità del latte prodotto.

I meccanismi di termoregolazione che consentono agli animali di mantenere costante la temperatura corporea indipendentemente dalle condizioni climatiche ambientali sono validi solo all'interno di un determinato intervallo che va da 0.5 °C fino a 20-25 °C; superando le temperature che delimitano questa “fascia di benessere”, le bovine sono costrette a mettere in atto tutta una serie di meccanismi fisiologici per contrastare l'ipotermia (cioè una temperatura corporea troppo bassa) oppure l'ipertermia (temperatura eccessivamente alta): in particolare, essendo la vacca da latte un animale che fisiologicamente “produce” calore, è evidente come l'eccesso di caldo sia particolarmente negativo per le performances zootecniche della bovina.

Per questo, uno degli obbiettivi della Zootecnia di Precisione, è quello di studiare le caratteristiche ambientale degli allevamenti per poter perfezionare delle strategie e delle tecnologie per il controllo del microclima.

Temperatura (C°)	
Campo del benessere	10-20
Limite critico inferiore	1
Limite critico superiore	30
Umidità relativa (%)	
Campo del benessere	60-75
Limite critico inferiore	50
Limite critico superiore	85

Tabella condizioni ambientali ottimali per le vacche da latte.

3.2.9- Strategie per il controllo del microclima

In fase progettuale di un allevamento sarà opportuno prevedere un efficiente impianto di ventilazione e raffrescamento, così da apportare all'ambiente un costante afflusso di aria corrente: la ventilazione ha inoltre il compito di rimuovere dalla stalla eventuali microrganismi patogeni, l'umidità, la polverosità ambientale e le emissioni di gas prodotte dalle bovine stabulate.

Se la presenza dell'impianto è utile in inverno, per allontanare il vapore dovuto alla respirazione degli animali ed all'evaporazione delle deiezioni e dell'acqua di abbeverata, diventa doppiamente

indispensabile nelle condizioni di caldo estivo, per evitare tutti gli inconvenienti di cui si è già parlato.

Per il benessere delle bovine, sarà quindi necessario seguire i seguenti punti:

- 1) garantire un'efficace ventilazione : le tipologie di progettazione più moderne prevedono la realizzazione di ricoveri praticamente privi di pareti. Si tratta di una soluzione che offre indubbi vantaggi, a patto però che l'orientamento sia corretto: bisogna infatti tener presente anche le situazioni invernali, predisponendo opportune barriere di difesa, come le reti anti-vento; in particolar modo l'asse longitudinale delle strutture di ricovero deve essere perpendicolare alla direzione dominante dei venti. Un orientamento ottimale prevede di seguire l'asse Nord-Sud: in questo caso, infatti, l'irraggiamento solare riesce ad asciugare dal 35 al 50% delle superfici ombreggiate, sia nelle ore del mattino che in quelle pomeridiane.
- 2) coibentare efficacemente la copertura con un adeguato isolamento del tetto è indispensabile per garantire agli animali un ambiente fresco, basti pensare che la temperatura della superficie di copertura può raggiungere i 60-70°C per effetto dell'irraggiamento solare, aggravando ulteriormente lo stress termico per le bovine. Oltre alla coibentazione, può essere utile verniciare il tetto in bianco, per riflettere la radiazione solare.
- 3) dotare la stalla di sistemi attivi di raffrescamento (figura 14) tra i metodi più usati, in combinazione con i ventilatori, sono presenti sul mercato foggers, misters and sprinklers.

Le caratteristiche principali di questi sistemi attivi sono:

- **Foggers:** nebulizzano l'acqua ad alta pressione, raffreddando l'aria. Le goccioline prodotte evaporano velocemente, movimentate dai ventilatori che devono essere in funzione 24 ore al giorno: questo metodo di raffrescamento aumenta però l'umidità relativa ambientale ed è perciò inadatto in aree geografiche dove l'umidità sia di per sé elevata; in ogni caso è opportuno fermare i foggers durante la notte.
- **Misters:** questo sistema produce goccioline di dimensioni maggiori dei foggers, ed il raffrescamento avviene per inspirazione di aria fresca da parte delle bovine, una caratteristica negativa, in quanto può provocare infezioni respiratorie agli animali. I misters sono da sconsigliare in condizioni di umidità ambientale elevata ed in associazione ai ventilatori.
- **Sprinklers:** conosciuto anche come “doccette”, questo sistema di raffrescamento è il più adatto ai climi umidi e caldi. Le gocce d'acqua prodotte sono piuttosto grandi e riescono ad inumidire il pelo giungendo anche alla cute, l'evaporazione delle gocce avviene per azione dei ventilatori, che devono essere sempre funzionanti. Esiste qualche perplessità circa l'accumulo d'acqua sul pavimento, per cui si raccomanda di usare gli sprinklers per 2-3 minuti in cicli di 15 minuti

circa. Le doccette vanno inoltre posizionate solo nell'area della corsia di alimentazione e nella sala d'attesa della mungitrice.



Fig. 14: Sistemi di nebulizzazione: utilizzano l'acqua nebulizzata per abbattere la temperatura. Con un sistema di pompe pressurizzano l'acqua filtrata a 60-100 bar, e attraverso degli speciali ugelli l'atomizzano in particelle di 10 micron. Grazie al processo della dinamica termica, l'acqua nebulizzata evapora istantaneamente abbassando la temperatura e senza bagnare l'animale. Vaporizzando appositi prodotti, inoltre, questi sistemi abbassano il livello degli odori e aiutano a sanificare l'ambiente.

3.3- La convenienza dell'adozione della Zootecnia di Precisione

Gli aspetti fin qui descritti, riguardanti la gestione dei capi e delle strutture di allevamento con l'apertura verso le nuove tecnologie e l'adeguamento alle normative legislative nazionali e comunitarie, sono alla base delle tecniche gestionali caratterizzanti la Zootecnia di Precisione.

L'adozione di queste strategie consente molti benefici agli allevatori; i vantaggi infatti sono maggiori al crescere del numero delle tecniche adottate e del loro utilizzo combinato e finalizzato all'aumento della produttività e del reddito aziendale.

Innanzitutto grazie a una maggior raccolta dati in tempo reale riguardanti gli animali, si ha un costante monitoraggio della produttività e dello stato di salute di ogni animale presente in allevamento, consentendo all'allevatore di poter raccogliere una grande quantità di dati archiviabili per capo e soprattutto intervenire immediatamente nel caso di situazioni negative riguardanti un animale. La grande mole di dati raccolta permette di adottare varie strategie nell'allevamento e nella gestione degli input produttivi e di personalizzare più fasi d'allevamento (alimentazione e

mungitura) per ottenere un'ottimizzazione delle risorse e degli input dell'azienda e uno sfruttamento massimo del potenziale produttivo di ogni animale.

Inoltre l'adozione di sistemi di Zootecnia di Precisione permette non solo l'aumento della produttività, ma anche l'ottimizzazione dei processi riproduttivi e fisiologici degli animali, grazie all'aumento del loro benessere e della qualità delle strutture d'allevamento, garantendo all'allevatore un maggior reddito e minori spese sanitarie.

I costi dell'adozione di tecnologie di Zootecnia di Precisione sono medio-alti per l'adozione di sistemi riguardanti la gestione degli animali e delle fasi dell'allevamento (sistemi per la raccolta dei dati, sistemi di alimentazione, ecc.) e sono invece al momento sempre alti per l'adozione di sistemi riguardanti le strutture dell'allevamento (sistemi di mungitura, microclima, ecc.) in quanto essi prevedono, oltre al costo delle strumentazioni, dei costi di adattamento strutturale per l'installazione delle nuove innovazioni tecnologiche e dei tempi di adattamento degli animali o dell'allevatore stesso per sfruttare a pieno il potenziale delle tecnologie.

Prima di intraprendere l'adozione di tecnologie di Zootecnia di Precisione bisogna quindi valutare tutti gli aspetti caratterizzanti ogni tecnologia e prevedere sia i benefici che i possibili svantaggi, per poter scegliere la soluzione migliore per il proprio allevamento che permetta di raggiungere gli obiettivi e i vantaggi fin qui descritti.

4- OBIETTIVI

Il presente lavoro di tesi, utilizza i dati raccolti presso l'azienda agricola Porto Felloni di proprietà della famiglia Salvagnin in località Lagosanto, in provincia di Ferrara, la quale negli ultimi dieci anni (2002-2012) ha adottato in maniera progressiva tecnologie relative all'Agricoltura di Precisione. L'elaborato mira ad approfondire l'adozione e l'evoluzione di queste tecnologie nel decennio considerato.

Inizialmente verrà esaminato il processo di acquisizione dei dati relativi alla variabilità spaziale e temporale a carico della produzione monitorata all'interno degli appezzamenti dell'azienda, al fine di individuare le zone omogenee all'interno degli stessi e consentire interventi colturali ad intensità variabile. A questo scopo l'azienda ha iniziato nel 2002 ad eseguire la mappatura delle produzioni in più annate, dove gli interventi colturali furono effettuati con tecniche tradizionali. Successivamente ha iniziato a conoscere e studiare le caratteristiche chimico-fisiche dei propri suoli con campionamenti strutturali del terreno (2004-2008-2012).

In seguito all'analisi e allo studio delle varie componenti della variabilità e all'individuazione delle zone omogenee, a partire dal 2007 si è iniziato ad utilizzare tecnologie per l'applicazione a dosaggio variabile (concimazione) per aumentare la produttività e ottimizzare gli input produttivi.

L'elaborato, dopo aver analizzato e descritto i vari passaggi fin qui enunciati, ha lo scopo di analizzare e cercare di dimostrare la convenienza economica dell'adozione delle tecnologie di applicazione a dosaggio variabile. Inoltre si propone di approfondire le tecniche, le fasi decisionali e le strategie che mirano ad ottenere i vantaggi dell'Agricoltura di Precisione, in particolare focalizzando il lavoro di tesi sull'aumento di produttività di un'azienda cerealicola e l'ottimizzazione degli input e dei costi della stessa.

5- MATERIALI E METODI

5.1- Descrizione del sito

I dati raccolti per questa ricerca sono stati ottenuti presso l'Azienda agricola Porto Felloni, situata in località Lagosanto (Latitudine: -12.56738 Nord, Longitudine: -41.87194 Est), in provincia di Ferrara, di proprietà della famiglia Salvagnin dal 1975. Essa ha una superficie complessiva di circa 420 ettari, la maggior parte degli appezzamenti è sviluppata attorno ad un nucleo centrale, dove si trova la sede dell'azienda con la casa padronale, gli uffici, i capannoni, ecc.

L'Azienda da anni riveste un ruolo importante nel panorama agricolo ferrarese e principalmente produce: per il 60% mais da granella, 10-15% di frumento e nel restante orticole industriali quali pomodori, piselli, fagioli e fagiolini.

Il lavoro di tesi è incentrato sulla produzione di mais da granella, la quale viene raccolta ed essiccata direttamente in azienda, infatti sono presenti: un impianto di essiccazione della granella e dei sistemi di refrigerazione e conservazione della stessa.

Successivamente il prodotto essiccato e raffreddato è venduto all'industrie di trasformazione mangimistiche, per la produzione di mangimi di qualità.



Figura 1: Un immagine aerea della superficie aziendale con l'individuazione dei confini degli appezzamenti e la numerazione dei terreni per il riconoscimento con i dati relativi all'estensione del singolo appezzamento

5.2- L'azienda e l'Agricoltura di Precisione

L'azienda Porto Felloni è stata una delle prime aziende italiane ad aver intrapreso un percorso di apertura verso le nuove tecnologie di Agricoltura di Precisione e di applicazione pratica e diretta dei concetti teorici e delle metodologie di questa nuova gestione agronomica.

I primi approcci verso l'Agricoltura di Precisione sono iniziati nel 2002, con le mappature delle produzioni di mais e grano, al momento della raccolta, tramite l'utilizzo di una mietitrebbia equipaggiata con sensori di resa a misurazione di massa della granella, abbinata ad un sistema di rilevazione satellitare del posizionamento e movimento della trebbia all'interno degli appezzamenti. I dati erano registrati attraverso un monitor di resa e scaricati in un Pc e visualizzati tramite il programma Topol Software per ottenere le mappe di resa.

All'inizio l'azienda si è appoggiata ad una società cecoslovacca, specializzata nella Precision Farming, che offriva servizi per quanto riguarda foto aeree (GIS), indagini geo-referenziate dei terreni, studio agronomico degli stessi, analisi delle mappe di resa e conseguente applicazione di TAV, la quale tramite un'altra società italiana, la Technofarming offriva alla Porto Felloni i primi studi sui dati raccolti e in seguito le prime mappe di prescrizione.

In seguito all'acquisizione delle mappature delle rese in più annate nel 2004 sono stati effettuati i primi campionamenti dei terreni aziendali. Il campionamento è stato effettuato con metodo selettivo, ovvero rilevando più punti all'interno degli appezzamenti, selezionati in seguito all'analisi delle prime mappe di resa dove vi erano zone con differenze di produzioni più accentuate e significative. I punti selezionati sono poi stati individuati con l'ausilio del ricevitore satellitare, in modo da poter essere localizzati e utilizzati facilmente. Una volta eseguiti i carotaggi sui punti stabiliti e l'analisi dei campionamenti del terreno in laboratorio, è stato possibile applicare degli strumenti di analisi geo-statistica, la quale stima la variabilità spaziale a carico di un parametro analizzato all'interno del campo attraverso modelli statistici, funzioni matematiche e correlazioni che portano ad ottenere un'analisi geo-referenzata del terreno esaminato e alla creazione di mappe della struttura del terreno per uno o più parametri presi in considerazione. Acquisite le mappe delle strutture del terreno degli appezzamenti aziendali è stato possibile iniziare uno studio delle stesse confrontandole successivamente con le mappe di resa. Ciò ha gettato i presupposti per l'applicazione di tecnologie che permettessero una distribuzione degli input a dosaggio variabile.

Grazie al confronto tra le mappe di resa e quelle della tessitura del terreno sono state individuate delle zone omogenee in cui è stato deciso di intervenire con la concimazione a dosaggio variabile e sono state create le prime mappe di prescrizione per ogni appezzamento.

Dal 2007 si è iniziata la concimazione a dosaggio variabile per le colture di mais e grano per quanto riguarda la concimazione dell'azoto in copertura, con due spandiconcime pneumatici Accord opportunamente trasformati in azienda, con tecnologie americane DICKEY-JOHN e successivamente nel 2007 è stato adeguato il parco macchine con i sistemi ISOBUS e nel 2011 con l'acquisto di un nuovo spandiconcime Amazone.

Nel 2008 è stato ripetuto il campionamento delle superfici aziendali, sempre con metodo selettivo ed utilizzando i punti del precedente campionamento e ricavando mappature dei terreni con analisi geo-statistica. E' buona prassi infatti ripetere i campionamenti ogni 3 o 4 anni, in quanto il tipo di suolo, i livelli dei nutrienti, la capacità di scambio cationico cambiano nel corso degli anni in funzione delle rotazioni colturali e dei sistemi di irrigazione. Questo nuovo campionamento ha portato ad un nuovo sviluppo delle mappe di prescrizione per i singoli campi.

Nel 2010 è stata messa a punto una caratterizzazione aziendale dei terreni (figura 2) grazie allo studio, durato tre anni, della società "Agricultural Support" del dottor Bertocco nella quale è stata fatta un'analisi della variabilità e una definizione delle zone omogenee, con la creazione di mappe riguardanti la fertilità minerale, la fertilità organica, la messa disposizione dei nutrienti e della variabilità di produzione. Oltre all'installazione dei sistemi ISOBUS nei trattori, l'azienda ha installato nel 2011, su concessione del consorzio agrario di Lagosanto, una stazione con antenna RTK: il sistema RTK consiste in una stazione base locale che, opportunamente collocata sul tetto di uno dei capannoni dell'azienda, trasmette le correzioni al ricevitore satellitare (StarFire iTC) posto sulla macchina dotata di RTK. La stazione base riceve il segnale dai satelliti GPS e calcola continuamente la posizione. Questa stazione permette la guida semi-automatica dei mezzi con la massima precisione, potendo quindi ampliare le tipologie di lavorazioni di precisione quali: la semina, la falsa semina, l'escavo fossi e molte altre operazioni oltre ad avere altri vantaggi. Tutti gli appezzamenti aziendali sono dotati di impianto di drenaggio e quindi tutti livellati con sistema laser, da quest'anno grazie all'introduzione della stazione RTK e di un software che gestisce i livellamenti e spianamenti di terreni si è potuto mappare le quote di tutti i singoli appezzamenti.

Nel 2012 è stato eseguito un nuovo campionamento, questa volta utilizzando la recente tecnologia dell'ARP. Grazie a questa nuova tecnologia è stato possibile ottenere mappe ad alta risoluzione, con una precisione ed accuratezza più elevata di ogni altro metodo di campionamento e che offrono la possibilità di studiare ed analizzare i propri terreni in tre livelli distinti. Anche quest'ultimo campionamento ha contribuito all'evoluzione delle mappe di prescrizione e da quest'anno l'azienda ha preso in considerazione la possibilità di applicare tecnologie a dosaggio variabile anche per altre operazioni colturali, quali la semina (già da quest'anno) e per i trattamenti (in futuro).

Anni	Mappe Produzioni	Campionamenti	VRA Concime	VRA Semina	FASE
2002	X				FASE 1
2003	X				
2004	X	X			
2005	X				
2006	X				
2007	X		X		FASE 2
2008	X	X	X		
2009	X		X		
2010	X		X		
2011	X		X		
2012	X	X	X	X	FASE 3

Tabella 1: Cronologia dell'adozione di tecnologie di Agricoltura di Precisione per annata

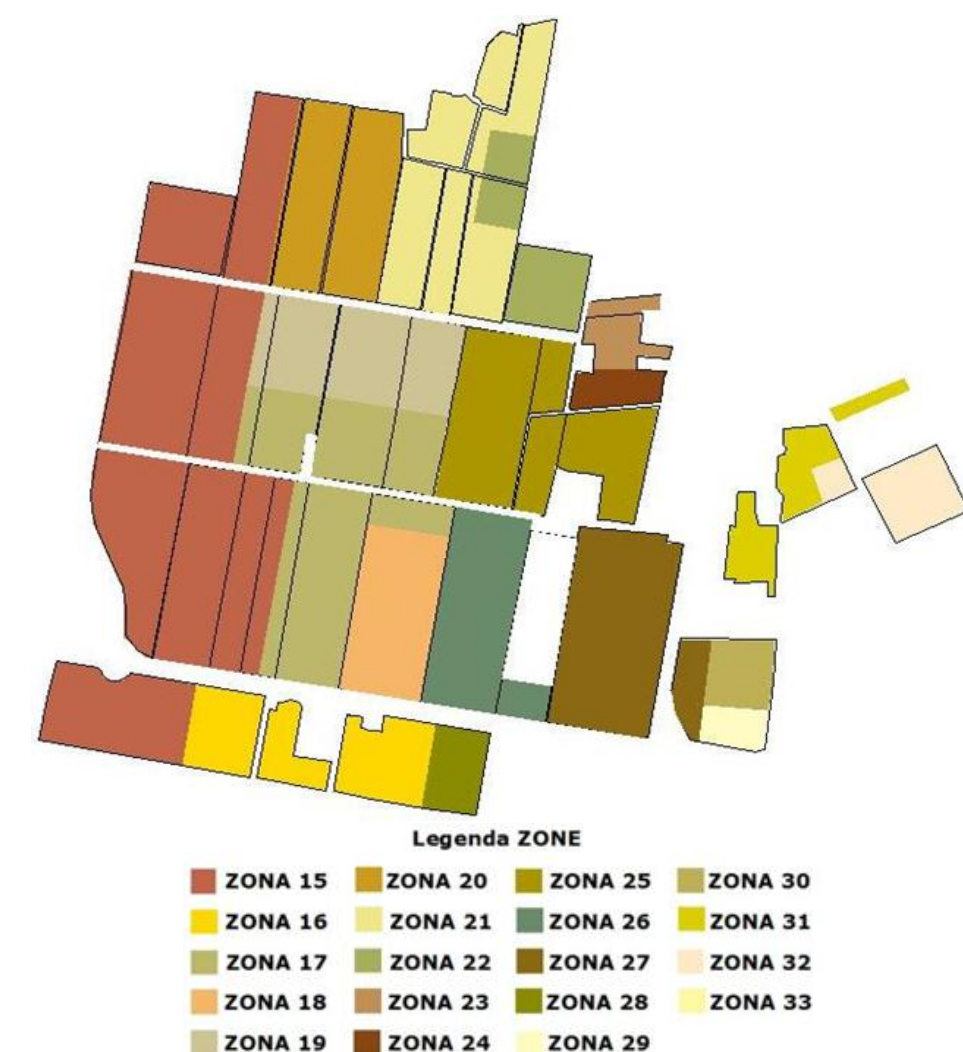


Figura 2: Caratterizzazione aziendale: divisione dell'azienda in zone di uno o più appezzamenti con caratteristiche strutturali e produttive simili.

5.3- Area di studio

Per raggiungere gli obiettivi di questa tesi, è stato necessario individuare un appezzamento all'interno dell'azienda che nel decennio (2002-2012) avesse i seguenti requisiti:

- Alta variabilità spaziale
- Coltivazione del mais da granella nella maggioranza degli anni considerati
- Uguale gestione agronomica e operazioni colturali adottate annualmente
- Assenza di impianto di irrigazione Pivot ad ali traslanti
- Completezza dei dati per annata dell'appezzamento

Il campo che corrisponde a tutti precedenti requisiti si trova all'interno della zona 24 e corrisponde al nome di 24 A.

Inizialmente questo appezzamento aveva una superficie di circa 13 ettari ma nel 2006 fu diviso in due appezzamenti distinti: il 24 A e il 24 B, separati da un collettore di irrigazione.

L'appezzamento preso in considerazione, il 24 A, ha una superficie di 6,6 ettari e in questo decennio vi è stato coltivato mais da granella, irrigato con l'utilizzo di irrigatori giganti mobili.

La zona 24 è caratterizzata da un terreno franco- sabbioso, scarsamente calcareo a reazione sub-alcalina, con una fertilità minerale e organica bassa, con bassa capacità del terreno di mettere a disposizione della pianta i nutrienti.

5.4- Gestione agronomica

Nel decennio considerato, il campo 24 A ha avuto una gestione agronomica simile, in quanto vi è stato coltivato mais da granella per la maggior parte degli anni, a parte nel 2003 in cui era stato seminato rafano e nel 2006 in cui vi era coltivata soia. In quest'ultimo anno (2012) è stato coltivato frumento tenero. Negli otto anni in cui è stato coltivato mais si sono effettuate le stesse operazioni colturali, con differenze nelle macchine operatrici utilizzate e dal 2007 con l'applicazione per quanto riguarda la concimazione, a dosaggio variabile. Di norma, dopo la trebbiatura del mais, vengono trinciati i collettori, negli ultimi anni questa operazione è stata eseguita direttamente dalla trebbiatrice. Successivamente ha inizio la lavorazione del terreno, la quale viene eseguita sul doppio strato, effettuata a fine settembre, che prevede:

- Distribuzione di pollina fresca
- Discatura con erpice (6 mt) a dischi con diametro 70 cm
- Estirpatura profonda 40-50cm con erpice a denti fissi (6mt)
- Aratura profonda ogni 4 anni

A dicembre viene eseguita una nuova discatura-estirpatura con erpice combinato (6mt) con denti a molle. Verso la metà di febbraio si inizia la preparazione del letto di semina, la quale viene eseguita con un preparatore trainato Tiger Hatzenbichler (6 mt) in due passate.

Verso la fine di marzo ha inizio la semina: prima del 2010 si utilizzava una seminatrice John Deere Maxemerg a 6 file da sodo/semi-sodo; dal 2011 si utilizza una Monosem NG-Plus a 8 file. In questo decennio sono state utilizzate diverse varietà di mais, sfruttando l'evoluzione e il miglioramento genetico dell'ibridi utilizzati, quali:

ANNO	IBRIDO COMMERCIALE
2004	PR 34 N 43
2005	PR 34 N 43
2007	PR 32 G 44
2008	PR 32 G 44
2009	P 33 T 56
2010	PR 32 F 73
2011	P 1758

In base alle annate si decideva se effettuare il diserbo pre o post emergenza.

A metà maggio si effettua una concimazione granulare di Urea (46%) con spandiconcime pneumatico Accord. Questa concimazione era effettuata con dosaggio uniforme fino al 2006 e a partire dal 2007 è stata soggetto dell'applicazione di tecnologie a dosaggio variabile che verranno approfondite nei prossimi capitoli. Subito dopo la concimazione avviene la rincalzatura delle inter-file, prima del 2010 invece questa operazione era sostituita dalla sarchiatura.

Nei primi di giugno si inizia l'irrigazione della coltura, tramite irrigatori giganti mobili (rotoloni) e si effettuano da 2 a 4 irrigazioni in base all'andamento delle condizioni climatiche delle annate e allo stress idrico della coltura. I primi di luglio si effettua il trattamento anti-pirale.

Dall'ultima settimana di agosto a metà settembre ha luogo la trebbiatura della granella, la quale era effettuata prima del 2006 con una mietitrebbiatrice John Deere 6 file e successivamente con una mietitrebbiatrice Case 8 file.

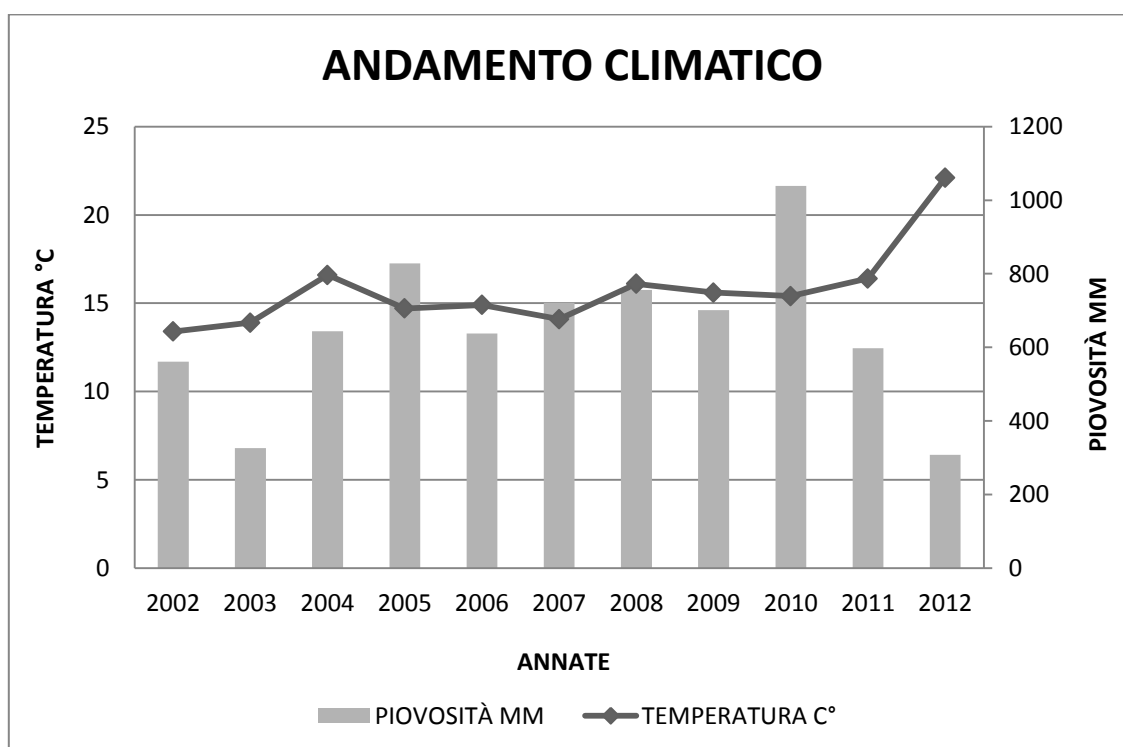
5.5- Periodo di prova climatico

Nel decennio considerato(2002-2012) uno dei dati che ha influenzato la gestione agronomica e le produzioni finali è l'andamento climatico, in base al quale si decideva di irrigare in una o più volte la coltura e contribuiva allo stress idrico delle piante.

Nella zona considerata si sono registrati, tramite la presenza di una centralina meteo Pessl installata nell'azienda, i dati osservabili nella pagine seguente.

ANNATA	TEMPERATURAMEDIA ANNUA (°C)	PIOVOSITA'ANNUALE (mm)
2002	13,4	561
2003	13,9	326
2004	16,6	644
2005	14,7	828
2006	14,9	638
2007	14,1	721
2008	16,1	756
2009	15,6	701
2010	15,4	1039
2011	16,4	598
2012*	22,1	308

*fino ad ottobre



6- ANALISI DELL'APPLICAZIONE DI TECNOLOGIE DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE

6.1- Fase 1 (2002-2006)

L'azienda Porto Felloni fin dal 2007 ha scelto di intraprendere l'applicazione di tecnologie a dosaggio variabile per la concimazione azotata in copertura.

Per effettuare ciò, ha dovuto inizialmente e per il periodo che va dal 2002 al 2006, studiare la variabilità spaziale dei propri appezzamenti, mediante una mirata raccolta dati ed una loro successiva elaborazione, attraverso la quale è giunta alla creazione delle prime mappe di prescrizione della dose variabile.

In questa fase, “pre-agricoltura di precisione”, lo studio della variabilità spaziale si è svolto tramite:

- Le mappature delle produzioni dei singoli appezzamenti
- Il campionamento dei terreni

6.1.1- Le mappe di resa

Le mappature delle produzioni cerealicole (mais e frumento) dell'azienda sono iniziate nel giugno 2002: esse sono state effettuate, al momento della raccolta, tramite l'utilizzo di una mietitrebbiatrice John Deere 6 file, equipaggiata di sensori di resa a misurazione di massa della granella ed abbinata ad un sistema di rilevazione satellitare di posizionamento e movimento all'interno degli appezzamenti.

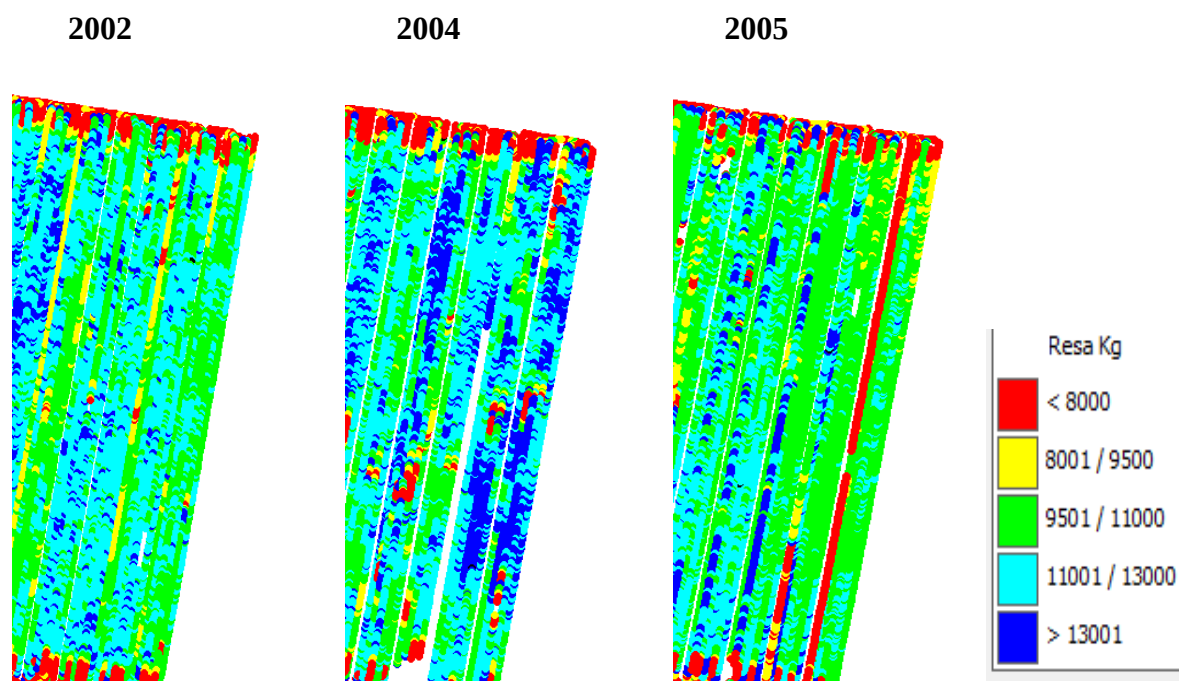
Nell'area di studio scelta per esemplificare, denominata “Campo 24 A”, sono state monitorate le rese di mais per tutto il decennio 2002-2012.

Il campo, nato come appezzamento unico, nel 2006 è stato diviso in due appezzamenti distinti, a seguito di sistemazione a drenaggio: il 24 A e il 24 B, separati da un collettore di irrigazione.

Nei primi anni quindi le mappe di resa del campo non sono distinte in due appezzamenti, ma la parte visualizzata fa riferimento solamente al 24 A, non avendo confini definiti che separano l'appezzamento A da quello B.

Inoltre sono mancanti le mappe del 2003 e del 2006 in quanto vi erano coltivate rispettivamente rafano e soia.

Ecco le mappature delle produzioni del mais:



A destra, la legenda che distingue i valori delle classi di produzione espresse in Kg/ha, ad ogni colore è associato un valore che si può analizzare nelle mappe. Le linee bianche presenti nelle mappe indicano dei punti nei quali la trebbia non ha registrato a causa della sovrapposizione delle passate.

Ecco i dati raccolti per ogni annata dalla trebbia e riferiti al campo 24 A:

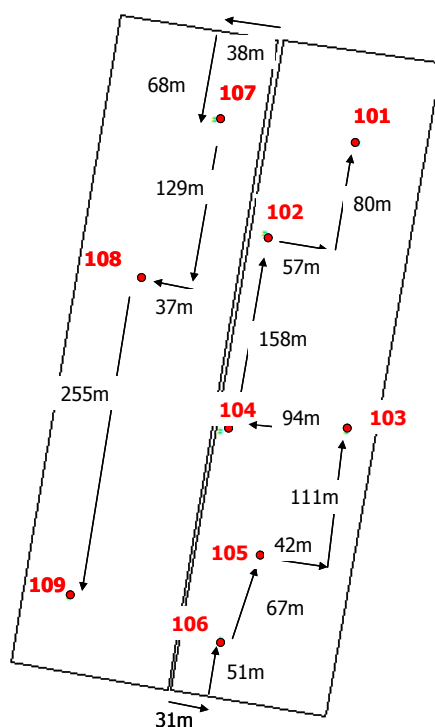
ANNATA	Produzione/Ettaro (t/ha)	Produzione tot (t)
2002	11	72,6
2004	12,1	79,9
2005	10,3	68,0

6.1.2- Il campionamento dei terreni

Lo studio della variabilità spaziale tramite le mappe di produzione, è stato arricchito nel 2004 dallo studio delle analisi dei terreni. L'azienda si è affidata al laboratorio Leochimica di Pordenone, il quale offriva servizi di attività di analisi delle caratteristiche delle produzioni agricole ed alimentari. Le analisi delle caratteristiche del suolo sono state effettuate con metodo di campionamento selettivo, rilevando più punti all'interno degli appezzamenti, selezionati in seguito all'analisi delle prime mappe di resa dove vi erano zone con differenze di produzioni più accentuate e significative.

I punti selezionati sono poi stati individuati con l'ausilio del ricevitore satellitare, in modo da poter essere localizzati e utilizzati facilmente. Una volta eseguiti i carotaggi sui punti stabiliti e l'analisi dei campionamenti del terreno in laboratorio, è stato possibile l'utilizzo di strumenti di analisi geo-statistica, allo scopo di stimare la variabilità spaziale a carico di un parametro analizzato all'interno del campo attraverso modelli statistici, funzioni matematiche e correlazioni che portano ad ottenere un'analisi geo-referenziata del terreno esaminato, oltre alla creazione di mappe della struttura del terreno per uno o più parametri presi in considerazione.

Nell'appezzamento 24 A sono stati individuati sei punti (dal 101 al 106), nei quali è stato effettuato un carotaggio del terreno a una profondità di 30 cm, analizzato successivamente dal laboratorio.

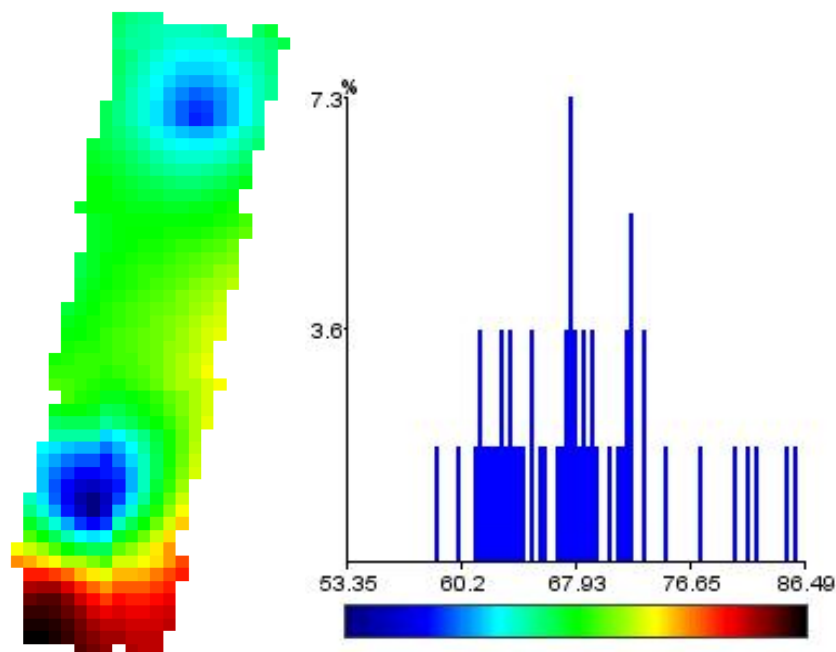


Schema del campionamento selettivo: numerazione e locazione dei punti. A destra l'appezzamento 24 A (punti 101-106).

I principali parametri considerati durante l'analisi dei campionamenti, sono quelli riguardanti la tessitura dei terreni, ovvero la costituzione dei terreni espressa come rapporto tra le particelle di diverse dimensioni che li compongono, in funzione del loro diametro equivalenti. I terreni si distinguono in tre classi:

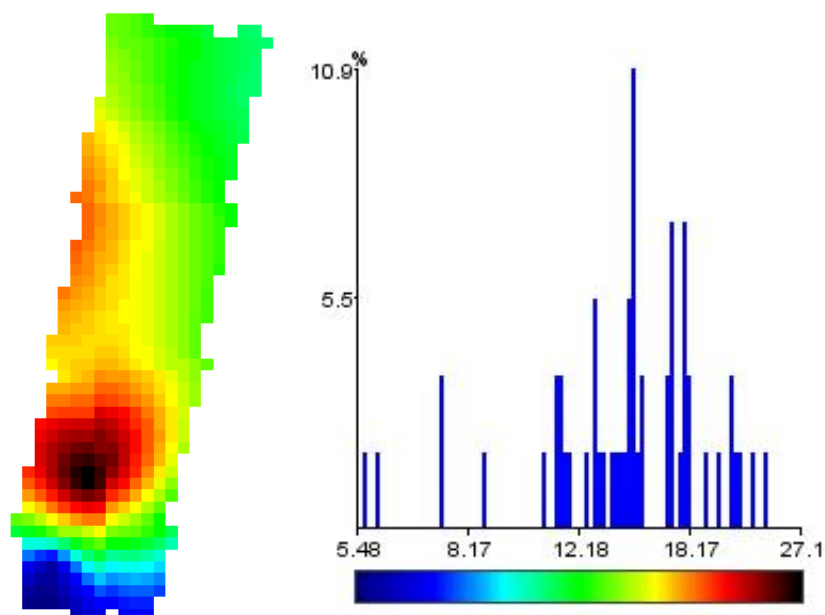
- Sabbia: particelle di diametro comprese tra 0,02 e 2,0 mm
- Limo: particelle di diametro comprese tra 0,002 e 0,02 mm
- Argilla: particelle di diametro minore di 0,002 mm

La conoscenza e lo studio della tessitura è molto importante perché serve a una migliore comprensione dei dati analitici raccolti, essendo correlata alla concimazione. Infatti, ad esempio, elevati contenuti in sabbia favoriscono le perdite di azoto, a causa del maggior dilavamento degli elementi nutritivi e viene richiesta una dose maggiore di concime e il suo frazionamento, mentre elevati contenuti in argilla creano difficoltà al movimento dei nutrienti ma allo stesso momento riducono le perdite e creano fenomeni di ristagno. Nei terreni limosi la scarsa mobilità degli elementi nutritivi è ancora maggiore. Inoltre, al contrario degli elementi nutritivi che sono elementi mobili e la cui composizione varia annualmente a seconda della coltura in atto, del livello di dilavamento e all'aumentare delle operazioni colturali, la tessitura di un terreno difficilmente cambia, a meno che non si intervenga con lavorazioni del terreno profonde e ripetute o particolari. Per questi motivi, l'azienda Porto Felloni, ha ritenuto importante analizzare e studiare la tessitura dei propri appezzamenti grazie ai campionamenti eseguiti, gettando le basi per l'applicazione di tecnologie di Precision Farming e in particolare in previsione di effettuare la concimazione azotata in dose variabile. Ecco di seguito i risultati e le mappe dei campionamenti eseguiti nel 2004 e riferiti al campo 24 A:

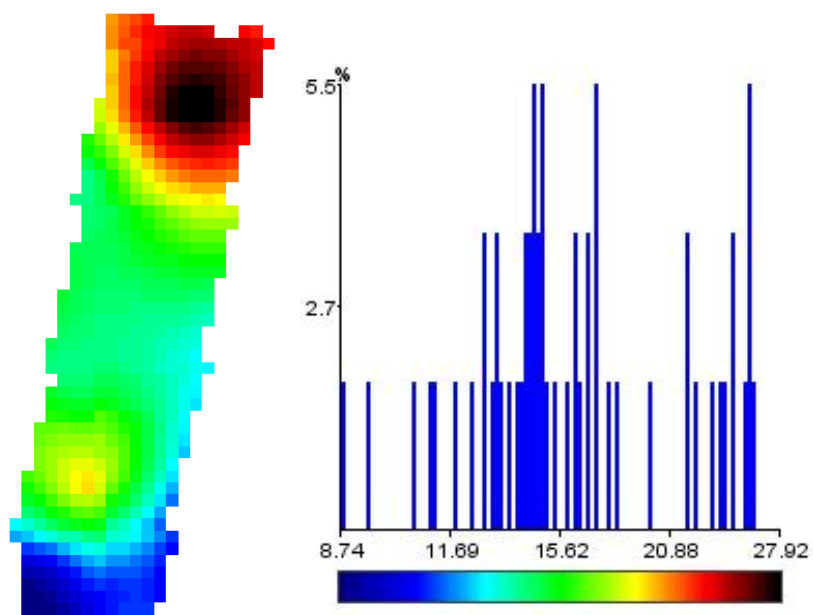


Mappa e istogramma riferiti alla presenza di sabbia nel terreno: la zona a sud dell'appezzamento, di colore rosso indica una composizione maggiore di sabbia compresa tra 76,65-86,49% mentre le due chiazze di colore azzurro-blu rappresentano due zone con la minor composizione, tra 53,35-60,2%.

La maggior parte dell'appezzamento, ha un composizione attorno al 67,93% di sabbia, con riferimento il color verde.



Mappa e istogramma riferiti alla presenza di limo nel terreno: la zona a sud dell'appezzamento, di colore blu indica una composizione minore di limo compresa tra 5,48-8,17% mentre la chiazza di colore rosso-nero rappresenta la zona con maggior contenuto di limo, attorno al 27,1%.



Mappa e istogramma riferiti alla presenza di argilla nel terreno: la zona a sud dell'appezzamento, di colore blu indica una composizione minore di argilla compresa tra 8,74-11,69% mentre la zona a nord di colore rosso-nero è caratterizzata dalla maggior quantità in argilla, compresa tra 20,88-27,92%.

6.1.3- La concimazione del mais

L'adozione di tecnologie di Agricoltura di Precisione nell'azienda Porto Felloni, come già detto, è stata effettuata con l'intenzione di gestire la concimazione azotata con dose variabile, con lo scopo di aumentarne l'efficienza e di conseguenza la produttività e di ottimizzare e ridurre i costi degli input produttivi, in questo caso il concime.

La concimazione del mais in azienda prevedeva l'apporto totale di 300 unità (kg) per ettaro di azoto. Una parte pari a 70 unità di azoto veniva apportata, dopo la lavorazione del terreno, con la distribuzione in forma organica di pollina matura, la quale permette un apporto oltre che di azoto anche dei principali elementi nutritivi, fosforo e potassio su tutti; inoltre è di facile reperibilità e permette costi contenuti. Un'altra parte di azoto, 40 unità veniva localizzata alla semina assieme a 34 unità di fosforo. Il restante apporto azotato, pari a 190 unità, venivano distribuite in copertura sotto forma di urea, la quale vanta il maggior titolo azotato (46%) e il minor costo per unità fertilizzante. La concimazione in copertura fino al 2006 è stata effettuata a dose uniforme, mentre a partire dal 2007 a dose variabile.

$$300 \text{ kg N/ha} = 70 \text{ kg N/ha pollina} + 40 \text{ kg N/ha in semina} + \underline{190 \text{ kg N/ha in copertura}}$$

In sintesi fino all'annata 2006, nell'azienda Porto Felloni la concimazione del mais in copertura veniva eseguita mediante l'utilizzo di 190 Kg N/ha che corrispondono a 420 Kg Urea/ha.

Complessivamente sul campo 24 A sono stati utilizzati 2772 kg di urea, pari a 1275 kg di azoto.

6.2- Fase 2 (2007-2011)

A partire dall'annata 2007, si è iniziato a concimare le colture di mais e grano con dosaggio variabile, infatti grazie allo studio delle mappe di produzione degli anni precedenti e all'analisi dei terreni, sono state elaborate le prime mappe di prescrizione della dose variabile per ogni appezzamento dell'azienda.

Dal maggio 2007 si è iniziato quindi a utilizzare tecnologie di Agricoltura di Precisione: la concimazione in copertura è stata effettuata utilizzando uno spandiconcime pneumatico Accord, attrezzato con sistema Isobus per l'applicazione della dose variabile.

Durante il periodo dal 2007 al 2011 l'azienda ha compiuto ulteriori passi in avanti verso l'Agricoltura di precisione:

- Prime mappe di prescrizione (2007)
- Nuovo campionamento dei terreni (2008)
- Mappe delle produzioni (2007-2011)
- Evoluzione delle mappe di prescrizione (2010)



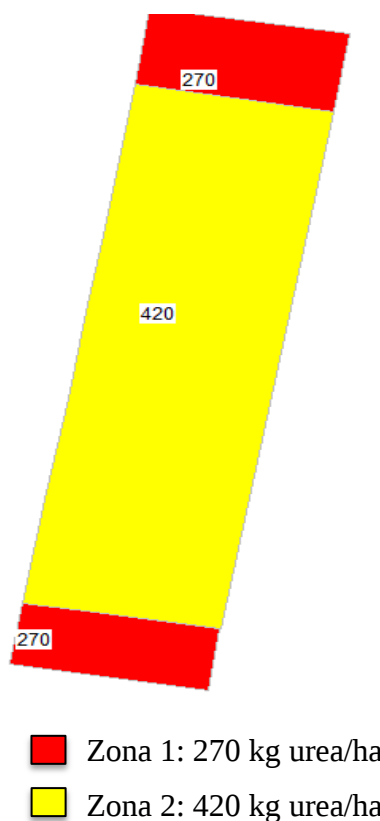
Concimazione azotata in copertura del grano con tecnologie per l'applicazione variabile della dose con sistema Isobus. Si può notare il ricevitore satellitare installato nella parte superiore della cabina del trattore.

6.2.1- Prime mappe di prescrizione

Nei primi mesi dell'anno 2007 sono state messe a punto le prime mappe di prescrizione della dose variabile, le quali principalmente si basavano sull'analisi delle mappe di resa (2002-2006), in quanto queste offrivano dei risultati più immediati su cui poter fare riferimento, al contrario delle mappe del suolo, le quali erano state create grazie all'utilizzo di metodi statistici geo-referenziati che non sempre rispecchiano le reali condizioni del terreno.

Le prime mappe di prescrizione erano basate quindi sull'individuazione di zone omogenee, nelle quali al variare degli anni, si manifestava una costante minor produttività, tale da giustificare l'impiego di una dose minore di concime rispetto alle zone più produttive.

Anche per l'appezzamento analizzato (24 A) è stato effettuato questo ragionamento: l'analisi delle mappe di resa riferite agli anni precedenti evidenziano, nelle zone marginali a nord e a sud dell'appezzamento, una produttività costante inferiore alle 8 t/ha. Queste due fasce marginali dimostrano caratteristiche del terreno, tali da non consentire livelli di produttività analoghi alle altre parti dell'appezzamento, per cui si rende opportuno differenziare le quantità di concimi stante il fatto che si conosce già la loro produttività effettiva.



Prima mappa di prescrizione della dose variabile di concime dell'appezzamento 24 A: le dosi prescritte sono calcolate per l'utilizzo di urea come concime.

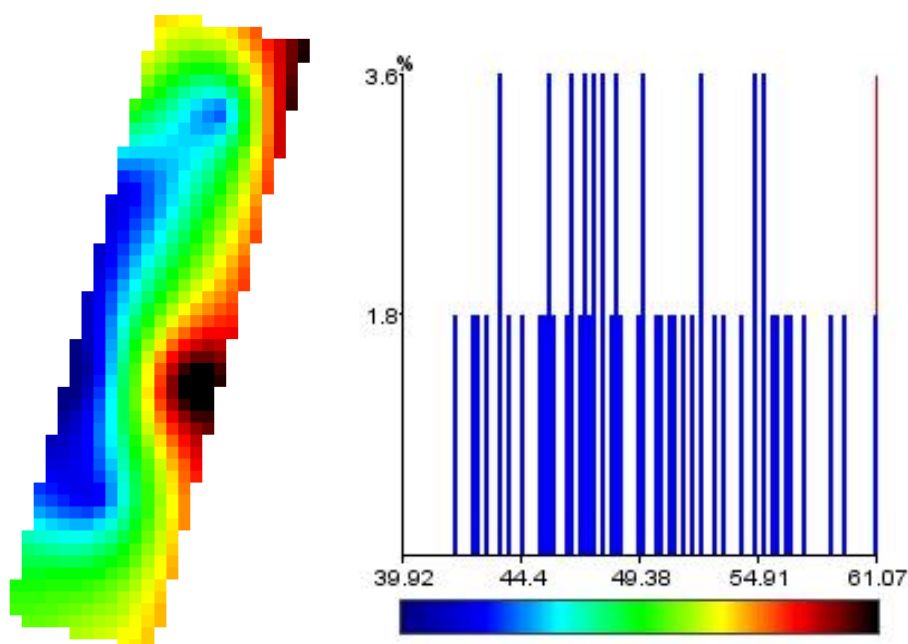
La prima mappa di prescrizione prevedeva la divisione in due classi distinte:

- basso potenziale produttivo: le zone marginali a nord e a sud con un investimento di urea di 270 kg/ha, pari a 124 kg N/ha;
- medio-alto potenziale produttivo: la restante parte dell’appezzamento con un investimento di urea di 420 kg/ha pari 193 kg N/ha.

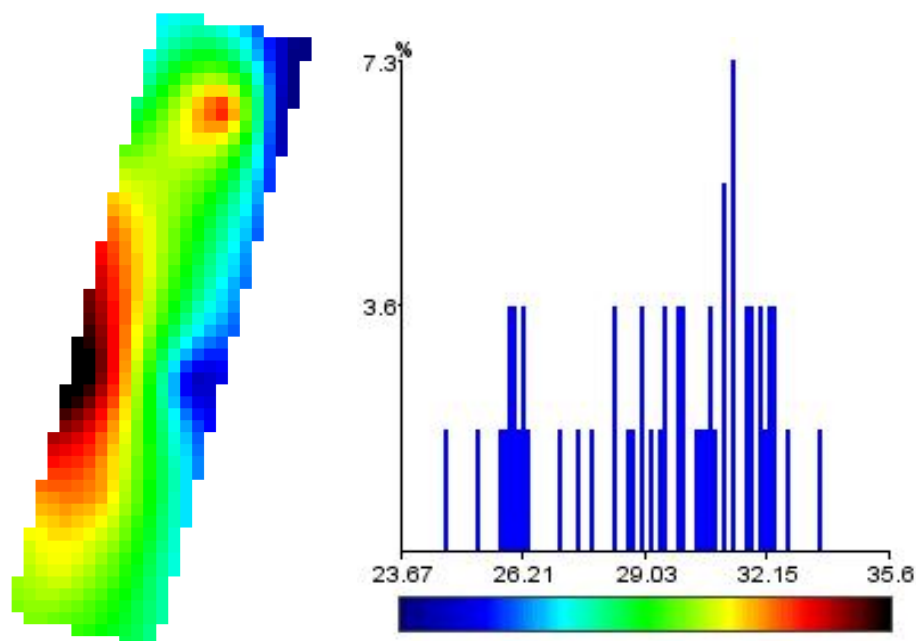
In media è stato concimato con 388 kg/ha di urea, corrispondenti a 178,5 kg N/ha; per un totale di 2562 kg di urea, pari a 1178 kg di azoto.

6.2.2- Nuovo campionamento dei terreni

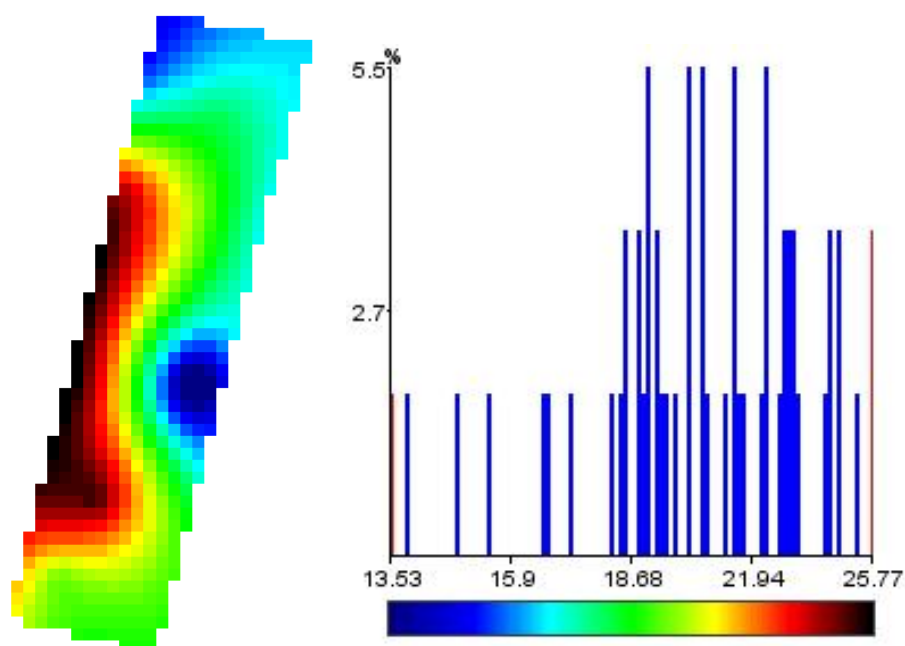
Nel 2008 è stato ripetuto il campionamento delle superfici aziendali, sempre con metodo selettivo ed utilizzando i punti del precedente campionamento, eseguendo carotaggi alla stessa profondità (30 cm) e ricavando mappature dei terreni con analisi geo-statistica. Questa volta però, l’azienda si è affidata a un nuovo centro di analisi chimico-fisiche: il laboratorio Pioneer, il quale, diversamente dal centro precedente, ha utilizzato attrezzature NIRS per l’analisi dei terreni, permettendo un grado di accuratezza maggiore. Anche in questo caso, i parametri ritenuti più importanti per l’elaborazione di mappe di prescrizione per la concimazione a intensità variabile sono stati quelli riguardanti la tessitura. Di seguito, le mappe geo-referenziate del campo 24 A create dopo il campionamento del 2008.



Mappa e istogramma riferiti alla presenza di sabbia nel terreno, si possono osservare tre fasce longitudinali: la prima a ovest di color azzurro blu con composizione di sabbia tra 39,92-44,4%; una fascia centrale di color verde con 49,38% di sabbia e una fascia a est con di color giallo-rossa con composizione tra 54,91- 61,07%.



Mappa e istogramma riferiti alla presenza di limo nel terreno, si possono osservare, anche qui, tre fasce longitudinali: la prima a ovest di color rosso-giallo con composizione di limo tra 32,15-35,6%; una fascia centrale di color verde con 29,03% di sabbia e una fascia a est con di color azzurro-blu con composizione tra 23,67-26,21%.



Mappa e istogramma riferiti alla presenza di argilla nel terreno, si possono osservare, come nei precedenti, tre fasce longitudinali: la prima a ovest di color rosso-giallo con composizione di argilla tra 21,94-25,77%; una fascia centrale di color verde con 18,68% di argilla e una fascia a est con di color azzurro-blu con composizione tra 13,53-15,9%.

Prendendo in esame le mappe della tessitura del suolo dei campionamenti 2008 si può osservare la differenza tra queste e le mappe ottenute con il campionamento 2004: vi è una grande diversificazione delle zone con composizione strutturale simile ed anche i valori in percentuale della composizione differiscono, a volte di molto. Non è possibile imputare ciò al cambiamento del terreno in questi anni, pur essendo variabile nel corso degli anni e in relazione soprattutto alla disponibilità degli elementi nutritivi, mantiene pressoché invariata la propria tessitura. Questa differenza tra i due campionamenti è piuttosto riconducibile al fatto che essi sono stati eseguiti da due diversi laboratori, ognuno dei quali ha usato proprie strumentazioni di indagine geo-referenzata con probabili valori e scale proprie. E' possibile che il campionamento del 2008 risulti più efficiente, in quanto sono state utilizzate strumentazioni NIRS, che rappresentano l'evoluzione e il progresso tecnologico per le analisi chimiche negli anni successivi al primo campionamento. Per questi motivi l'azienda Porto Felloni, per la concimazione a dosaggio variabile continuava ad affidarsi allo studio delle rese nelle varie annate piuttosto che all'analisi delle mappe del suolo. I campionamenti erano ritenuti comunque utili per conoscere le caratteristiche dei propri terreni, in particolare i cambiamenti dei singoli elementi nutritivi.

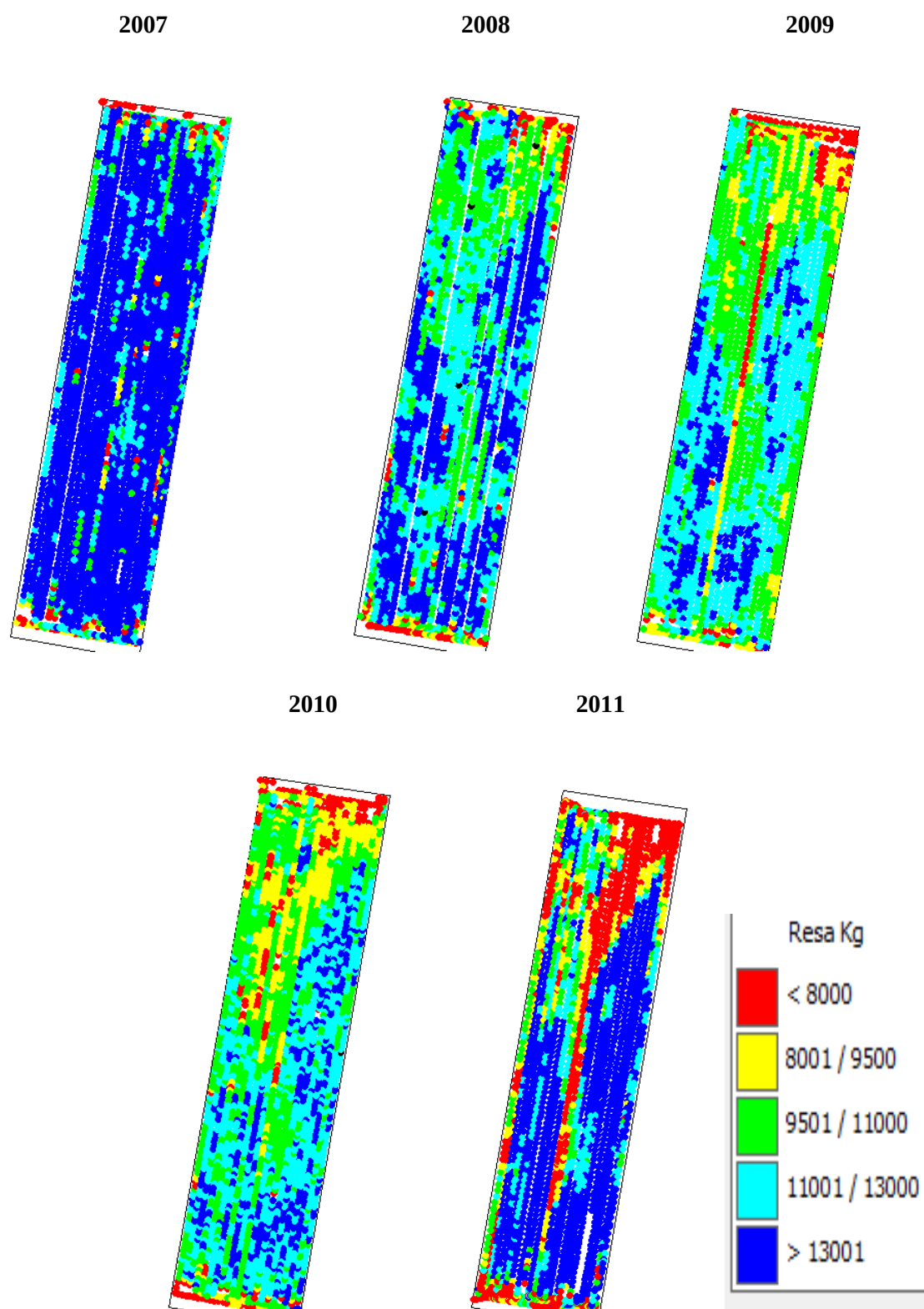
6.2.3- Mappe delle produzioni

Dal 2007 al 2011, l'azienda ha continuato a monitorare le rese delle produzioni cerealicole, utilizzandole poi per l'evoluzione delle mappe di prescrizione per i singoli appezzamenti. A partire dal raccolto di mais 2007 si è utilizzata una mietitrebbiatrice Case 8 file, sempre equipaggiata con le strumentazioni per le misurazioni della precedente e inoltre munita di un sistema di trinciatura dei collettori.



Nelle precedenti immagini si osservano: a sinistra la trebbia Case 9120, utilizzata per i raccolti successivi al 2007, in azione; a destra il Virtual Terminal, montato sulla trebbia, mentre registra i dati del raccolto.

Di seguito si possono osservare le mappe di resa del campo 24 A delle annate 2007-2011.



Ecco i dati raccolti per le precedenti annate dalla trebbia e riferiti al campo 24 A:

ANNATA	Produzione/Ettaro (t/ha)	Produzione/Campo (t)
2007	14,3	94,4
2008	13,1	86,5
2009	12,5	82,5
2010	12,3	81,2
2011	12,2	80,5

6.2.4- Evoluzione delle mappe di prescrizione

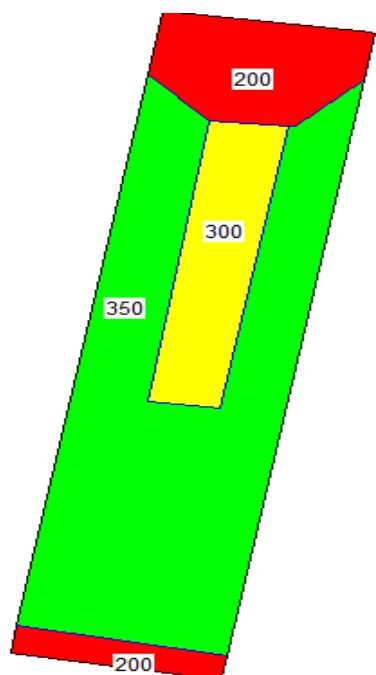
I primi risultati ottenuti con l'approccio alla concimazione a dose variabile, hanno incoraggiato l'azienda a proseguire la propria strada verso l'evoluzione e il progresso nell'utilizzo di tecnologie di Agricoltura di Precisione, ciò è stato tradotto con una nuova elaborazione della mappe di prescrizione della dose di concime per i singoli appezzamenti.

Per ottenere ciò sono state studiate nuovamente le mappe di resa, avendo la possibilità di analizzare e confrontare nuove annate, cercando di individuare ulteriori zone omogenee con differenze di produttività.

Nel campo 24 A, tramite lo studio delle mappe di resa, è stata individuata una nuova zona, ripetuta nelle varie annate e situata a centro-nord, con una produttività media rispetto alle due zone precedentemente analizzate.

Lo studio effettuato sulla concimazione variabile come per la prima mappa di prescrizione, si è deciso di apportare ad essa una modifica, includendo questa nuova zona e creando una nuova classe per la dose; anche le precedenti classi hanno subito variazioni di dose.

Di seguito la mappa di prescrizione creata nel 2010 e riferita all'utilizzo di urea come concime.



- Zona 1: 200 kg urea/ha
- Zona 2: 300 kg urea/ha
- Zona 3: 350 kg urea/ha

Questa seconda mappa di prescrizione prevedeva la divisione in tre classi distinte:

- basso potenziale produttivo: le zone marginali a nord e a sud con un investimento di urea di 200 kg/ha, pari a 92 kg N/ha
- medio potenziale produttivo: la zona a centro-nord con un investimento di urea di 300 kg/ha, pari a 138 kg N/ha
- alto potenziale produttivo: la restante parte dell'appezzamento con un investimento di urea di 350 kg/ha pari 161 kg N/ha

In media è stato concimato con 315 kg/ha di urea, corrispondenti a 144,9 kg N/ha; per un totale di 2090 kg di urea, pari a 961 kg di azoto.

6.3- Fase 3 (2012)

Nell'ultimo anno (2012) l'azienda Porto Felloni ha compiuto nuovi grandi passi verso le tecnologie di Agricoltura di Precisione, e ciò a conseguenza del perfezionamento delle tecniche utilizzate in precedenza e dopo aver svolto una nuova indagine dei terreni eseguita con una tecnologia di ultima generazione: l'ARP.

Tutto ciò ha permesso all'azienda di migliorare sensibilmente il livello di precisione, riuscendo a raggiungere più facilmente e con risultati maggiori gli obiettivi prefissati.

In quest'ultima fase quindi si possono osservare tre punti principali:

- Il campionamento globale dei terreni
- Le nuove mappe di prescrizione
- Le ultime mappe di produzione
- Nuove operazioni colturali sito-specifiche

6.3.1- Il campionamento globale dei terreni

Nel 2012 è stato eseguito un nuovo campionamento dei terreni aziendali, questa volta utilizzando la recente tecnologia dell'ARP.

L'ARP, come già visto, è un rilevatore della resistività elettrica di un terreno che consente la mappatura ad alta risoluzione di ampie superfici su tre livelli di profondità, del piano di campagna (0-50; 0-100 e 0-200 cm) in tempi rapidi ed a costi contenuti. L'ARP permette, misurando come il suolo si oppone al passaggio di corrente elettrica, di delineare zone omogenee per caratteristiche pedologiche, soprattutto tessitura (percentuale di limo, argilla e sabbia). Come già evidenziato, la tessitura è una proprietà dei suoli che non cambia nel tempo e da essa dipendono caratteristiche idrologiche e nutrizionali dei campi alla base della variabilità delle produzioni.

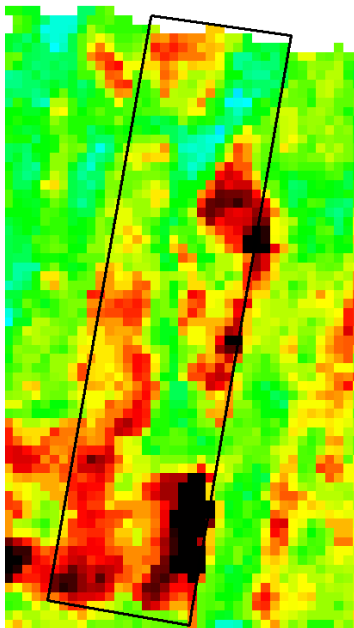
Il vantaggio principale dell'ARP è quello di consentire, in maniera rapida e stabile, la zonazione della superficie aziendale, ciò costituisce il punto di partenza per l'applicazione di tecniche di gestione sito-specifiche. Grazie a questa nuova tecnologia, si è potuto conoscere la tessitura dei terreni con una precisione massima, al contrario dei precedenti metodi di campionamento, basati sull'analisi e conoscenza di pochi e limitati punti di un campo e alla loro successiva geo-referenziazione tramite modelli statistici e matematici. Inoltre è stato possibile ottenere mappe ad alta risoluzione, con una precisione ed accuratezza più elevata così da mettere in condizione l'azienda di studiare ed analizzare i propri terreni in tre livelli distinti, ma soprattutto di applicare in maniera più efficiente tecnologie di Agricoltura di Precisione.



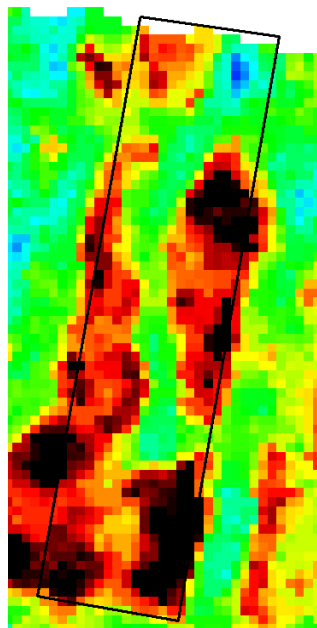
In precedenza, si può osservare la tecnologia ARP all'opera negli appezzamenti dell'azienda Porto Felloni. Note strutturali: l'attrezzo somiglia ad un erpice a dischi, esso si compone di 8 ruote metalliche disposte secondo una particolare geometria. Le ruote dentate sono veri e propri elettrodi che trasmettono e ricevono il segnale elettrico del suolo mentre la strumentazione viene trainata in campo. L'intera apparecchiatura può essere trainata fino ad una velocità a 20 km/h da un Quad a quattro ruote motrici sul quale è presente l'elettronica di gestione comprendente tra l'altro un Pc da campo e un sistema GPS a precisione centimetrica.

Di seguito si possono osservare le mappe del suolo del campo 24 A, elaborate grazie all'ARP e suddivise nei tre livelli rilevati.

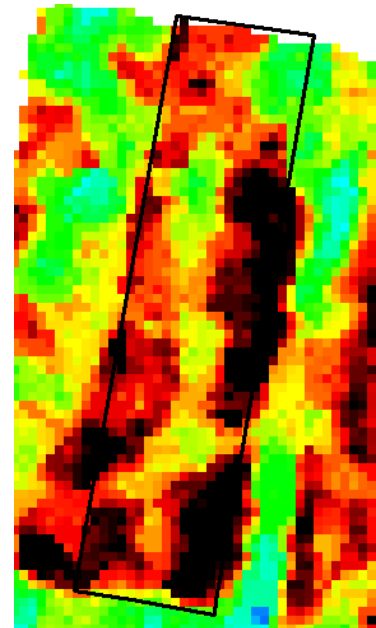
ARP Livello 1 (0-50 cm)



ARP Livello 2 (0-100 cm)



ARP Livello 3 (0-200 cm)



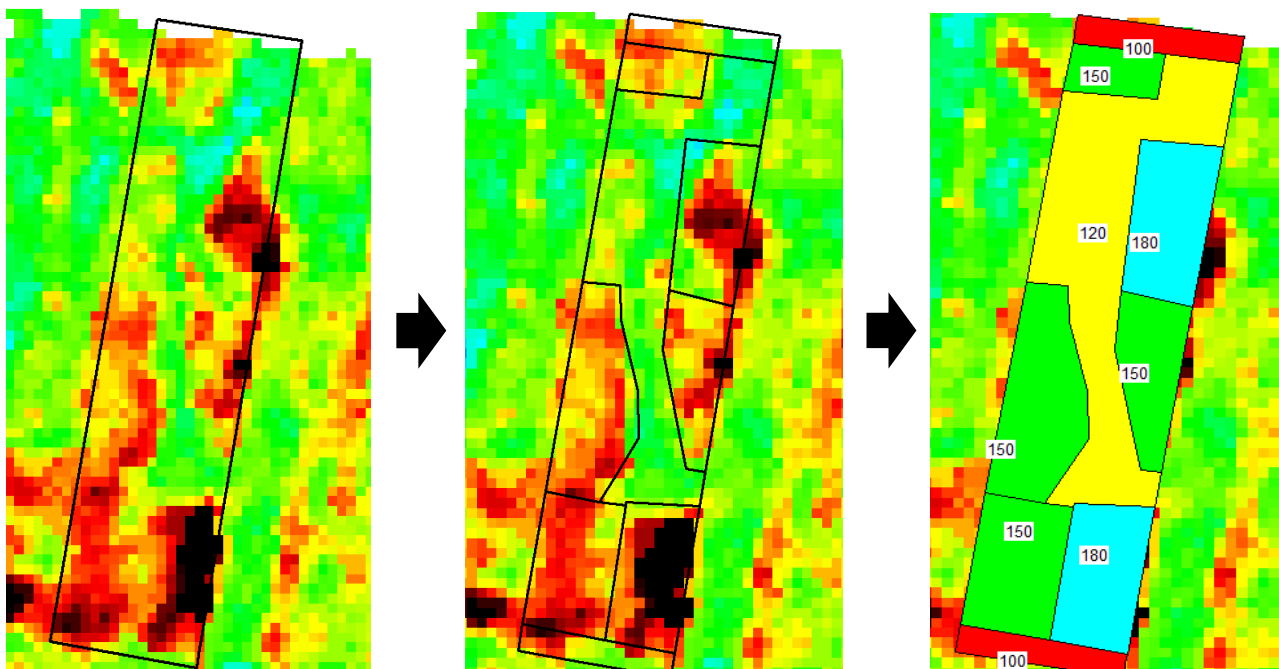
Osservando i tre livelli si possono riscontrare differenze nelle zonazioni dei terreni tra i vari livelli. Man mano che si scende di profondità nel suolo si incontrano infatti diversità nella

stratificazione del terreno, in questo caso scendendo di livello, la concentrazione di sabbia (color rosso-nero) nell'appezzamento aumenta. Poiché le operazioni colturali e la stessa crescita della coltura interessa principalmente il primo livello del terreno, è stato preso in considerazione quest'ultimo per l'elaborazione delle nuove mappe di prescrizione.

6.3.2- Le nuove mappe di prescrizione

L'acquisizione di mappe della tessitura degli appezzamenti con un grado di precisione centimetrico, ha gettato le basi per l'elaborazione di nuove mappe di prescrizione della dose variabile di concime. Infatti, a partire dall'annata 2012, sono state elaborate mappe per i singoli appezzamenti con una fondamentale novità: per l'applicazione della dose variabile di concime, da questo momento in poi, è possibile basarsi su una maggiore e accurata conoscenza dei propri terreni, punto fondamentale per l'ottimizzazione e l'efficienza della concimazione.

Per l'elaborazione delle nuove mappe di prescrizione quindi, oltre all'analisi e allo studio delle rese degli anni precedenti, è possibile individuare zone omogenee di tessitura e classificarle per assegnare loro una dose di concime specifica. Questo ha permesso all'azienda di concimare conoscendo le reali necessità di ogni singola area dei propri appezzamenti, ottenendo la massima precisione raggiungibile. Nel campo da noi considerato è stata creata una nuova mappa di prescrizione della dose, elaborata sull'analisi dei fattori descritti in precedenza.



Creazione della mappa di prescrizione della dose variabile di concime per il frumento tenero, considerando il livello 1 dell'ARP e le precedenti prescrizioni basate sull'individuazione di zone omogenee per la produttività. Le zone analizzate dell'ARP con tessitura con maggiore contenuto di

sabbia (color rosso-nero) richiedono dosi di concime superiore in quanto in quanto sono soggette a fenomeni di dilavamento e perdita del concime. Inoltre sono state utilizzate le precedenti prescrizioni per le zone marginali dell'appezzamento che sono meno produttive e per la fascia centrale mediamente produttiva.

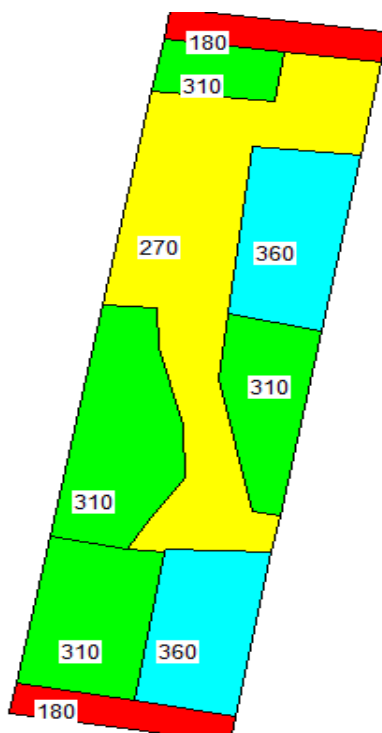
Per la concimazione del frumento, utilizzando l'urea, sono state definite le seguenti classi:

	Zona 1: 100 kg urea/ha
	Zona 2: 120 kg urea/ha
	Zona 3: 150 kg urea/ha
	Zona 4: 180 kg urea/ha

In media è stato concimato con 142 kg/ha di urea, per un totale di 973 kg di urea.

La mappa di prescrizione adottata nell'ultima annata per il frumento tenero nel campo 24 A, sarà probabilmente utilizzata dall'azienda Porto Felloni nell'annata prossima, 2013, per la concimazione azotata del mais in copertura, seguendo le prescrizioni delle zone precedentemente scelte ma con differenza nelle dosi.

Ecco di seguito la mappa di prescrizione della dose di urea che verrà utilizzata l'anno prossimo su una coltura di mais da granella.

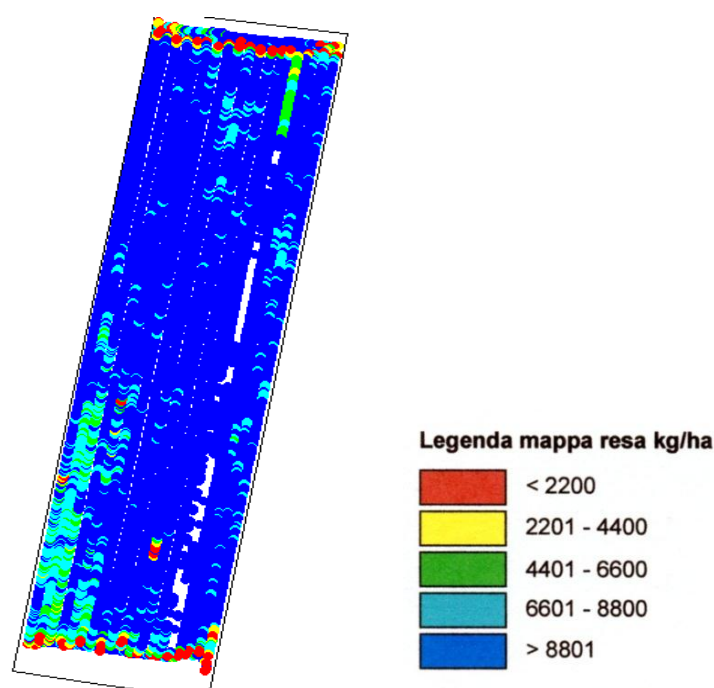


	Zona 1: 180 kg urea/ha
	Zona 2: 270 kg urea/ha
	Zona 3: 310 kg urea/ha
	Zona 4: 360 kg urea/ha

Il campo 24 A verrà concimato con 296 kg/ha di urea, corrispondenti a 136,1 kg N/ha; per un totale di 2028 kg di urea, pari a 932 kg di azoto.

6.3.3- Le ultime mappe di produzione

Nell'annata 2012, nel campo 24 A è stato coltivato frumento tenero, concimato a dose variabile utilizzando l'ultima mappa di prescrizione precedentemente analizzata e raccolto il 20 giugno. Ecco la mappa del frumento:



Analizzando quest'ultima mappa di produzione e confrontandola con le precedenti mappe dei resa del mais per lo stesso campo, è possibile osservare un risultato nuovo, finora non riscontrato: l'omogeneizzazione della produzione in tutte le zone dell'appezzamento.

La maggior parte dell'appezzamento, infatti, riscontra una produzione compresa fra 6,6-8,8 t con una fascia di produzione >8,8 t. La produzione oltre ad essere omogenea è anche elevata, con un raccolto di 7,95 t/ha per un totale di 52,56 t.

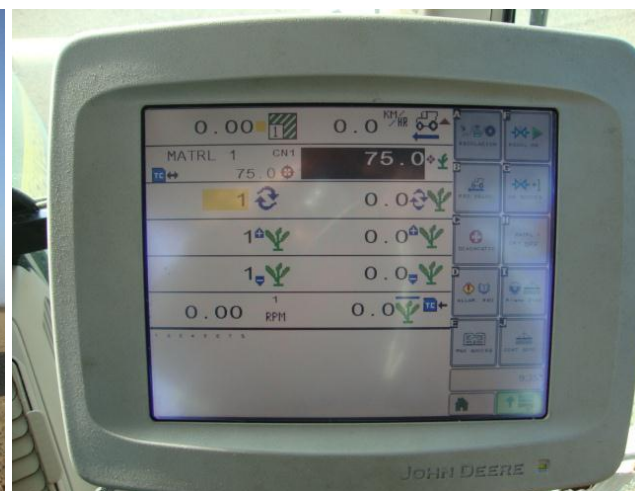
6.3.4- Nuove operazioni colturali sito-specifiche

A partire dall'ultimo anno, 2012, grazie al perfezionamento delle tecniche di conoscenza della variabilità del terreno e dell'applicazione a intensità variabile, precedentemente analizzate, e consapevoli dei risultati ottenuti, l'azienda Porto Felloni ha deciso di iniziare ad applicare tecnologie di Agricoltura di Precisione per nuove operazioni colturali, quali:

- Livellamento dei terreni



- Semina ad intensità variabile:



7- RISULTATI

7.1- Analisi delle rese

7.1.1- Aumento della produzione

Dall'osservazione dei dati grezzi di produzione monitorati nel decennio 2002-2012 per l'appezzamento 24 A, si nota un andamento variabile della resa nelle varie annate.

La descrizione statistica della resa rilevata con i dati grezzi monitorati, evidenzia significative differenze nei livelli di produzione tra le annate precedenti all'utilizzo di tecnologie per l'applicazione della dose a intensità variabile, con quelle successive allo sfruttamento di tecniche di Agricoltura di Precisione.

FASE	ANNATA	Produzione/ Ettaro (t/ha)	Produzione Totale (t)	Media Prod/Ha (t/ha)	Media Prod Tot (t)
Prima Agricoltura Precisione	2002	11	72,6	11,1	73,5
	2004	12,1	79,9		
	2005	10,3	68		
Dopo Agricoltura Precisione	2007	14,3	94,4	12,9	85
	2008	13,1	86,5		
	2009	12,5	82,5		
	2010	12,3	81,2		
	2011	12,2	80,5		

Dalla separazione dei dati delle annate in due periodi: a secondo se essi siano precedenti o successivi all'utilizzo di tecniche di Precision Farming, è possibile tramite l'elaborazione dei dati statistici e in particolare mediante l'analisi delle medie delle produzioni/ettaro e delle produzioni totali, ricavare alcuni interessanti risultati.

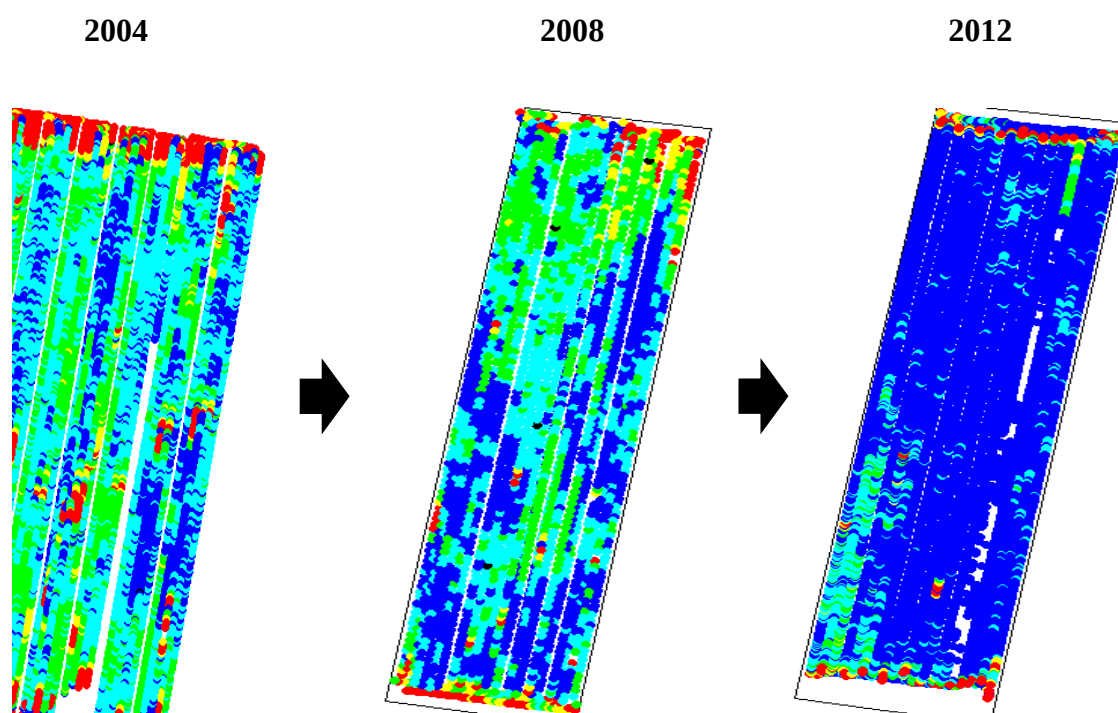
Nelle annate successive all'avvento dell'Agricoltura di Precisione c'è stato un incremento delle produzioni, infatti le produzioni per ettaro del secondo periodo sono ognuna maggiore rispetto alle rese del primo periodo.

Dopo aver calcolato le medie dei dati raccolti per i due periodi: si può notare un aumento del 14% circa, corrispondente a un incremento di 1,8 t/ha, per un totale di 11,5 t in più rispetto al primo periodo per il campo 24 A.

7.1.2- Omogeneizzazione delle rese

Dallo studio delle mappe delle produzioni nelle varie annate è possibile osservare un altro risultato conseguito con l'evoluzione delle tecnologie di precisione: l'omogeneizzazione delle rese.

Si possono notare, di seguito, l'aumento delle zone di produzione uniformi nelle varie annate fino al raggiungimento di un'omogeneità pressoché totale.



7.2- Analisi della dose variabile di concime

L'utilizzo di tecnologie per l'applicazione variabile della dose ha lo scopo di trarre come beneficio l'ottimizzazione del concime e una sua maggior efficienza.

Da una parte la concimazione a dose variabile permette una maggior qualità di questa operazione colturale poiché il concime viene apportato al terreno e alla coltura secondo le proprie caratteristiche e necessità strutturali, mentre dall'altra permette ad un'azienda di ottimizzare la distribuzione di concime ottenendo anche un risparmio economico.

Dall'analisi delle mappe di prescrizione della dose di concime azotato elaborate per l'appezzamento 24 A si sono ricavati i dati osservabili nella prossima tabella.

PRESCRIZIONE DOSE	CONCIMAZIONE AZOTATA				
Anno	Distribuzione pollina (Kg N/ha)	Localizzata in semina (Kg N/ha)	In copertura (Kg N/ha)	Totale/ Ettaro (Kg N/ha)	Totale Campo (kg N)
2002	70	40	190	300	1980
2007	70	40	178,5	288,5	1904
2010	70	40	144,9	254,9	1682
2013	70	40	136,1	246,1	1627

Dall'elaborazione dei dati descritti in tabella, confrontando l'ultima dose variabile prescritta rispetto alla dose uniforme utilizzata inizialmente, si può ricavare un risparmio nella pratica della concimazione azotata annuale del mais pari a 53,9 kg N/ha, per un risparmio totale di concime annuo per l'appezzamento 24 A pari a 343 kg N, equivalenti a $\approx 17,3\%$.

FASE	ANNO PRESCRIZIONE	PRESCRIZIONE (kg urea/ha)	DOSE CONCIME IN COPERTURA (kg N/ha)	TOTALE CONCIME (kg N)	RISPARMIO CONCIME (%)
PRE- VRA	2002	UNIFORME: 420	190	1275	
POST- VRA	2007	ZONA 1: 270 ZONA 2: 420	178,5	1178	7,6 (2002)
	2010	ZONA 1: 200 ZONA 2: 300 ZONA 3: 350	144,9	961	18,4 (2007)
	2013	ZONA 1: 180 ZONA 2: 270 ZONA 3: 310 ZONA 4: 360	136,1	932	3 (2010)

Nell'ultima tabella, invece, è analizzata solo la dose di concime effettuata in copertura.

Dopo aver confrontato, come fatto precedentemente, i risultati tra l'applicazione del dosaggio uniforme e delle dosi variabili si possono ricavare i risparmi ottenuti con l'evoluzione delle mappe di prescrizione. Nell'ultima colonna sono infatti visibili i risparmi conseguiti nel campo 24 A rispetto la prescrizione precedente.

Il risparmio effettivo dell'ultima prescrizione variabile rispetto alla concimazione uniforme, corrisponde a 53,9 kg N/ha, per un totale nel campo 24 A di 343 kg N, equivalenti a $\approx 29\%$.

7.3- Analisi economica

7.3.1- Andamento del prezzo del mais

Di seguito si può osservare l'andamento del prezzo del mais da granella durante il decennio considerato, con riferimento al valore attribuito dalla Borsa Merci di Bologna (AGER) per il mese di ottobre di ogni anno.

ANNO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
€/t	135	170	129	128	171	225	136	140	206	196	242

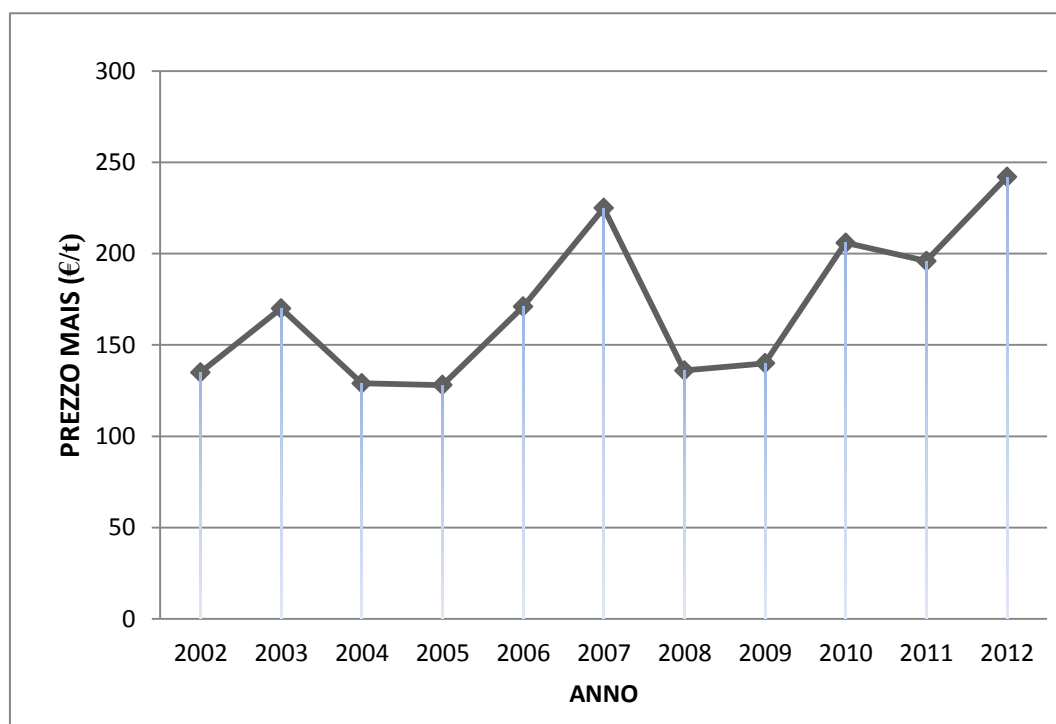


Grafico dell'andamento dei prezzi del mais nel decennio considerato.

Il prezzo del mais, come visto nel grafico, ha un andamento piuttosto altalenante, essendo determinato annualmente secondo diversi fattori che ne condizionano la domanda e di conseguenza il prezzo. Dall'esame dei vari prezzi del mais nel decennio considerato (2002-2012) si riscontra: il prezzo minimo pari a 128 €/t nell'annata 2005 e il prezzo massimo di 242 €/t in quest'ultimo anno. La media dei prezzi del mais in questo decennio corrisponde a 170 €/t.

7.3.2- Aumento della produttività

Considerato l'aumento della produttività dell'appezzamento 24 A con l'utilizzo di tecnologie per la gestione agronomica sito-specifica, corrispondente a $\approx 14\%$ ovvero un incremento di 1,8 t/ha, per un totale di 11,5 t, si può quantificare questa crescita in termini economici.

Per poter quantificare questa crescita è però necessario considerare l'andamento altalenante dei prezzi del mais e la loro imprevedibilità sul mercato, utilizzando per questi motivi tre valori differenti di prezzo assegnati nel decennio considerato: un valore minimo, uno medio e uno massimo.

	Prezzo Mais (€/t)	Aumento/ettaro (€/ha)	Aumento Tot (€)
Minimo	128	230,4	1472
Medio	170	306	1955
Massimo	242	435,6	2783

Si può quindi quantificare economicamente l'aumento della produttività per ettaro in un intervallo tra 230,4 e 435,6 € e l'aumento nell'appezzamento 24 A tra 1472 e 2783 €.

7.3.3- Andamento del prezzo del concime

Successivamente si considera l'andamento del prezzo dell'urea, il concime utilizzato dall'azienda in questo decennio. Anche l'urea, come il mais, segue logiche di mercato che variano di anno in anno e spesso coincide, non a caso, con l'andamento dei prezzi dei cereali.

A differenza del mais, il concime ha comunque subito un aumento dei prezzi costante, in quanto con l'aggravarsi della crisi economica, c'è stato un aumento degli input produttivi nel mercato internazionale. I prezzi sono stati considerati per il mese di marzo di ogni anno.

ANNO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
€/kg	18	27,6	25,8	26,4	28	32,5	33,8	30	31,4	34,4	41,4

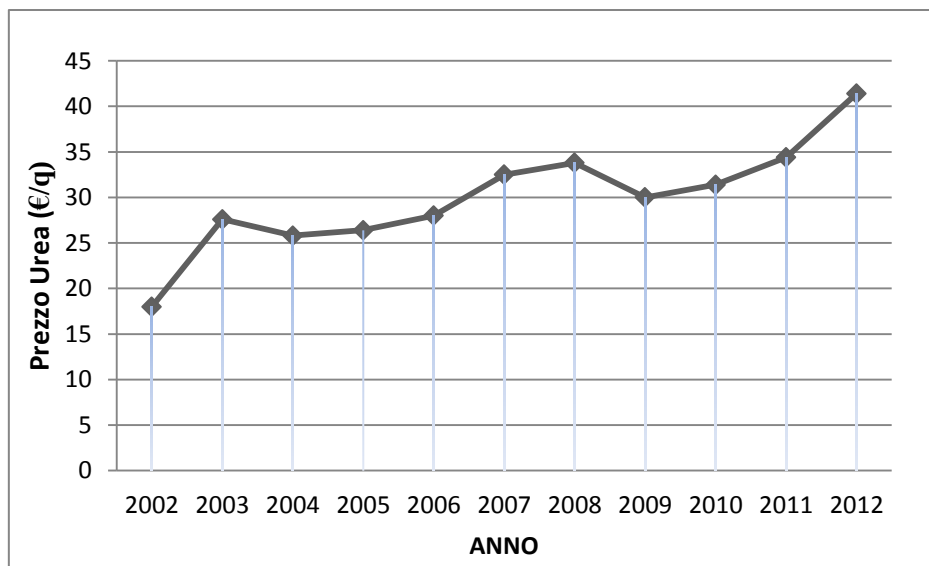


Grafico dell'andamento dei prezzi dell'urea nel decennio considerato.

Dall'analisi dei dati della tabella si notano un andamento altalenante ma con aumento progressivo, dovuto all'aumento generale dei fattori produttivi degli ultimi anni. Difficilmente quindi il prezzo dell'urea tornerà ai livelli dell'inizio del decennio, per questo si deve prendere in considerazione il prezzo massimo (2012) di 41,4 €/q e un prezzo medio fra tutti di 29,9 €/q.

7.3.4- Risparmio del concime

Dall'analisi dell'utilizzo di dosi variabili per la concimazione azotata del mais in copertura, si è potuto definire un risparmio annuo di concime per ettaro e un risparmio totale per l'appezzamento considerato, rispetto alla concimazione uniforme inizialmente applicata. Si è così ricavato un risparmio di concime di 53,9 Kg N/ha, per un totale di 343 kg N sull'intero appezzamento.

Per quantificare il risparmio in termini economici, si deve prima convertire il prezzo dell'urea in prezzo dell'azoto, per i due valori presi in considerazione, e successivamente si può ricavare il risparmio per ettaro e nell'intero campo.

	Prezzo Urea (€/q)	Prezzo Azoto (€/q)	Risparmio/ ettaro (€/ha)	Risparmio Tot (€)
Medio	29,9	65	35	223
Massimo	41,4	90	48,5	308,7

Dalla precedente tabella si può osservare il risparmio del concime ottenuto in caso di prezzi medi e prezzi alti, ottenendo un risparmio quindi compreso tra 35 e 48,5 €/ha per ettaro e un risparmio totale compreso tra 223 e 308,7 € per il campo 24 A.

7.3.5- Costi dell' Agricoltura di Precisione

Dopo aver analizzato la progressiva applicazione di tecnologie di Agricoltura di Precisione da parte dell'azienda Porto Felloni, è necessario affrontare la questione relativa ai costi e agli investimenti sostenuti dall'azienda per applicare, nei propri appezzamenti, una gestione agronomica sito-specifica, di precisione, e raggiungere sensibili vantaggi e risultati.

La continua ricerca di sistemi e tecnologie è passata attraverso un progressivo e mirato piano di investimenti nel decennio considerato (2002-2012), che può essere riassunto schematicamente nei seguenti passaggi temporali:

- Studio della variabilità: analisi chimico-fisiche
- Consulenze tecniche presso società esterne
- Sistemi GPS
- Sistemi di sensori e mappature delle produzioni
- Computer, programmi e software per l'elaborazione dei dati
- Tecnologie per l'applicazione della dose a intensità variabile
- Sistemi di guida automatica e sistemi Isobus
- Macchine operatrici

Tutti questi investimenti hanno beneficiato di un'evoluzione tecnologica che spesso ha sancito il superamento e rinnovamento delle macchine e degli strumenti utilizzati.

Per poter riflettere sulla convenienza dell'applicazione di tecnologie di Precision Farming, prima, è necessario analizzare e quantificare i costi fissi che l'azienda Porto Felloni ha sostenuto in questi anni, i quali sussistono nelle quote di reintegro del capitale investito.

Non sono quindi da considerare gli aspetti relativi agli interessi passivi e alle spese varie riguardanti tasse, assicurazioni, spese per ricovero e utilizzazione. Si analizzeranno quindi tutte le spese per l'acquisizione e l'installazione delle tecnologie di Agricoltura di Precisione.

Ogni spesa sostenuta ha una propria durata di ammortamento, ovvero il numero di anni dopo i quali si può ritenere raggiunto il completo deprezzamento dello strumento o della macchina. Una volta diviso il costo della macchina o strumentazione per l'ammortamento, si ottiene un costo fisso annuo.

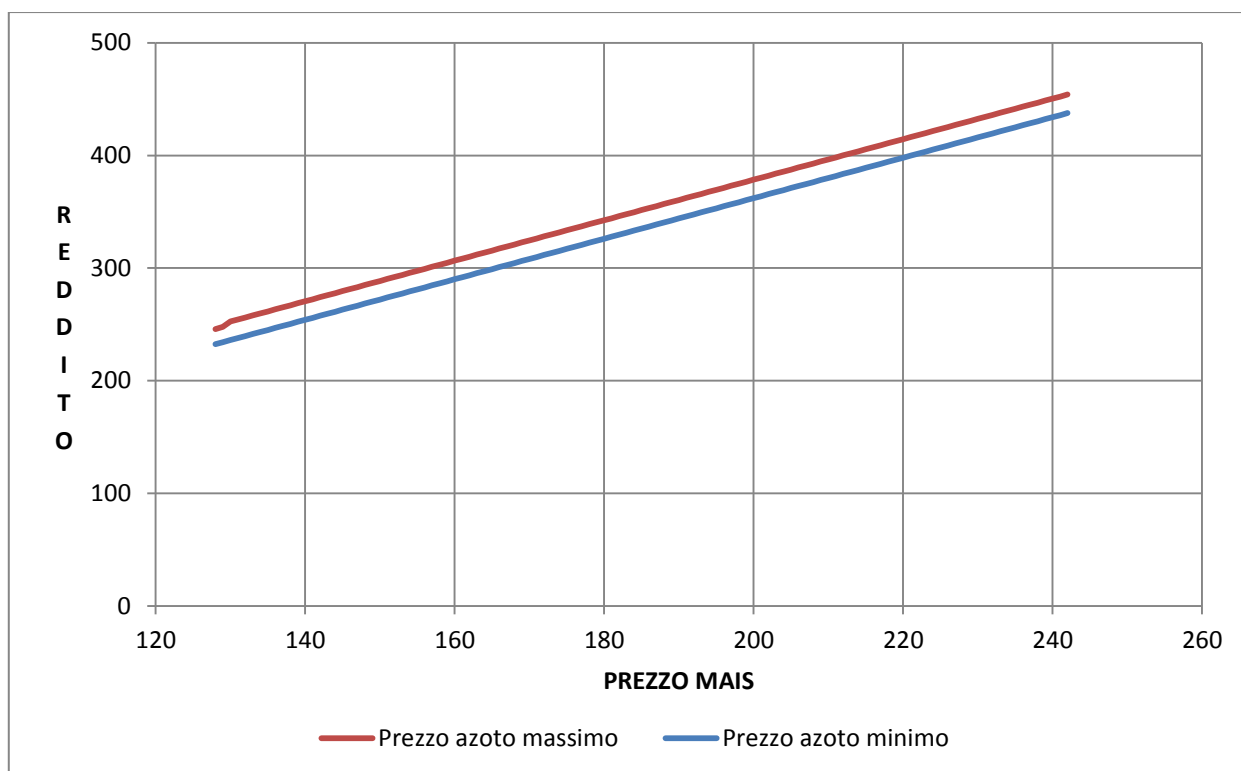
Elenco	Anno	Investimento (€)	Ammortamento (anni)	Costo fisso Annuo(€)
Costi per campionamenti				
1° Campionamento	2004	10000	4	2500
2° campionamento: Solo costo prelievo	2008	800	4	2000
Caratterizzazione aziendale	2010	5000	10	500
3° campionamento: ARP	2012	25000	10	2500
Costi per mappature				
Mappature delle produzioni	Annuale	10€/ha		420
Software per elaborazione e prescrizione mappe: J.D Office/ Topol	2007	2100	6	350
Assistenza tecnica per software	Annuale			400
Costi per GPS, sistemi di guida automatica e adeguamento parco macchine, sistemi Isobus				
1° GPS palmare con programma per misurazione confini	2004	1500	10	150
1° computer per controllo distr. concime con DPA seriale montato su spandiconcime	2004	2250	10	225
Due kit Isobus per spandiconcime: Computer, Ricevitore satellitare, monitor, cavi, ecc.	2007	32000	10	3200
Solo computer per sistema Isobus	2010	2300	10	230
Costi per macchine operatrici				
Spandiconcime Amazone con sistema Isobus	2011	14000	10	1400
			Totale costi fissi annui	13875

Una volta quantificato il costo annuo di ogni attrezzatura e calcolata la somma totale dei costi fissi annui (13875 €), si può dividere la somma per l'intera superficie aziendale, che è di 420 ettari, in modo da ottenere il costo fisso per ettaro di ogni attrezzatura utilizzata per l'Agricoltura di Precisione. Il costo fisso per ettaro per l'azienda Porto Felloni è di: $13875 / 420 = \underline{\underline{33 \text{ €/ha}}}$

7.3.6- Aumento del reddito

Con l'adozione di tecnologie di Agricoltura di Precisione, l'azienda ha ottenuto un aumento del reddito, il quale è dato dall'aumento della produttività degli appezzamenti e dal risparmio nell'applicazione del concime negli stessi, tenendo conto però dei costi fissi annuali (33 €/ha).

Considerando l'appezzamento 24 A si può definire l'aumento del reddito, sempre in relazioni ai diversi valori di mercato del prodotto e degli input produttivi.



Osservando il grafico, che rappresenta l'aumento del reddito al variare dei prezzi del mais e dell'azoto sottraendo da questi i costi fissi, si può constatare un reddito che varia da 232,4 €/ha, con prezzo del mais e dell'azoto minimo, a 454,1 €/ha con prezzi massimi.

8- CONCLUSIONI

Lo studio effettuato ha descritto nella prima parte dell'elaborato l'applicazione progressiva di tecnologie di Agricoltura di Precisione in un'azienda cerealicola, descrivendo tutti i passaggi e illustrando le strumentazioni che l'azienda ha dovuto dotarsi per poter iniziare una gestione agronomica sito-specifica nei propri appezzamenti, in particolare per le operazioni di concimazione, considerando un unico appezzamento: il campo 24 A.

Lo studio della variabilità spaziale di questo appezzamento tramite il monitoraggio delle produzioni e i periodici campionamenti ha permesso all'azienda di gettare le basi su cui elaborare il progetto e stabilire delle strategie e dei piani per la prescrizione della dose variabile inizialmente di concime.

In particolare si è potuto osservare un'evoluzione tecnologica delle tecniche e delle strumentazioni per i campionamenti durante il decennio considerato (2002-2012) che ha permesso di studiare con una accuratezza sempre maggiore le caratteristiche dei suoli ad ogni nuovo campionamento, fino ad ottenere nell'ultimo anno la completa conoscenza della tessitura degli appezzamenti aziendali con un livello di precisione centimetrica, grazie alla tecnologia ARP.

Gli studi delle mappe di resa e di quelle dei terreni hanno consentito un processo di elaborazione ed evoluzione delle mappe di prescrizione della dose variabile di concime, anch'esse con un'accuratezza maggiore in seguito ad ogni nuovo campionamento.

Infatti vi è una differenziazione maggiore delle zone omogenee nell'elaborazione delle mappe: dalla prescrizione di due classi di dosaggio e tre zone per la concimazione 2007, si è passati a tre classi e quattro zone nel 2010 e infine quattro classi e dieci zone nel 2012.

L'applicazione crescente di tecnologie a dosaggio variabile è stata effettuata dall'azienda con lo scopo di ottenere due principali obiettivi:

- L'aumento e l'omogeneizzazione delle rese
- L'ottimizzazione e il risparmio del concime

Per quanto riguarda il primo punto, tramite l'analisi delle medie delle produzioni pre e post Agricoltura di Precisione, si osserva un aumento di 1,8 t/ha, per un totale di 11,5 t, pari al 14%.

In termini economici si è potuto quantificare questo aumento in un intervallo tra 230,4 e 435,6 €/ha e nell'appezzamento 24 A di 1472-2783 €, a seconda del prezzo del mais, il cui valore ha un andamento sul mercato altalenante. Bisogna però considerare che questo aumento di produttività non è solo merito della gestione sito-specifica degli appezzamenti, ma è dovuto anche ad altri fattori quali il miglioramento genetico delle varietà seminate e il costante e progressivo miglioramento delle varie tecniche colturali adottate, compresa un'attenta gestione dei fabbisogni idrici e delle

tecniche irrigue. D'altra parte la conoscenza dei terreni e l'evoluzione dei sistemi di guida, che sono peculiari all'Agricoltura di Precisione, hanno permesso una gestione delle pratiche colturali più accurata ed efficiente che anch'essa ha contribuito all'aumento della produttività.

I sistemi di guida semi-automatica (RTK) inoltre hanno contribuito ad un ulteriore risparmio in tutte le operazioni colturali, a prescindere dall'utilizzo o meno della distribuzione variabile dei vari input. L'applicazione a rateo variabile ha invece contribuito al raggiungimento dell'omogeneizzazione delle rese, infatti con l'evoluzione delle mappe di prescrizione e l'individuazione crescente di nuove zone omogenee si è potuto assistere ad un aumento dell'omogeneità osservabile nelle mappe di produzione, ottenendo nel 2012 una completa omogeneità.

Successivamente, per quanto concerne il secondo punto, dopo aver parlato dell'effetto della concimazione azotata a intensità variabile sulla produttività, è effettivamente quantificabile l'ottimizzazione nell'utilizzo dei concimi da parte dell'azienda Porto Felloni. Infatti rispetto alla concimazione tradizionale, uniforme, che veniva utilizzata in precedenza c'è stato un crescente risparmio ad ogni nuova prescrizione, ottenendo con l'ultima un risparmio di 53,9 Kg N/ha, per un totale di 343 kg N sull'intero appezzamento, pari al 29 %.

Il risparmio conseguito è stato poi tradotto in termini economici, sempre valutando il valore del prezzo del concime utilizzato (urea), risultando compreso in un intervallo tra 35 e 48,5 €/ha per ettaro e un risparmio totale compreso tra 223 e 308,7 € per il campo 24 A.

L'andamento crescente del prezzo dell'urea in questo decennio, inserito nel panorama della crisi economica attuale e al corrispondente aumento degli input produttivi, è uno degli aspetti rilevanti su cui riflettere. Infatti, uno dei punti fondamentali dell'Agricoltura di Precisione è l'ottimizzazione degli input produttivi. L'applicazione a dose variabile permette quindi ottenere grandi risultati sotto questo aspetto, i quali sono maggiori quanto più sono applicati in diverse operazioni colturali: semina, concimazione, trattamenti, irrigazione.

Un altro aspetto della concimazione a dose variabile è il minor impatto ambientale: infatti vi è una distribuzione minore di concime ed ogni dose è calcolata in base alla necessità e alle caratteristiche delle varie zone del terreno, limitandone quindi gli eccessi. Inoltre, grazie anche ai sistemi di guida semi-automatica che permettono un'accuratezza maggiore nelle operazioni colturali, i terreni sono meno soggetti a calpestamenti e compattamenti, riducendo così l'impatto negativo delle lavorazioni sugli appezzamenti. I due obiettivi raggiunti e analizzati hanno poi permesso di analizzare l'aumento di reddito dell'azienda, punto focale che ogni impresa si auspica di raggiungere.

Dall'analisi dei costi fissi è emerso un costo fisso annuo di 33 €/ha che l'azienda ha investito e sostenuto in questo decennio per l'Agricoltura di Precisione.

L'aumento del reddito è stato così tradotto nella somma data dall'aumento di produttività e dal risparmio del concime, riflettendo sull'andamento dei prezzi del mais e dell'urea e sottraendo alla somma i costi fissi annui. Questo aumento è stato quantificato in un intervallo che varia da 232,4 €/ha, con prezzi minimi, a 454,1 €/ha con prezzi massimi.

Si può quindi concludere che l'azienda Porto Felloni, grazie alla progressiva applicazione di tecnologie di Precision Farming, ha raggiunto dei risultati positivi sia dal punto di vista economico, dove gli investimenti effettuati sono stati ripagati da un incremento della produttività con conseguente aumento del reddito, sia dal punto di vista ambientale; inoltre sotto l'aspetto organizzativo e di programmazione ha consentito un netto miglioramento della gestione agronomica oltre ad una continua raccolta e archiviazione di dati, indispensabili per le successive annate e per le nuove operazioni colturali sito-specifiche.

9- BIBLIOGRAFIA

- Bakhsh A., Colvin T., Jaynes D., Kanwar R., 2000. "Using soil attributes and GIS for interpretation of spatial variability in yield". Transaction of the ASAE, 43(4): 819-828.
- Basso B., Sartori L., Bertocco M., Oliviero G., 2003. "Evaluation of variable depth tillage: economic aspects and simulation of long term effects on soil organic matter and soil physical properties". Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlino, 15-18 June 2003.
- Basso B., Sartori L., Amato M., Bitella G., Rossi R., Kravchenko A., Gomes J., 2010. "Two-dimensional spatial and temporal variation of soil physical properties in tillage systems using electrical resistivity tomography". Agronomy Journal, 102(2): 440-449.
- Bjarne J., Steffen H., 2003. "Intra field variations over crops and years". European Journal of Agronomy, 19: 23-44.
- Bongiovanni R., Lowenberg-De Boer J., 2004. "Precision Agriculture and Sustainability". Precision Agriculture, 5: 359-387.
- Codeluppi M., 2006. "In stalla è tempo di zootecnia di mungitura". L'informatore zootecnico n.11, 2006.
- Godwin R. J., 2003. "An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production". Biosystems Engineering, 84(4): 533-545.
- Gupta R.K., 1999. "Modeling spatial variability of soil chemical parameters for site-specific farming using methods". Water, Air and Soil Pollution, 110: 17-34.
- Jacobs J. A., Siegford J.M., 2012. "Invited review: the impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare". Journal of Dairy Science, 95 (5): 2227-2247, 2012.
- Lillesand T. M., Keifer R.W., 1994. "Remote sensing and Image Interpretation". Wiley, New York.
- Margotti A., 2000. "Una precision farming per la concimazione azotata". Macchine e motori agricoli, 4: 51-63.
- Marra M., Pannell D., Abadi Ghadim A., 2003. "The economics of risk in the adoption of new agricultural technologies". Agricultural Systems, 75: 215-234.
- Pierce F. J., Nowak P., 1999. "Aspects of precision agriculture". Advances in Agronomy.

- Ping J.L., Green C.J., Zartman R., Bronson K., 2004. “Exploring spatial dependence of cotton yield using global and local autocorrelation statistics”. Field Crop Research, 89: 219-236.
- Rossi P., Gastaldo A., 2012. “Innovazione e tecnologia: così sarà l’azienda da latte nel 2030. I risultati del progetto Innova Latte”. FierAgricola Verona.
- Sartori L., Basso B., Bertocco M., 2005. “Agricoltura di precisione. Concetti teorici e applicazioni pratiche”. Edizioni L’Informatore Agrario
- Savorelli M., Martelli G., 2011. “Agricoltura di precisione: tecnologie, opportunità, casi aziendali. I supplementi di Agricoltura.
- Wathes C.M., Kristensen H.H., Aerts J., Berckmans D., 2008. “Is precision livestock farming an engineer’s daydream or nightmare, an animal’s friend or foe, and a farmer’s panacea or pitfall?”. Computers and electronics in agriculture, 64: 2-10.
- Zappavigna P., Liberati P., Rossi P., 2007. “La sala di mungitura robotizzata”. L’informatore Agrario n.37/ 2007.

9.1- Sitografia

- www.agricolturaonweb.com
- www.agriok.it
- www.agriprecisione.it
- www.agronotizie.it
- www.crupa.it
- www.edagricole.it
- www.informatoreagrario.it
- www.innovalatte2030.it
- www.venetoagricoltura.org
- www.wikipedia.it
- www.johndeere.com