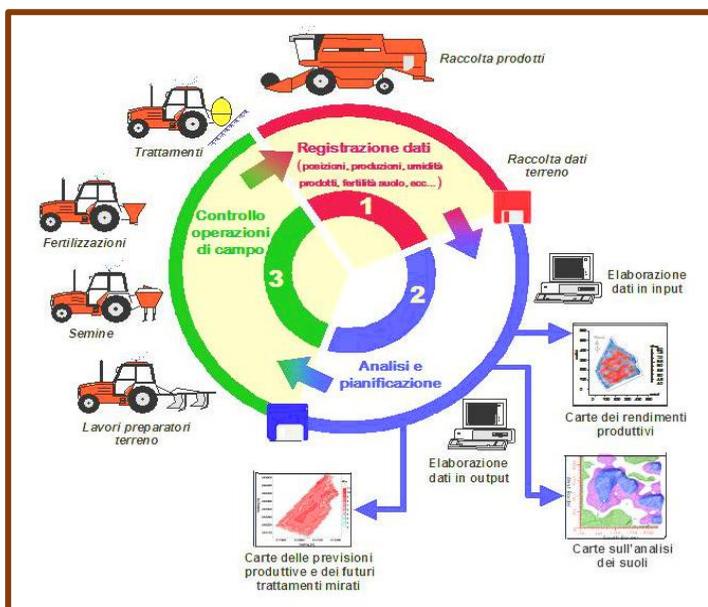


“Indagine e messa a punto di un modello di valutazione sulle tecniche di agricoltura di precisione per l’incremento della sostenibilità economica ed ambientale delle produzioni agricole milanesi”



Febbraio 2015

Opuscolo realizzato con la collaborazione di Coldiretti Milano, Lodi e Monza Brianza, Università degli Studi di Milano (Dipartimento Vespa), con il contributo della Camera di Commercio di Milano (progetto PF&SOSTENIBILITA').

A cura di: Massimo Lazzari, Ambra Longoni, Ernesto Beretta

Sommario

1 – Premesse	2
1.1 - Andare oltre la meccanizzazione	2
1.2 - Gli ambiti decisionali	6
1.3 - Complessità tecnologica delle diverse tecniche AP	8
2- I componenti tecnologici delle tecniche AP	12
2.1 – Generalità sui sensori	14
2.2 – Sensori ottici per il remote sensing	15
2.3 – I sensori di posizionamento basati sui sistemi satellitari	16
2.4– Attuatori	17
3 - Metodologia adottata per l’indagine.....	17
3.1 - Scelta delle colture standard di riferimento	17
3.2 - Valutazione degli sprechi connessi alla mancata precisione di lavoro delle tecniche standard	28
3.3 - <i>Scelta delle tecniche di AP adatte alle condizioni locali</i>	32
3.4 - <i>Ricerca del punto d’indifferenza economica</i>	35
4 – Risultati.....	36
4.1 - <i>Il costo complessivo degli sprechi per le tre colture considerati</i>	36
4.2 – <i>I risparmi dell’Opzione1 - sostituzione guida manuale con guida assistita</i>	39
4.3 – I risparmi dell’Opzione2 - sostituzione guida manuale con guida semi-automatica e regolazione delle macchine agricole per evitare le sovrapposizioni in testata.....	43
4.4 – I risparmi dell’Opzione3 – guida manuale sostituita da guida semi-automatica, regolazione auto-swath e trattamento sito-specifico degli appezzamenti	49
4.5 – Valutazione complessiva.....	53
5 – Conclusioni	59
6 – Bibliografia.....	60

1 – Premesse

L'agricoltura si trova sempre più ad affrontare degli scenari economici, sociali e ambientali in rapida evoluzione che la obbligano a individuare innovazioni tecnologiche innanzitutto atte a:

- Mettere a punto sistemi colturali a basso impatto ambientale e a costo ridotto, attraverso l'impiego di strumenti per il controllo automatico della distribuzione prodotti fertilizzanti e fitosanitari;
- Attuare, da parte della direzione dell'impresa agricola, forme di gestione pro-attiva dei processi atte ad incrementare la produttività del lavoro e a ridurre i costi di produzione;
- Creare condizioni manageriali che favoriscano, attraverso una gestione attenta della tracciabilità dei prodotti, la certificazione di qualità delle produzioni.

Il tutto per realizzare un'agricoltura sostenibile in termini ecologico-ambientali e di compatibilità economica.

Le iniziative scientifiche e commerciali ormai da tempo in atto sul fronte della cosiddetta agricoltura di precisione (AP) cercano, appunto, di soddisfare, a vari livelli, detti obiettivi.

1.1 - Andare oltre la meccanizzazione

Innanzitutto, le tecniche di AP si distinguono dalle tradizionali innovazioni meccaniche poiché, oltre alle normali forme di sostituzione dell'attività fisica dell'uomo, viene sostituito anche del lavoro intellettuale. Infatti, quando si guardano le macchine agricole, si pensa subito a tecnologie che tagliano e spostano il terreno (oppure tagliano le colture, raccolgono i prodotti etc.) cioè che utilizzino delle forze che provocano degli spostamenti trasformando e modellando, attraverso il lavoro e mediante l'impiego di energia, la materia fisica del mondo concreto. Le innovazioni di AP, invece, sono relative all'introduzione nelle pratiche di lavoro di forme di monitoraggio e controllo che alleggeriscono le attività dell'uomo non in termini fisici, ma in termini di lavoro mentale (intellettuale). Si pensi ad esempio alla guida di un trattore effettuata in modo manuale oppure attraverso sistemi di guida semiautomatica:

- Nel primo caso, il trattorista deve rimanere concentrato alla guida, analizzando lo scenario nel quale si muove, per decidere quale direzione prendere;
- Nel secondo caso, tutto questo lavoro di raccolta dei dati di contesto e di decisione su come sterzare il volante è assunto dal sistema di controllo, che sostituisce il lavoro intellettuale dell'uomo che può così, dedicare le sue risorse mentali ad altre attività.

In questo contesto, il fatto che l'operatore non debba più agire sul volante è pressoché ininfluenza in termini di sostituzione del lavoro fisico (e quindi di fatica fisica): è prevalente la diminuzione dell'affaticamento mentale!

Così, contrariamente a ciò che avviene con le tecnologie puramente meccaniche, il processo produttivo non è più visto solo come una conversione energetica di fattori iniziali, in cui il lavoro fisico interviene come unico motore della trasformazione stessa, ma a fianco dell'elemento energetico sono necessari altri due fattori fondamentali: l'Informazione e il Controllo.

All'interno di un ciclo di controllo completo la parte di lavoro meccanizzato, che richiede energia di processo, viene messa a contatto con un sistema di segnali che seguono il processo di trasformazione in modo parallelo. Il processo è quindi rappresentabile da una parte materiale (sottoposta a trasformazione energetica) e da una parte immateriale (di elaborazione di segnali).

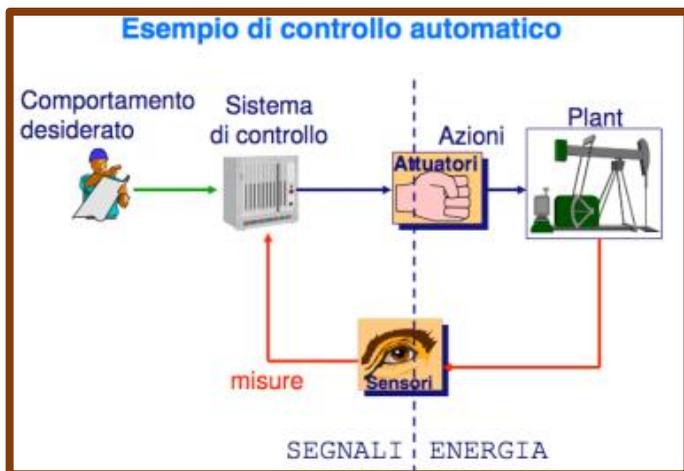


Fig. 1.1- Oltre alla meccanizzazione: esempio di controllo meccanico

Tuttavia si deve anche sottolineare che il lavoro intellettuale, che si sostituisce attraverso cicli di monitoraggio e controllo, non può essere tutto “meccanizzato” in egual modo poiché ne esistono diverse forme.

Per capire ciò è innanzitutto necessario definire cosa sia un ciclo di monitoraggio e controllo; esso implica sempre delle operazioni di base che coinvolgono le seguenti fasi:

1. Chi sei, cosa sei? → Identificazione
2. Cosa fai? → Sensori
3. Come posso migliorare le prestazioni? → Software e analisi

La prima fase si realizza attraverso l'**IDENTIFICAZIONE**, con la quale il sistema di controllo sceglie tra diversi oggetti, stadi o posizioni quello che deve essere preso come riferimento per effettuare il ciclo.

L'identificazione può restare costante nel tempo su più cicli (ad esempio si riconosce una macchina all'inizio di un lavoro in campo e per tutta l'attività di processo rimane la medesima), oppure variare per ogni ciclo (si riconosce la posizione della macchina all'interno dell'appezzamento). In ogni caso, quest'operazione risulta fondamentale e può essere eseguita in modo esplicito (derivando il dato di input da un sensore dedicato al riconoscimento), oppure implicito (impiegando un dato di input che rimane costante nella memoria del sistema).

La seconda fase riguarda la **MISURA** di una quantità che è inerente allo stato dell'elemento identificato, solitamente viene eseguita A MEZZO DI SENSORI. Sempre con riferimento al caso della macchina, la misura può riferirsi alla velocità di avanzamento della medesima.

La terza fase è quella della **REGOLAZIONE**: sulla base del dato misurato al punto 2 e di una regola (un algoritmo se si parla nel linguaggio informatico), si modifica lo stato dell'elemento identificato avvicinandolo a una condizione più vantaggiosa in termini di efficienza del lavoro. In generale questa operazione è a carico della logica del sistema, realizzata, a seconda dei tipi di tecnologie (idraulica, meccanica o elettronica), con componenti di regolazione meccanici, idraulici o elettronici. In quest'ultimo caso, cioè quello dei componenti mecatronici, che è quello che maggiormente viene utilizzato nelle tecniche AP, si impiegano algoritmi matematici attivati da software di analisi.

Il ciclo di monitoraggio e controllo può anche essere visto nei termini rappresentati nella figura che segue.

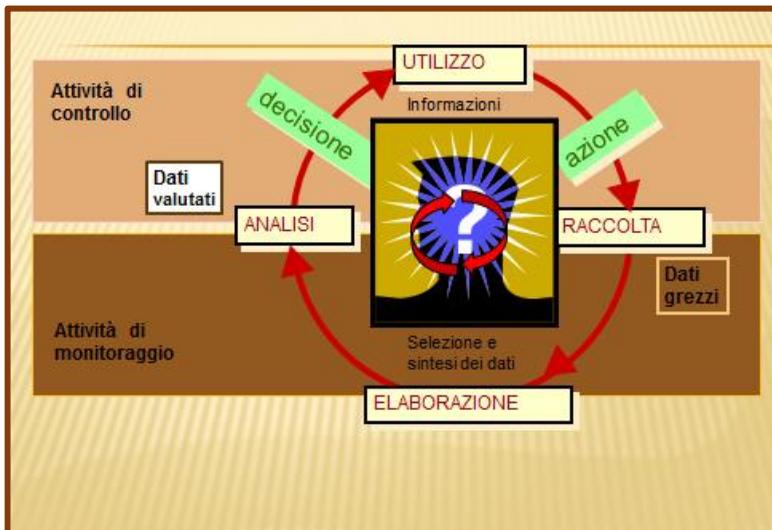


Fig. 1.2 - Oltre la meccanizzazione: il ciclo di monitoraggio e controllo

Il ciclo inizia con l'attività di MONITORAGGIO (parte sottostante nella figura 1.2), in un primo tempo, prevede che si effettui la RACCOLTA (registrazione) dei dati grezzi relativi alla IDENTIFICAZIONE e alla MISURA dello stato in cui l'elemento si trova. Una volta raccolti, questi dati grezzi debbono essere selezionati e sintetizzati attraverso un processo di ELABORAZIONE. Solo a questo punto i dati sono interpretati, attraverso la fase di ANALISI. L'output dell'attività di monitoraggio costituisce l'INFORMAZIONE che diventa l'input per l'attività di controllo. L'informazione è indispensabile per far sì che l'algoritmo decisionale del sistema utilizzi il risultato delle attività di monitoraggio per effettuare le azioni di regolazione e quindi, di miglioramento delle prestazioni dell'elemento sottoposto a controllo.

Quanto fin qui descritto chiarisce i presupposti teorici attraverso i quali avviene la SOSTITUZIONE DEL LAVORO INTELLETTUALE possibile grazie all'applicazione delle nuove tecnologie.

Infatti la parte centrale della figura 1.2 mostra come nelle tecnologie tradizionali queste attività siano svolte perlopiù dalla mente umana: è questo lavoro mentale che può essere sostituito dai diversi dispositivi di regolazione che costituiscono l'essenza delle tecniche AP.

1.2 - Gli ambiti decisionali

Le informazioni originano da dati grezzi, ed è indispensabile sottolineare la differenza tra questi due termini. Il termine DATO denota messaggi che possono essere disponibili a un determinato stadio del controllo, ma che non sono stati ancora valutati dal punto di vista della loro utilità in una specifica fase del processo (sia produttivo, sia decisionale). Il termine INFORMAZIONE, invece, deve essere inteso come DATO VALUTATO in riferimento a una specifica situazione. In altri termini un messaggio si trasforma da dato in informazione quando viene utilmente usato in un processo decisionale.

L'interpretazione e la valutazione dei dati costituiscono il fondamento di ogni processo decisionale, insieme ai modelli e ai criteri di scelta (impliciti o espliciti) impiegati per prendere le decisioni stesse. Dal risultato del processo decisionale si ottengono azioni.

Tutti i sistemi di produzione strutturati gerarchicamente includono una serie di funzioni organizzate secondo una struttura, a livelli multipli, stratificata nel seguente modo:

1. Livello STATATEGICO, dove risiedono la responsabilità e l'autorità per la formulazione delle politiche e dei piani aziendali. È a questo livello che avviene l'assegnazione delle principali risorse dell'azienda (pianificazione degli investimenti e degli indirizzi produttivi) rivolte al conseguimento dei risultati a lunga scadenza;
2. Livello DIRETTIVO (direzione aziendale, con funzioni tattiche), dove gli scopi e gli obiettivi dell'azienda vengono tradotti in termini di programmazione esecutiva, con decisioni riguardanti i flussi e i tempi dei procedimenti operativi (programmi di lavoro e processi di lavorazione);
3. Livello OPERATIVO, che riflette la supervisione delle attività svolte ai primi livelli esecutivi e che agisce prevalentemente secondo schemi prestabiliti, con margini di autonomia e decisione ridotti al minimo.

In ciascun ambito si hanno dei responsabili (decisori), rispettivamente identificabili nelle figure dell'imprenditore agricolo (colui o coloro che detengono la proprietà dell'impresa), del direttore aziendale (il fattore), del trattorista o dell'operaio.

A seconda delle dimensioni dell'azienda e della sua organizzazione, queste figure possono confondersi in un'unica persona (coltivatore diretto) oppure rappresentare ruoli separati e ben definiti nell'ambito dell'organizzazione produttiva. Comunque sia, ciascuna figura agisce prendendo decisioni la cui

sfera d'azione è definita dal suo ruolo e dall'ambito decisionale che essa ricopre.

A qualunque livello, il prendere una decisione comporta sempre una parallela attività di controllo sulla dinamica dei processi produttivi in atto. Non esistono decisioni senza attività di controllo e non esistono forme di controllo senza flussi d'informazioni. Le tecnologie informatiche si occupano di aumentare la produttività del lavoro umano nel gestire questi flussi informativi mediante azioni che sostituiscono parte del lavoro umano stesso. Come rappresentato in tabella 1.1, per soddisfare le diverse esigenze che si generano ai diversi livelli decisionali le tecnologie informatiche sono implementate in modo differente.

Tab. 1.1 - Tipi di relazione tra i sistemi informativi: ruolo del calcolatore e ambiti decisionali

STRUTTURA DEL SISTEMA IN RELAZIONE AL CALCOLATORE	RUOLO DEL CALCOLATORE	AMBITO DECISIONALE PRINCIPALMENTE INTERESSATO	STRUMENTI E DISPOSITIVI RICHIESTI AL SISTEMA INFORMATICO
STRUTTURATO	Governa il sistema	Operativo	Sensori, attuatori, componenti per il controllo automatico in tempo reale
SEMISTRUTTURATI	Consente una rapida soluzione dei problemi.	Direttivo	Sistemi automatici di acquisizioni dati, programmi di elaborazioni intermedia e sintesi dei dati aziendali, archiviazione delle informazioni, reti di comunicazioni tra centri di attività
NON STRUTTURATO	Di supporto alle decisioni	Strategico	Modelli di ottimizzazione, reti di comunicazione con basi alle decisioni di dati intra ed extraaziendali

Il lavoro intellettuale più facilmente sostituibile (cioè automatizzabile) è quello che si esplica al livello operativo, mentre salendo di livello le decisioni diventano via via meno strutturate ed è più difficile che le macchine siano in grado di prenderle autonomamente senza il contributo dell'uomo.

Per quanto riguarda l'AP le decisioni che tipicamente vengono interessate sono quelle a cavallo tra l'ambito decisionale operativo e direttivo.



Fig. 1.3 - Decisioni d'interesse nell'AP

1.3 - Complessità tecnologica delle diverse tecniche AP

Come visto al punto precedente, un sistema AP deve necessariamente essere visto nel quadro complessivo dei problemi gestionali di un'impresa e, quindi, connesso alle problematiche relative alla creazione di un più o meno complesso sistema informativo aziendale (SIA) di supporto alle decisioni aziendali.

Tale impostazione si fonda sul concetto stesso di informazione come elemento derivato da dati grezzi, che trova una forma di utilizzo nell'ambito dei processi decisionali del sistema produttivo. Di seguito verranno meglio descritte le quattro distinte fasi di:

- Raccolta (dati grezzi);
- Elaborazione (dati processati);
- Analisi e valutazione (dati valutati o formattati);
- Utilizzo (informazioni).

La prima fase prevede l'osservazione diretta del sistema reale con l'acquisizione dei dati di potenziale interesse per il monitoraggio e controllo. Il dato acquisito può, poi, intraprendere due percorsi alternativi:

1. Essere utilizzato – eventualmente attraverso elaborazioni in tempo reale – per prendere DECISIONI IMMEDIATE, AUTOMATIZZANDO IL PROCESSO PRODUTTIVO;
2. Prevedere un UTILIZZO DIFFERITO NEL TEMPO, passando così attraverso una necessaria fase di archiviazione, con eventuale integrazione e sintesi con altri dati di epoche diverse, ATTUANDO FORME DI GESTIONE INFORMATIZZATA DEL PROCESSO.

Il primo percorso è il caso tipico del controllo operativo attraverso processi di automazione. Con riferimento alla figura 1.3 siamo nella parte bassa della piramide. Il secondo, invece, riguarda tutte le normali applicazioni di management, con gli obiettivi del controllo direttivo che di norma affrontano problemi non standardizzabili e non automatizzabili, con scelte condizionate dai modelli di realtà dei singoli decisori, parte intermedia della piramide.

Il ciclo si chiude con la fase dell'utilizzo delle informazioni. Essa prevede, innanzitutto, la presa di una decisione che può riguardare problemi di:

- a) Controllo dei processi aziendali (in ambito sia operativo sia direttivo), nel qual caso alla decisione segue un'azione di intervento sui processi stessi;
- b) Certificazione verso enti terzi (di conformità a dei processi definiti in disciplinari di produzione o a degli standard di qualità dei prodotti), nel qual caso la decisione si concretizza poi in un'attività di documentazione.

Le tecniche AP possono riguardare diversi aspetti dell'automazione e del management informatizzato del processo decisionale e schematicamente si riferiscono alla traduzione italiana dei tre seguenti termini inglesi:

- *precision agriculture (agricoltura effettuata in modo preciso);*
- *prescription agriculture (agricoltura in cui si seguono regole prescrittive);*
- *Site specific agricultural management (gestione sito specifica dell'agricoltura).*

Da notare come in molti casi nella letteratura anglosassone il termine "agricultural" è sostituito con il termine "farming".

La prima definizione (precision agriculture) può essere nello specifico impiegata per sottendere il gruppo delle tecniche di guida assistita o semiautomatica dei trattori che consentono di seguire traiettorie più precise

in campo, migliorando la capacità di lavoro delle macchine ed eliminando le sovrapposizioni che si verificano tra una passata e l'altra. Si tratta quindi di tecniche basate su sistemi informativi molto semplici, in cui, in molti casi, praticamente nessuna abilità informatica è richiesta all'operatore per mettere in atto la tecnica medesima.

Il termine *prescription agriculture* rappresenta il passaggio evolutivo successivo dove - grazie al gruppo delle tecnologie di automazione della guida dei mezzi semoventi, delle regolazioni DPA (Distribuzione Proporzionale all'Avanzamento), e delle regolazioni auto-swat - le macchine distributrici sono in grado di:

- a) Garantire la costanza delle dosi;
- b) modificare la larghezza di lavoro delle diverse macchine distributrici e di adeguarla a quella dei campi;
- c) interrompere l'erogazione di sementi, concimi e fitofarmaci in testata in modo da evitare le sovrapposizioni;
- d) Regolare la distribuzione in base a rilievi diretti in campo in tempo reale del vigore vegetativo impiegando appositi sensori montati sulle macchine.

Questa soluzione è generalmente adottata su appezzamenti di dimensioni medio-piccole e irregolari dove il problema di tali sovrapposizioni è particolarmente sentito, oppure su appezzamenti di dimensioni anche rilevanti quando la variabilità interna dei medesimi non è rilevante. Anche in questo caso, la tecnica richiede essenzialmente dei sistemi informativi relativamente semplici, anche se, rispetto al caso precedente, agli operatori viene richiesta una maggiore abilità informatica per la gestione di dati e informazioni connessi all'esecuzione delle procedure di automazione.

Il termine *site specific agriculture* si riferisce, infine, al gruppo delle tecnologie software ed hardware che, in genere integrando le tecnologie precedenti, sono in grado di realizzare l'erogazione di sementi, concimi e fitofarmaci impiegando tecniche a dose variabile (VRT) in base alle specifiche esigenze di aree di lavoro, su scala di sub-appezzamento, in presenza di campi in genere di dimensioni rilevanti dove la variabilità propria dell'appezzamento nella sua interezza assume valori elevati. In questo contesto si può quindi parlare di tecnologie, tecniche e metodiche di lavoro in

pieno campo che consentono la coerente e non ambigua possibilità di trattare in modo differenziato singole aree omogenee di terreno delle quali si conoscano le effettive caratteristiche produttive. Pertanto, l'adozione di tecniche site-specific agriculture consente la spinta automazione delle attività di controllo operativo in campo della regolazione delle dosi distribuite, disattivato in parte il trattorista nelle sue funzioni di regolazione delle macchine distributrici di fattori. Il focalizzare l'attenzione solamente su quest'attività nasconde l'effettiva necessità di UNA EFFICACE E PREVENTIVA ATTIVITÀ DI MANAGEMENT INFORMATIZZATO ESEGUITA DA PERSONALE SPECIALIZZATO. In definitiva, per realizzare una piena applicazione del site specific agriculture si deve disporre di:

- a) un sistema di base ad alto contenuto di componenti hardware in grado di registrare i dati e gestire le fasi di automazione del controllo operativo,
- b) un sistema di management informatizzato in grado di archiviare i dati storici secondo coerenti forme di aggregazione e di coadiuvare i decisori nelle fasi di analisi, fino a pervenire all'eventuale definizione di piani di intervento automatizzabili attraverso mappe prescrittive.

Purtroppo in Italia si tende a confondere tutte i tre gruppi di tecniche descritte con il site specific agriculture inteso come unica forma di AP. Ciò offre un'immagine troppo restrittiva dell'intero contesto e comporta il serio rischio di indirizzare le modalità di trasferimento tecnologico dell'AP verso approcci molto complessi, troppo distanti da quell'insieme di benefici integrati che anche le tecnologie AP più semplici, che non si basano sulle distribuzione dei fattori a dosi variabili, sono in grado di garantire.

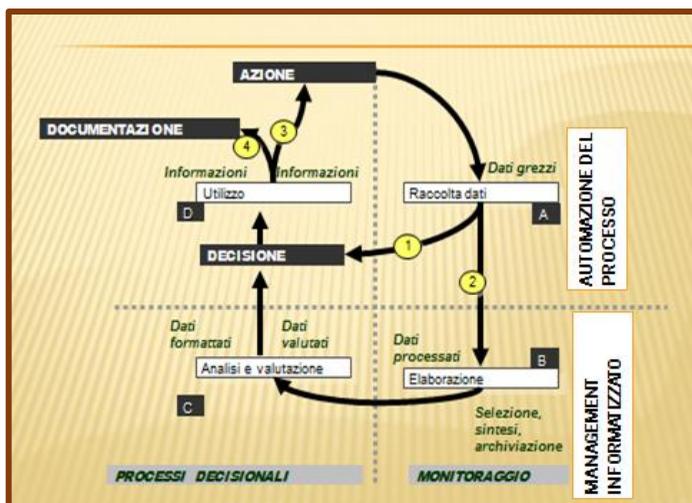


Fig. 1.4 - Modularità dell'AP

La grande modularità risulta altresì evidente quando si dà uno sguardo alle molteplici tecnologie di base che possono entrare a fare parte dei diversi sistemi che si possono adottare nelle realtà di campo.

2- I componenti tecnologici delle tecniche AP

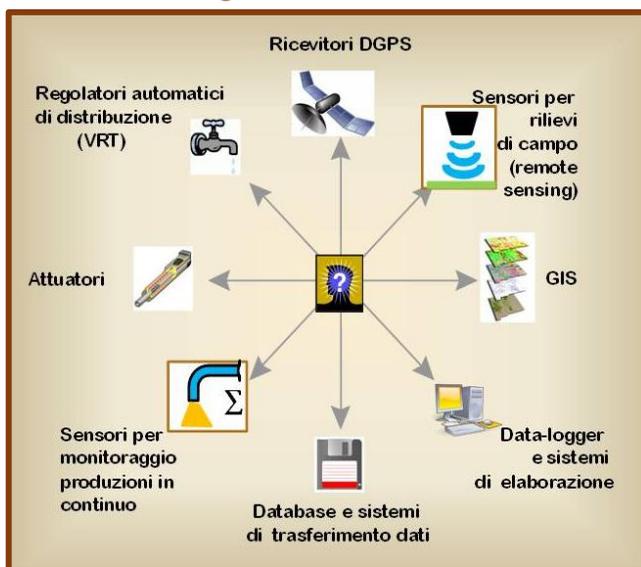


Fig. 2.1 - Tecnologie di base

Quanto sopra detto implica che, a seconda delle soluzioni adottate, i componenti di un sistema AP possono includere tecnologie meccaniche, elettroniche ed informatiche (hardware e software) di varia complessità. Le modalità con cui esse si integrano all'interno del sistema dipendono:

- Dall'insieme complessivo degli obiettivi che il sistema si prefigge di soddisfare attraverso le proprie funzionalità;
- Dalle soluzioni con cui s'interfacciano tra loro i componenti di AUTOMAZIONE DEL PROCESSO e di MANAGEMENT INFORMATIZZATO.

Contrariamente ai sistemi MANAGEMENT INFORMATIZZATO in cui predominano le tecnologie informatiche software (Geographical Information System ovvero GIS, database, pacchetti di statistica e geostatistica, applicativi specifici etc.), i sistemi di AUTOMAZIONE DI PROCESSO possono anche includere tecnologie software di diversa natura da installarsi presso il centro direzionale, ma tipicamente essi sono essenzialmente e prevalentemente basati su componenti hardware installati a bordo di macchine e impianti.

I componenti che possono interagire fra loro si possono poi distinguere nei seguenti gruppi:

- A. Tecnologie elettroniche di base, preposte sia all'acquisizione del dato (monitoraggio), sia all'impiego dell'informazione all'interno del contesto produttivo (controllo operativo); sono, pertanto, tecnologie che generano e usano informazione, gestendo i dati rispettivamente nelle fasi iniziali e finali del loro ciclo di vita.
- B. Tecnologie di posizionamento, indispensabili quando il contenuto dell'informazione necessita di ulteriori attributi in grado di localizzare l'informazione stessa all'interno di un sistema spaziale di riferimento.
- C. Tecnologie informatiche hardware, preposte alla gestione fisica delle informazioni, ovvero al trattamento dei dati in formato digitale mediante la messa a disposizione dei supporti fisici che consentono le funzioni di registrazione, visualizzazione, modifica e trasmissione dei dati; come tali, includono tutte le varie tecnologie previste sia per i "calcolatori" propriamente detti, sia per le modalità di connessione tra questi ultimi (reti e sistemi di comunicazione).
- D. Tecnologie informatiche software, preposte alla gestione delle informazioni, ovvero all'archiviazione e all'elaborazione dei dati

attraverso strumenti (programmi) che consentono di interfacciare le funzionalità digitali dell'hardware con le forme di comunicazione proprie degli utenti finali.

I primi due gruppi hanno peculiarità specifiche legate al contesto agricolo e vengono nel seguito brevemente descritte, mentre le tecnologie dei gruppi C e D sono tecnologie aspecifiche, trasversali ai diversi settori produttivi, e si rimanda quindi il lettore interessato a un approfondimento delle loro caratteristiche all'ampio materiale divulgativo facilmente reperibile in formato sia cartaceo, sia digitale.

2.1 – Generalità sui sensori

I sensori sono dispositivi di diverso livello di complessità dotati di trasduttori che nelle tecniche AP rilevano i valori di una grandezza fisica (ad esempio; temperatura, pressione, umidità), o i suoi cambiamenti, che vengono poi trasmessi i direttamente a:

1. Un sistema di regolazione e controllo (ECU) senza essere registrati;
2. Un sistema di regolazione e controllo (ECU) e a un data-logger per essere registrati ai fini del successivo utilizzo in forme di management informatizzato;
3. Un data-logger per essere registrati ai fini del successivo utilizzo in forme di management informatizzato.

Quelli relativi alla misura delle rese di cereali nell'ambito del monitoraggio produttivo svolto automaticamente dalle mietitrebbiatrici (mappatura delle produzioni di granella) hanno ormai raggiunto un elevato grado di maturità tecnologica, con buona diffusione anche a livello commerciale. In particolare:

- per la pesatura della granella (portate massiche): benché siano disponibili diverse soluzioni, quella che impiega sensori a impatto risulta essere la più semplice e affidabile; essa prevede che il flusso di granella venga lanciato contro un piatto mobile connesso a un sensore a cella di carico, in grado di misurarne gli spostamenti direttamente proporzionali al flusso stesso;
- per l'umidità del prodotto alla raccolta: le soluzioni più diffuse prevedono misure dielettriche con sensori capacitivi, per i quali si è passati da

sistemi in continuo, molto imprecisi, a quelli con misura a campione, simili a quelli già in uso negli essiccatoi.

Per entrambe le soluzioni, tuttavia, permangono ancora sensibili difficoltà operative dovute alla necessità di provvedere con costanza alla ricorrente taratura dei sensori in funzione delle condizioni e delle caratteristiche del prodotto da raccogliere.

2.2 – Sensori ottici per il remote sensing

Sempre tra i sensori nell'ambito del monitoraggio colturale, di grande utilità risultano essere i sensori che svolgono misure ottiche mediante sistemi di telerilevamento (remote sensing). Tali sistemi offrono la possibilità di valutare lo stato fisiologico delle colture basandosi sulle modificazioni che la radiazione luminosa subisce incidendo sulla pianta e interagendo coi suoi tessuti.

In sintesi, gli scambi di energia tra un vegetale sano e il suo ambiente circostante dipendono dallo stato fitosanitario delle sue cellule. In stato di alterazione metabolica, a parità di irraggiamento incidente, si osserva una sensibile diminuzione di riflettanza nell'infrarosso vicino accompagnata sia da un aumento del calore emesso, sia da un contestuale variazione di riflettanza nelle bande spettrali del verde e del rosso.

Tali proprietà sono conseguentemente utilizzabili per valutare lo stato fisiologico della vegetazione impiegando i rilievi relativi solo ad alcune peculiari lunghezze d'onda e calcolando degli indici (tipicamente NDVI e NDRE) che tengono conto dei rapporti tra le diverse misure effettuate.

Ad indici superiori corrispondono stati vegetativi più vigorosi.

Ciò è utile per le applicazioni pratiche in agricoltura, anche in virtù di alcune caratteristiche peculiari dei sensori ottici. Essi infatti:

- consentono misure non distruttive che, quindi, possono essere effettuate su ogni singola pianta dell'appezzamento e ripetute in momenti successivi della stagione, senza interferire col normale sviluppo delle colture;
- non richiedono contatto col campione esaminato e dunque si possono eseguire dalla distanza ritenuta più opportuna;
- si basano su fenomeni istantanei, permettendo misure rapide ed idonee a essere effettuate anche da veicoli in movimento.

Tali caratteristiche rendono questi sensori degli strumenti molto interessanti ai fini del monitoraggio colturale. In particolare, recentemente sono stati sviluppati sensori ottici semplificati a luce attiva (in grado di depurare il segnale di riflettanza dall'influenza della luce solare) che, sfruttando sempre i principi del telerilevamento, risultano vantaggiosamente applicabili direttamente a bordo delle macchine agricole utilizzate nei normali processi di campo.

2.3 – I sensori di posizionamento basati sui sistemi satellitari

La misura della posizione delle macchine in campo a mezzo di sistemi satellitari è, tra le tante soluzioni disponibili, quella che attualmente garantisce la miglior flessibilità d'uso a costi sostenibili tanto che, spesso ed erroneamente, a livello comune si tende a far coincidere il concetto di posizionamento satellitare con il concetto stesso di AP.

I sistemi satellitari sono dei sistemi di posizionamento globali (da cui il noto acronimo GPS, Global Positioning System). Essi sono detti globali in quanto il loro servizio è garantito:

- a. In qualunque punto della superficie terrestre;
- b. In modo continuativo nel tempo;
- c. Indipendentemente dalle condizioni atmosferiche locali.

Tra i diversi sistemi il più impiegato in AP è il GPS. In esso il segmento spaziale del sistema consta di 24 satelliti in volo a circa 20200 km dalla superficie terrestre ed in grado di percorrere 2 orbite complete in poco più di 24 ore. Ogni satellite trasmette in continuo, su diverse bande di frequenza, dei messaggi contenenti informazioni digitali quali:

- a. Il proprio identificativo;
- b. La posizione corrente sull'orbita;
- c. L'istante temporale in cui viene generato il messaggio dal satellite.

Il segmento utente, quello effettivamente in mano agli utilizzatori del servizio, richiede i seguenti dispositivi:

- a) Un'antenna ricevente, in grado di captare le informazioni trasmesse da ogni satellite in quel particolare momento visibile nella volta celeste;

- b) Un ricevitore, connesso a detta antenna, preposto all'elaborazione, secondo procedure matematico-statistiche, dei segnali captati e alla conseguente determinazione delle coordinate di posizionamento. Poiché il sistema richiede alimentazione, negli impieghi su mezzi mobili risulta preferibile la loro installazione direttamente a bordo dei trattori.

2.4– Attuatori

Gli attuatori, sono costituiti da un qualunque dispositivo di un sistema di controllo che effettua una regolazione automatica attraverso l'esecuzione di azioni elementari sull'ambiente esterno. Si tratta, di norma, di dispositivi idraulici o elettromeccanici dotati della potenza meccanica necessaria per intervenire sull'apparato regolato, apportando le correzioni previste, all'interno di tempi prefissati (solitamente misurabili in frazioni di secondo). Il loro comportamento è integralmente impostato dal microprocessore integrato in una centralina elettronica (ECU).

Nel contesto dell'AP, per gli attuatori è indispensabile ricordare quelli impiegati per realizzare le cosiddette tecnologie a dosaggio variabile (VRT, Variable Rate Technologies), ovvero dei sistemi a servizio delle operatrici adibite alla distribuzione dei fattori in grado di garantire un dosaggio costante, impostabile manualmente o elettronicamente tramite un'annessa ECU, indipendentemente dalla velocità di avanzamento dei mezzi. Con esse si agisce automaticamente sul grado di apertura dei dispositivi erogatori in base ad azioni elementari meccaniche diverse a seconda che si tratti di fattori produttivi solidi o liquidi e delle caratteristiche costruttive degli erogatori stessi. Le VRT derivano da precedenti dispositivi denominati DPA (Distribuzione Proporzionale all'Avanzamento), originariamente nati per garantire la costanza delle dosi delle macchine da distribuzione con sistemi di trasmissione meccanica in grado di derivare il moto dalle ruote delle macchine. Tali dispositivi si sono poi evoluti con servocomandi azionati da piccoli motori elettrici passo-passo, fino ad arrivare alle attuali soluzioni VRT capaci di tempi di risposta, con adeguamento automatico delle dosi, molto brevi e secondo modulazioni pressoché continue.

3 - Metodologia adottata per l'indagine

3.1 - Scelta delle colture standard di riferimento

Per analizzare i benefici ottenibili dall'applicazione delle tecniche AP, lo studio ha posto come primi obiettivi i quelli di:

1. Individuare le colture rappresentative della realtà territoriale;
2. Calcolare i loro costi di coltivazione standard in condizioni di lavoro ideali.

Per il primo punto sono stati analizzati i dati statistici provinciali inerenti la superficie agraria investita a colture erbacee (tab. 3.1).

Tab. 3.1 - Principali coltivazioni e produzioni provinciali - anno 2013

Provincia di Milano - Settore Agricoltura, Parchi, Caccia e Pesca			
Principali coltivazioni e produzioni provinciali - anno 2013 (provincia di Milano senza la provincia di Monza e della Brianza - con 134 Comuni)			
Colture	Superficie in produzione (ettari) (1)	Produzione raccolta totale (quintali)	Produzione media a ettaro (quintali/ha)
Cereali da granella (2)			
Frumento tenero	5.360	286.872	53,52
Frumento duro	34	1.693	49,79
Orzo	2.480	121.270	48,90
Avena	55	1.806	32,84
Segale	205	7.120	34,73
Triticale	1.510	72.220	47,83
Risone	11.529	668.682	58,00
Mais da granella	18.570	1.673.582	90,12
Sorgo	413	23.121	55,98
Altri cereali	131	5.497	41,96
Totale cereali	40.287		
Colture industriali			
Soia	2.500	72.284	28,91
Colza	730	18.290	25,05
Girasole	21	460	21,90
Totale colture industriali	3.251		
Piante proteiche			
Pisello	265	5.205	19,64
Altre piante proteiche	9	162	18,00
Totale piante proteiche	274		

Piante da tubero			
Patata	10	2.600	260,00
Colture orticole			
Pomodoro da industria	34	14.838	436,41
Altre orticole	760		
Totale colture orticole	794		
Colture foraggere (3)			
1. Erbai			
Mais a maturazione cerosa	8.720	4.516.830	517,99
Loietto	2.200	616.000	280,00
Altri erbai	3.075	962.900	313,14
Totale erbai	13.995		
2. Prati avvicendati			
Prati avvicendati polifiti	2.200	809.600	368,00
Erba medica	1.540	646.800	420,00
Altri prati avvicendati	130	48.100	370,00
Totale prati avvicendati	3.870		
3. Prati permanenti e pascoli			
Prato permanente	8.050	3.249.900	403,71
Pascolo	100	39.150	391,50
Totale prati permanenti e pascoli	8.150		
Fonte: dati elaborati dal Settore Agricoltura, Parchi, Caccia e Pesca della Provincia di Milano			
NOTE			
(1): Superficie in produzione: per ogni coltura, la superficie in produzione è data dalla somma della superficie in coltivazione principale e della superficie di tutte le eventuali coltivazioni successive secondarie; per le colture legnose agrarie (vite e fruttiferi) e per le colture erbacee poliennali (esempio asparago tra le colture orticole) è la sola superficie degli impianti in produzione.			
(2): Cereali da granella: sono indicate le superfici coltivate per la produzione di granella; sono escluse le superfici dei cereali utilizzati in erba o a maturazione cerosa, che sono invece riportate nella voce "Erbai". La produzione dei cereali da granella è costituita da cariossidi al 14,5% di umidità.			
(3): Colture foraggere: le produzioni delle colture foraggere sono espresse in quintali di foraggio verde e non in fieno.			

Il MAIS, nelle due versioni di coltivazione come GRANELLA o FORAGGIERO, con quasi 27.000 ha, rappresenta il 40% della superficie. Segue il RISO con circa 11.500 ha, il che rappresenta il 16% circa del totale. Di conseguenza MAIS e RISO sono state scelte come colture cerealicole intensive (infatti molto elevati, come vedremo, sono le quantità di fattori produttivi che sono

impiegati per la loro coltivazione) sulle quali i benefici delle tecniche indagate, risparmiatrici di fattori, si suppone essere massimi.

La MEDICA, con i suoi 1500 ha e le sue caratteristiche agronomiche (in quanto leguminosa, poliennale e richiedendo operazioni di impianto solo ogni tre anni) è stata scelta tra le colture foraggiere, tipicamente meno esigenti in termini di impiego di fattori, come coltura sulla quale i vantaggi si prevede siano minimi.

Per calcolare i costi di coltivazione standard in condizioni ideali (punto 2) lo studio si è basato su un'indagine effettuata in campo, presso 5 aziende nelle quali sono state stilate, per le 3 colture, delle tabelle di itinerario tecnico agronomico, impiegate poi per definire delle pratiche standard come quella riportata qui ad esempio per il riso.

Tab. 3.2 - Tabella d'itinerario tecnico-agronomico standard per il riso

EPOCA LAVORI	OPERAZIONE	MACC.OPERATRICE
Preparazione terreno		
Febbraio-marzo (II+II+III)	Ricostruzione argini e movimenti terra	Aratro arginatore e rullo arginatore
Marzo (II+II+III)	Aratura	Aratro
Preparazione camera e del letto di semina		
Aprile (I + II)	Erpicatura	Erpice
	Livellamento camera	Livella laser
	Assolcatura	Assolcatore
	Prep.+trasporto concimi chim.	Rimorchio agricolo
	Concimazione pre-semina (ternario)	Spandiconcime centrifugo
	Concimazione pre-semina (urea)	Spandiconcime centrifugo
Allagamento della camera e semina		
Aprile (I + II)	Allagamento camera (6-8 cm di acqua)	
	Livellamento con spianone	Spianone
	Lotta all' <i>Heteranthera</i> (2-3 gg prima)	Irroratrice

	della semina)	
	Assolcatura	Assolcatore
	Messa in ammollo del seme	
	Semina	Seminatrice centrifuga
Cure colturali		
Maggio (II)	Asciutta per la lotta a giavoni, alismatacee e ciperacee	
Maggio (II)	Lotta a giavoni, alismatacee e ciperacee	Irroratrice
Maggio (II)	Ripristino del livello dell'acqua	
Giugno (I)	Asciutta per la lotta a giavoni, alismatacee e ciperacee	
Giugno (I)	Lotta a giavoni, alismatacee e ciperacee	Irroratrice
Giugno (I)	Prep.+trasporto concimi chim.	Rimorchio agricolo
Giugno (I)	Concimazione copertura	Spandiconcime centrifugo
Giugno (I)	Ripristino del livello dell'acqua	
Giugno (III)	Asciutta per la differenziazione degli abbozzi fiorali	
Giugno (III)	Prep.+trasporto concimi chim.	Rimorchio agricolo
Giugno (III)	Concimazione copertura	Spandiconcime centrifugo
Luglio (I)	Ripristino del livello dell'acqua (10 cm)	
Agosto (III)	Inizio asciutta finale	
Raccolta		
Settembre (II+III)	Raccolta	Mietitrebbiatrice
Settembre (II+III)	Trasporto e scarico prodotto	Rimorchio agricolo
Ottobre (II+III)	Trinciatura paglia (solo se non fatta in raccolta)	Trinciastocchi

In beige le operazioni che non sono influenzate dalle tecniche AP

Per ognuna delle 3 colture individuate si è poi ipotizzato di lavorare in aziende di piccole dimensioni (< 50 ha) e di grandi dimensioni (> 50 ha) e, in base a ciò, e con riferimento ai risultati dell'indagine di campo nelle 5 aziende considerate, sono stati dimensionati i cantieri di meccanizzazione ipotizzando di lavorare in condizioni ordinarie. Per il calcolo delle prestazioni delle diverse macchine operatrici in termini di capacità di lavoro e consumi di combustibili,

infine, si è impiegando un software specifico (MaccAgri – REDA Edizioni - 2003).

Il risultato sono delle tabelle come quelle qui riportate (Tab. 3.3) per il riso in aziende di piccole dimensioni (< 50ha).

Tab. 3.3 - Tabella di dimensionamento delle macchine operatrici per il riso

MACC.OPERATRICE	LARGHEZZA TEORICA	VELOCITÀ TEORICA	EFFICIENZA OPERATIVA	PRODUTTIVITÀ OPERATIVA	UL
	(m)	(km/h)	(-)	(ore/ha)	(#)
Aratro arginatore e rullo arginatore				1,5	1
Aratro quadrivomere	1,6	5	65%	1,9	1
Erpice	3	5	65%	1,0	1
Livella laser (3,5 m)				1,7	1
Assolcatore	3	8	60%	0,7	1
Rimorchio agricolo				0,3	1
Spandiconcime centrifugo	12	6	30%	0,5	1
Allagamento camera				0,5	1
Spianone 3 m				0,8	1
Irroratrice	12	6	45%	0,3	1
Assolcatore	3	8	60%	0,7	1
Messa in ammollo seme				0,3	1
Seminatrice centrifuga	12	4	30%	0,7	3
Asciutta				0,5	1
Irroratrice	12	6	45%	0,3	1
Ripristino livello				0,5	1
Asciutta				0,5	1
Irroratrice	12	6	45%	0,3	1
Rimorchio agricolo				0,3	1

Spandiconcime centrifugo	12	6	30%	0,5	1
Ripristino livello				0,5	1
Asciutta				0,5	1
Rimorchio agricolo				0,3	1
Spandiconcime centrifugo	12	6	30%	0,5	1
Ripristino livello				0,6	1
Asciutta				0,4	1
Mietitrebbiatrice	4	4	50%	1,3	1
Rimorchio agricolo				0,8	1
Trinciastocchi	3,5	5	65%	0,9	1
			Totale ore	19,9	

In beige le operazioni che non sono influenzate dalle tecniche AP

Tab. 3.4 - Tabella di dimensionamento delle macchine motrici per il riso

MACC.OPERATRICE	TRATTORE		CARICO MOTORE	CARBURANTE	LUBR.
	(kW)	(RM)	(-)	(kg/ha)	(kg/ha)
Aratro arginatore e rullo arginatore	90	4	0,25	15,91	0,19
Aratro quadrivomere	125	4	0,55	35,11	0,42
Erpice	90	4	0,50	13,26	0,16
Livella laser (3,5 m)	50	4	0,50	12,21	0,15
Assolcatore	90	4	0,30	7,92	0,10
Rimorchio agricolo	90	4	0,30	3,42	0,04
Spandiconcime centrifugo	50	2	0,40	3,19	0,04
Spandiconcime centrifugo	50	2	0,40	3,19	0,04
Spianone 3 m	90	4	0,40	9,91	0,12
Irroratrice	50	4	0,30	1,96	0,02
Assolcatore	50	4	0,30	4,40	0,05
Seminatrice centrifuga	50	4	0,40	4,78	0,06

Irroratrice	50	4	0,30	1,96	0,02
Rimorchio agricolo	90	4	0,30	3,42	0,04
Spandiconcime centrifugo	50	2	0,40	3,19	0,04
Rimorchio agricolo	90	4	0,10	1,79	0,02
Spandiconcime centrifugo	50	2	0,50	3,32	0,04
Mietitrebbiatrice	120	2	0,50	21,54	0,26
Rimorchio agricolo	90	4	0,10	4,48	0,05
Trinciasocchi	90	4	0,40	10,89	0,13

In beige le operazioni che non sono influenzate dalle tecniche AP

Per ognuna delle tre colture, inoltre, sono stati individuati, sulla base delle pratiche locali identificate nelle aziende oggetto d'indagine, i piani di concimazione, di semina e di diserbo standard. Tutti gli input tecnici variabili (carburanti, lubrificanti, manodopera, sementi, concimi, diserbanti e costi di manutenzione) sono stati valorizzati sulla base dei prezzi correnti ricavati dalle borse merci dei prodotti agricoli. In tal modo per le diverse colture sono stati ricavati i costi variabili teorici secondo lo schema riportato nella tabella seguente sempre per il caso in esempio del riso in azienda di piccole dimensioni.

Tab. 3.5 - Costi variabili teorici in azienda di piccole dimensioni di riso

OPERAZIONE	TOTALE COSTI VARIABILI TEORICI
	(€ /ha anno)
Ricostruzione argini e movimenti terra	44
Aratura	75
Epicatura	33
Livellamento camera	43
Assolcatura	21
Prep.+trasporto concimi chim.	9
Concimazione pre-semina (ternario)	212
Concimazione pre-semina (urea)	55

Allagamento camera (6-8 cm di acqua)	8
Livellamento con spianone	25
Lotta all' <i>Heteranthera</i> (2-3 gg prima della semina)	94
Assolcatura	17
Messa in ammollo del seme	5
Semina	180
Asciutta per la lotta a giavoni, alismatacee e ciperacee	8
Lotta a giavoni, alismatacee e ciperacee	94
Ripristino del livello dell'acqua	8
Asciutta per la lotta a giavoni, alismatacee e ciperacee	8
Lotta a giavoni, alismatacee e ciperacee	94
Prep.+trasporto concimi chim.	9
Concimazione copertura	63
Ripristino del livello dell'acqua	8
Asciutta per la differenziazione degli abbozzi fiorali	8
Prep.+trasporto concimi chim.	7
Concimazione copertura	63
Ripristino del livello dell'acqua (10 cm)	10
Inizio asciutta finale	7
Raccolta	47
Trasporto e scarico prodotto	18
Triciatura paglia (solo se non fatta in raccolta)	28
TOTALE	1.302

In beige le operazioni che non sono influenzate dalle tecniche AP

Analogo lavoro di valorizzazione dell'impiego degli input variabili è stato effettuato anche per quanto riguarda gli effetti ambientali delle coltivazioni considerate calcolando i consumi di energia in termini di $\text{kg}_{\text{eqp}}/\text{ha}$ anno e le emissioni di CO_2 .

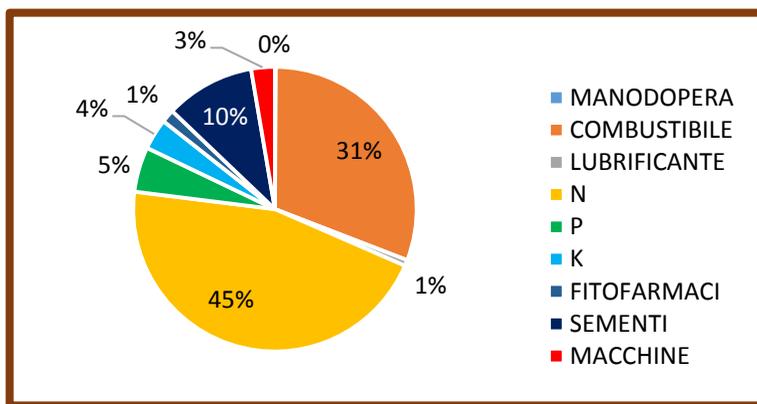
Come si può apprezzare dalla tabella 3.6 seguente, per quanto riguarda l'energia primaria il valore di consumo annuo delle operazioni di campo per il riso in aziende di piccole dimensioni assomma a $600 \text{ kg}_{\text{eqp}}/\text{ha}$.

Tab. 3.6 - Consumo annuo del riso in piccole aziende calcolato come energia primaria

VOCE	MANODOPERA	COMBUSTIBILE	LUBRIFICANTE	N	P
ENERGIA PRIMARIA (kgeqp/ha anno)	0,60	184,61	4,03	273,0	30,72
VOCE	FITOFARMACI	SEMENTI	MACCHINE	K	TOTALE
ENERGIA PRIMARIA (kgeqp/ha anno)	9,00	61,25	16,22	21,12	600,54

Il grafico 3.1 della ripartizione dei consumi tra le differenti voci indica come i consumi di energia per la produzione dei concimi, in particolare dell’N, siano quelli di entità maggiore (più del 50%), seguiti da quelli per la produzione dei combustibili (essenzialmente il gasolio) (circa il 30%) e per le sementi (che assommano a un buon 10% del totale).

Graf. 3.1- Ripartizione dei consumi di energia primaria

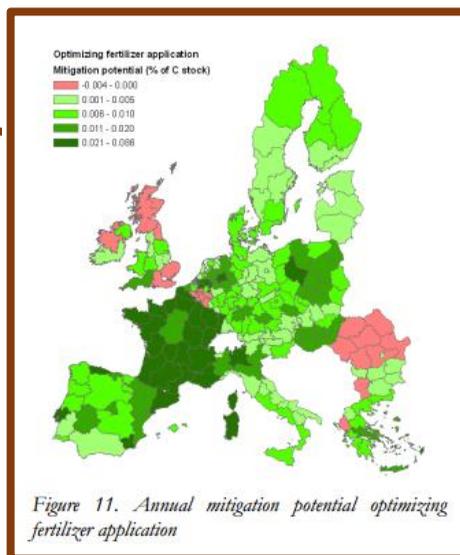
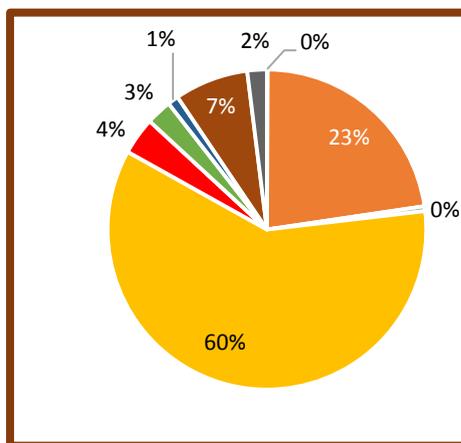


Per quanto riguarda le emissioni di gas GHG (greenhouse gas, ovvero gas ad effetto serra, climalteranti), i contributi delle emissioni del metano, così come quelli di eventuali mutamenti delle quantità di sostanza organica sequestrate correlate a un mutamento delle tecniche di lavorazione del suolo, sono stati esclusi dei calcoli in quanto non influenzati dalle tecniche di AP.

Tab. 3.7 - Emissioni di GHG

VOCE	MANODOPERA	COMBUSTIBILE	LUBRIFICANTE	N	P
Emissioni GHG (kg CO ₂ eq/ha anno)	1,6098	495,30863	10,81249	1313,559	82,42176
VOCE	K	FITOFARMACI	SEMENTI	MACCHINE	TOTALE
Emissioni GHG (kg CO ₂ eq/ha anno)	56,66496	24,147	164,33375	43,51826	2192,348

Graf. 3.2 - ripartizione delle emissioni di CO₂



Così le emissioni, in termini kgCO₂ equivalenti, sono risultate, per il caso del riso in piccola azienda, pari a 2205 kgCO₂/ha anno per ben il 60% imputabili alla sola concimazione azotata. Questo non deve sorprendere in quanto la concimazione azotata provoca aggiuntive emissioni di N₂O proporzionali alle quantità di fertilizzante impiegate che, contenendo l’N₂O che possiede un forte potere climalterante, fa innalzare il computo complessivo in termini di equivalenti di CO₂. Diviene quindi di fondamentale importanza ridurre le quantità di distribuzione di concime azotato utilizzando tecniche mirate, come quelle che fanno riferimento all’AP. Di passaggio, si vuole qui ricordare come, secondo studi recenti, il contenimento delle quantità di distribuite potrebbe ridurre le emissioni di N₂O **Risparmio potenziale di CO₂eq/anno in % di C**

(Progetto
Come si vede
ricavata dalle



PICCMAT-D7).
dalla figura
conclusioni e

raccomandazioni del progetto PICCMAT-D7, tra le regioni Europee la Lombardia è potenzialmente una di quelle che potrebbe trarre maggiori vantaggi dalle applicazioni di tecniche che migliorino l'ottimizzazione delle concimazioni azotate.

3.2 - Valutazione degli sprechi connessi alla mancata precisione di lavoro delle tecniche standard

Purtroppo le condizioni ideali sopra delineate difficilmente si riscontrano nella realtà di campo. In primo luogo, la situazione che al punto precedente è stata individuata come standard, da un punto di vista della meccanizzazione potrebbe essere rappresentata figura 3.2. Si tratta quindi di una ipotesi puramente teorica, in quanto nella realtà difficilmente tra le singole passate, che si effettuano nel campo, non si verificano delle sovrapposizioni, specie quando la guida avviene in modo manuale.

Fig. 3.2 - Condizioni ideali standard di campo

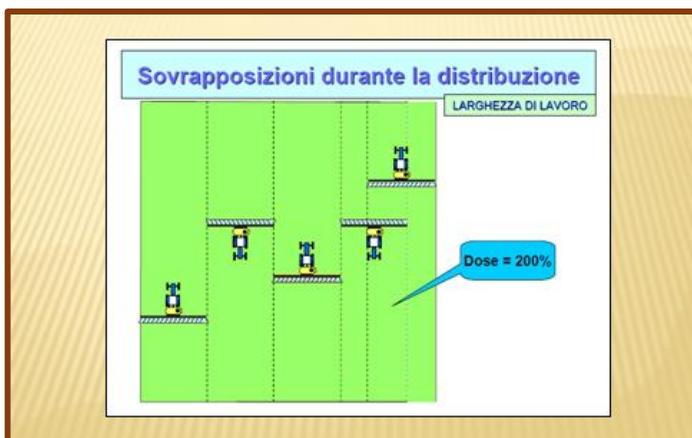


Fig.3.3 - Sovrapposizioni durante la distribuzione (fonte: Tamagnone et Al.)

Nel caso in cui non vengano impiegati dei fattori, queste sovrapposizioni, implicano solo degli spechi di tempo di lavoro delle macchine (e quindi di manodopera, combustibili, lubrificanti). Quando invece, come rappresentato in figura, si hanno delle operazioni che distribuiscono fattori produttivi, si hanno anche degli spechi di sementi e prodotti chimici.

Analogamente, le sovrapposizioni si verificano anche nei lavori in testata, così come rappresentato in figura 3.4.

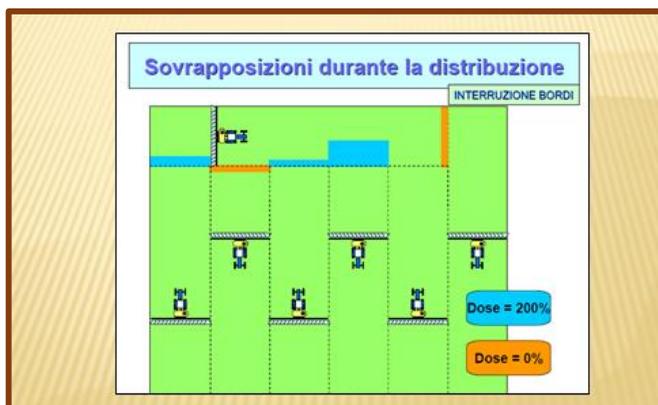


Fig.3.4 - Sovrapposizioni durante la distribuzione in testata (fonte: Tamagnone et Al.)

Ciò è dovuto alla mancata precisione dell'individuazione del momento in cui interrompere le lavorazioni in modo da non sovrapporsi a quelle effettuate precedentemente. La sovrapposizione può essere evitata dall'operatore nel caso di lavorazioni del terreno che lasciano segni evidenti sullo stesso, come ad esempio una lavorazione del terreno; il problema può essere quindi

parzialmente
risolvibile
aumentando
l'attenzione con cui
l'operatore agisce
sugli organi di
regolazione delle
macchine.



Fig. 3.5 - Esempio di sovrapposizione (foto: Sarasso)

Purtroppo quanto non sono presenti segni evidenti (operazioni di distribuzione) la precisione è molto meno facile da conseguire (a meno che non si impiegano appositi dispositivi di tracciamento delle passate). Si verifica quindi che, per evitare di non distribuire i fattori su tutto il terreno disponibile, gli operatori distribuiscono dosi doppie rispetto a quelle necessarie in alcune zone.

Ai pratici questa situazione non è sconosciuta in quanto, oltre a comportare uno spreco, provoca anche effetti negativi sulla crescita delle colture, come nel caso in figura 3.5 qui riportata, nella quale appaiono evidenti due strisce parallele di riso ingiallito che s'intersecano con una striscia quasi perpendicolare in testata. Tali strisce segnalano un evidente danno di crescita dovuto all'impiego di un diserbante poco selettivo, che ha provocato nelle zone di sovrapposizione di distribuzione lo "sterminamento" del riso. Ma anche quando l'effetto non è così visibile, alcuni danni si verificano egualmente.

Impiegando le tecnologie tradizionali ulteriori sovrapposizioni sono poi rese pressoché inevitabili quando i campi invece di essere regolari, come nella figura sopra riportata relativa alla situazione ottimale, assumono forma irregolare, come a esempio nella figura che segue.

In questo caso, infatti, alla mancanza di precisione dell'interruzione del lavoro a fine passata si sovrappongono gli errori dovuti all'impossibilità di parzializzare la larghezza di lavoro degli attrezzi tradizionali, in modo da adattare la medesima alle condizioni di variabilità richiesta dalla geometria caratteristica data del campo da lavorare.

Fig.3.6: esempio di campo irregolare

In definitiva, secondo recenti studi di Tamagnone et Al., nelle condizioni della Pianura Padana Occidentale, a seconda della dimensione dei campi e della loro geometria, gli sprechi che si possono ricondurre alle sorgenti di errore fin qui identificate variano in un range compreso fra il 13 e il 22%.



Fig. 3.7- Sprechi dovuti alle sovrapposizioni complessive

(fonte: Tamagnone et Al. modificata)

Infine, ulteriore causa di sprechi è anche il differente livello di fertilità e/o produttività di diverse aree del medesimo appezzamento.

In condizioni di lavoro convenzionali, infatti, la pratica di distribuzione dei diversi fattori avviene seguendo una logica che prevede di assegnare quantità medie a tutto l'appezzamento anche qualora parti di esso richiedano, rispetto a queste dosi medie, quantità maggiori o minori. Questo provoca, secondo ormai consolidate esperienze relative ai nostri ambienti agronomici, sovrautilizzazioni di concimi che, a parità di livelli produttivi conseguiti, sono dell'ordine del 15 % rispetto al necessario (figura 3.8).

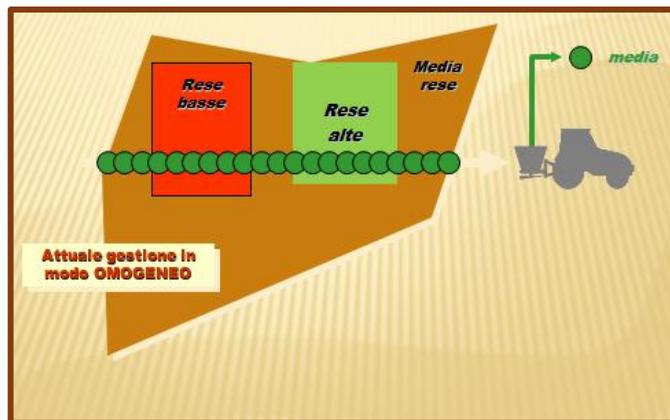


Fig.3.8 - Differenza di fertilità produttiva degli appezzamenti

3.3 - Scelta delle tecniche di AP adatte alle condizioni locali

Come sopra accennato al punto 1.4 le tecniche AP sono rappresentate da una gran quantità di tecnologie di monitoraggio e controllo delle lavorazioni di campo integrabili tra loro in modo ampiamente modulare. Per effettuare il presente studio, si è deciso di analizzare le differenti quantità di sprechi che intercorrono fra la situazione di campi con forma ideale rispetto a quelli che avvengono convenzionalmente su appezzamenti di dimensione e forma irregolari, trattati sia con le tecniche tradizionali sia con le tre diverse combinazioni delle opzioni tecnologiche descritte precedentemente (figura 3.9).

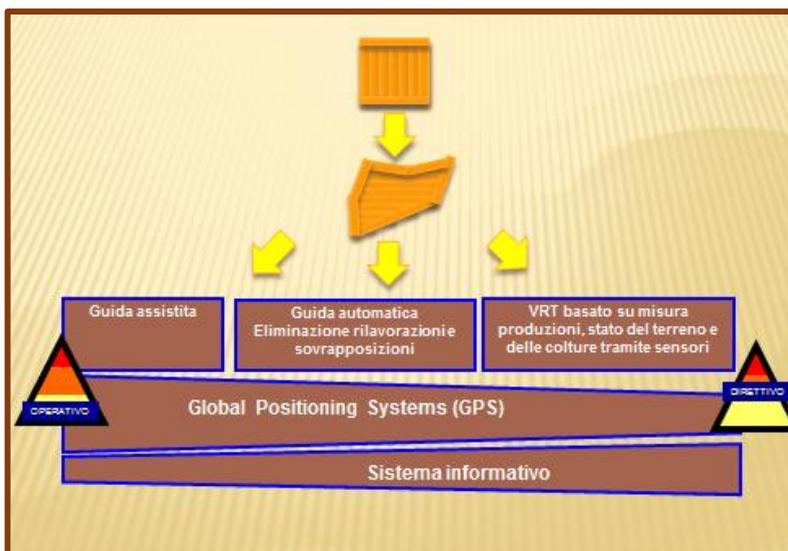


Fig. 3.9 - Alternative tecnologiche a confronto

La figura 3.10 seguente mostra la procedura valutativa utilizzata per mettere a confronto le tre tecniche di AP considerate.

1.	IDEALE CON CAMPI SUPPOSTI OMOGENEI	
2.	GUIDA MANUALE SU CON CAMPI REALI (4 TIPOLOGIE DI CAMPI)	 
3.	GUIDA ASSISTITA BASE	
4.	GUIDA SEMI-AUTOMATICA CON PARZIALIZZAZIONE DELLE LARGHEZZE DI LAVORO (AUTO-SWATH)	  
5.	COME 4 CON MAPPATURA E DISTRIBUZIONE VRT	

Fig.3.10- valutazione delle tecniche AP a confronto

Lo studio ha evidenziato che l'adozione della guida assistita (prima tecnica considerata) sia mediamente in grado di migliorare le prestazioni della guida manuale riducendo di circa il 50% gli errori di sovrapposizione senza nessuna influenza sulle perdite nelle testate degli appezzamenti che rimangono uguali a quelle previste per le tecniche tradizionali.

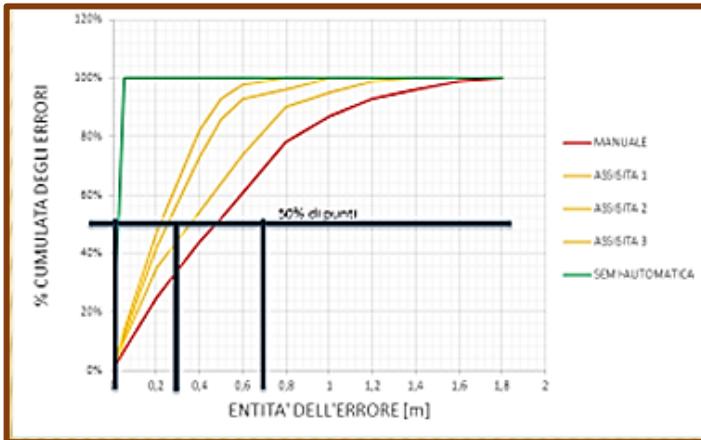


Fig.3.11 - Grafico dei risultati delle tecniche considerate sulla precisione di guida durante alla semina

Sempre con riferimento alla figura 3.11, la seconda tecnica, ovvero la guida semiautomatica, risulta essere in grado di migliorare le prestazioni di lavoro della guida manuale riducendo gli errori a meno di 5 cm (in media 2 cm) e di eliminare contemporaneamente le sovrapposizioni in testata, dovute all'intemperività di chiusura o alla non parzializzazione delle larghezze di lavoro. In questo modo, è possibile ridurre gli sprechi per sovrapposizione fino all'1-2%, a seconda delle dimensioni e della forma dei campi.

Nella terza procedura, oltre alle tecniche utilizzate nella seconda opzione, si è ipotizzata l'adozione delle più avanzate tecniche di gestione della fertilità mediante la misura delle produzioni durante la raccolta, l'integrazione su base cartografica delle medesime con i dati di fertilità e l'impiego di macchine a distribuzione VRT, regolate anche mediante la presenza di sensori di vigore vegetativo. I risultati mostrano che l'utilizzo di quest'ultima serie di soluzioni possa potenzialmente portare a una riduzione delle quantità di N distribuite, a parità di produzione, pari al 15% del totale complessivo. In ogni caso si è considerato che quest'ultima riduzione sia conseguibile solo nelle aziende con appezzamenti con dimensioni elevate (> 5 ha) in quanto in campi di

piccole dimensioni è in realtà improbabile che si venga a trovare una variabilità intra-appezzamento sufficientemente elevata da essere trattata in modo differenziato.

3.4 - Ricerca del punto d'indifferenza economica

Per le diverse tecniche sono stati stimati i potenziali risparmi economici dovuti alla riduzione degli sprechi in funzione delle diverse situazioni aziendali e colturali, dimensionali e di geometria dei campi.

Tab.3.8 -Parametri utilizzati nell'indagine.

PARAMETRI			
AZIENDE	Grandi >50 ha	Piccole <50ha	
GRANDEZZA CAMPI	Grandi >5 ha	Piccoli <5 ha	
COMFORMAZIONI CAMPI	Regolari	Irregolari	
COLTURE	Mais	Riso	Medica

Partendo da questi risparmi e ipotizzando di attualizzare i medesimi al momento di effettuazione dell'investimento (tempo 0) per un periodo pari alla vita utile della tecnologia (stimata a 8 anni) è stato calcolato l'ammontare dell'investimento al punto d'indifferenza economica. Ciò ipotizzando come condizioni al contorno:

- Un tasso d'interesse annuo pari al 2%,
- Un valore di recupero delle attrezzature al momento delle dismissione all'8 anno pari al 20% del loro valore iniziale;
- Delle spese annue di manutenzione pari al 2% del valore a nuovo.

Tali valori sono stati confrontati con quelli che attualmente sono i prezzi di mercato delle diverse opzioni tecnologiche considerate.

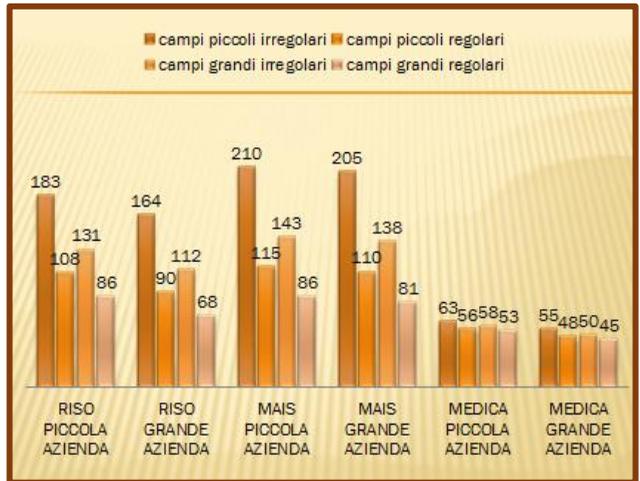
Per far ciò, per le tre opzioni sono stati stilati dei preventivi di massima (per le diverse alternative colturali e dimensioni aziendali) dal listino ARVAtec s.r.l, che rappresenta in Italia la ditta AGleader, la prima a operare nel settore e a fornire un ampio spettro di soluzioni tecnologiche che possono adattarsi a qualsiasi situazione aziendale.

Tali preventivi sono risultati variare in un range di:

1. Opzione 1; 2.000 – 4.000 €

2. Opzione 2; 17.500 – 40.000 €
3. Opzione 3; 27.500 – 50.000 €

Le tre opzioni richiedono un minimo di commento. A parte la prima soluzione dove la differenza tra i due importi, pari 2.000 €, riflette essenzialmente i differenti tipi di monitor che possono essere impiegati; per le opzioni 2 e 3 il gap tra l'importo massimo e minimo è più di 20.000 €. Questo è dovuto essenzialmente alle diverse esigenze tecnologiche necessarie per le diverse tipologie di coltivazione (mais-riso-medica) e i possibili differenti parchi macchine già presenti nelle aziende di partenza.



In particolare, le diverse operatrici per la distribuzione (spandiconcime, barre diserbo, seminatrici) possono a seconda dei modelli già presenti in azienda essere più o meno adatte ad essere trasformate per coprire le esigenze specifiche delle diverse tecniche AP. In particolare le macchine che, indipendentemente dalla adozione delle tecniche AP, dispongono di regolazioni a comando elettrico o elettroidraulico interfacciate con sistemi elettronici (centraline ECU) e/o sono equipaggiate con sistemi di trasmissione dati a codifica secondo standard ISOBUS risultano facilmente interfacciabili con i monitor e gli attuatori che sono disponibili sul mercato. Nel caso invece che le aziende che intendano adottare le tecniche AP dispongano solo di operatrici di concezione meno avanzata (comandi di regolazione puramente meccanici o idraulici) gli interventi di adattamento delle medesime sono molto più onerosi.

4 – Risultati

4.1 - Il costo complessivo degli sprechi per le tre colture considerati

Il costo degli sprechi connessi all'impiego della guida manuale sono riportati in figura 4.1.

*Fig.4.1 - Costo degli sprechi con la guida manuale in €/ ha *anno.*

Come si può notare:

- Essi sono massimi per il MAIS nelle aziende di minore dimensione e in presenza di campi irregolari dove arrivano a superare i 200 €/anno
- Sempre per il MAIS in presenza di aziende di grande dimensione e con campi regolari essi scendono a meno della metà (80 €/anno)
- Il RISO presenta una situazione intermedia con valori variabili in un range da 183 €/anno fino a un minimo di 65 €/anno per la situazione più favorevole
- La medica è una coltura di per sé risparmiata e quindi gli sprechi connessi con la sua adozione sono molto più limitati arrivando a un massimo (media annua su tre anni di ciclo di coltivazione) di 63 €/anno, e a un minimo di 45 €/anno.
- In definitiva, con più le colture sono intensive, con più danno origine alla possibilità di sbagliare e, quindi, con più le tecniche di precisione possono consentire di ottenere dei benefici economici in termini assoluti

Per quanto riguarda gli sprechi in termini di consumo di energia primaria, il loro andamento è riportato in figura 4.2.

Come si può notare essi hanno un andamento analogo a quello visto per gli sprechi economici, per cui valgono le medesime considerazioni generali già fatte a tale proposito. Interessante, però, notare i valori assoluti che sono tutt'altro che irrilevanti per RISO e MAIS, potendo superare i 100 kg_{eq}/ha anno nel caso del mais in campi di piccole dimensioni, e non scendendo mai sotto i

40 kg_{eqp}/ha anno, se non nel caso del riso in grande azienda con campi grandi e regolari. Molto minori, invece, e pari a meno di 1/3, quelli per la MEDICA.

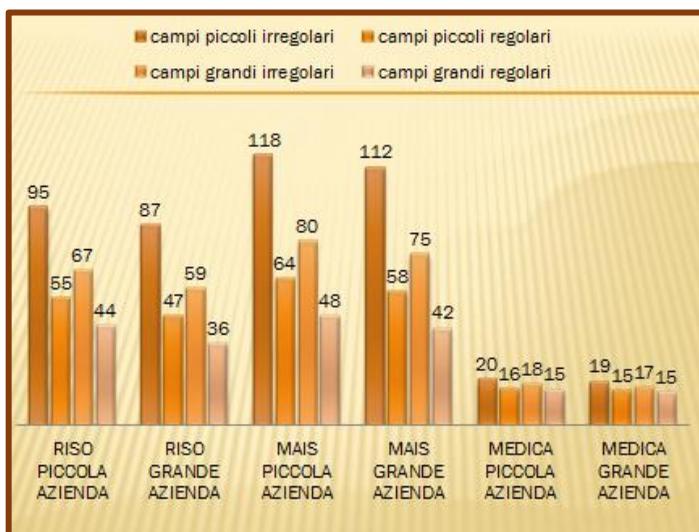


Fig.4.2 - Costo degli sprechi con la guida manuale in kg_{eqp}/ ha *anno

L'andamento degli sprechi annui in termini di emissioni di kg di CO₂ equivalente per unità di superficie, è riportato in figura 4.3.

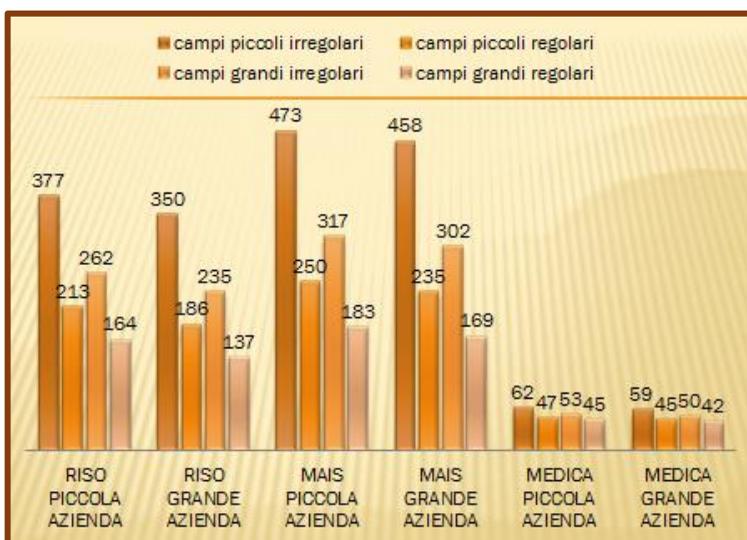


Fig. 4.3 - Costo degli sprechi con la guida manuale in $\text{kgeqCO}_2/\text{anno}$

La differenza tra MAIS e le altre due colture tende a incrementare. Come già accennato, infatti, gli sprechi complessivi di CO_2 dipendono non solo dall'energia primaria consumata in eccesso rispetto alla situazione standard, ma anche dei kg di N distribuiti in eccesso che, per una loro percentuale, si trasformano in N_2O .

4.2 – I risparmi dell'Opzione1 - sostituzione guida manuale con guida assistita

In questo caso, la riduzione degli sprechi risulta essere connessa solamente alla maggiore precisione nel mantenimento delle traiettorie di guida tra una passata e l'altra e, quindi, ai risparmi riconducibili alle mancate sovrapposizioni (fig.4.4).

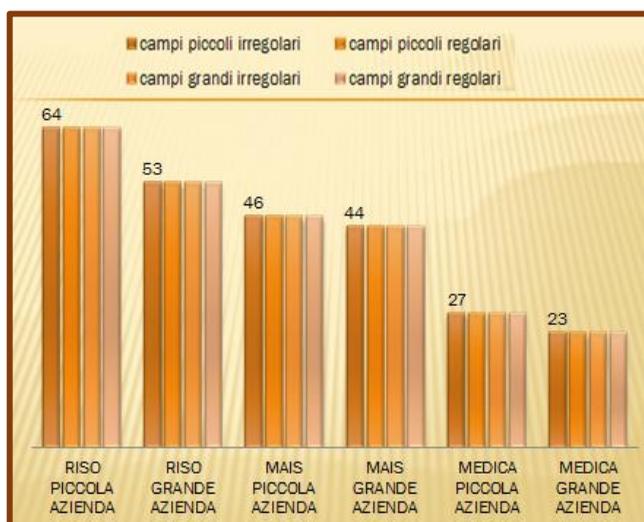


Fig. 4.4 - Riduzione sprechi con guida assistita ($\text{€}/\text{ha}^*\text{anno}$)

La figura evidenzia che la differenza nei valori di riduzione degli sprechi dipende dalla varietà di colture e dalla dimensione aziendale, risultando massima per le aziende piccole dove le larghezze di lavoro degli attrezzi sono minori e le occasioni di risparmio (in termini di numero di passate a parità di superficie) risultano maggiori.

Nessun effetto ha, invece, la forma dei campi in quanto, come accennato, in via prudenziale non è stato considerato nessun beneficio in termini di

riduzione delle sovrapposizioni a fine passata e per ricoprimenti dovuti a non perpendicolarità tra capezzagna e lati maggiori dell'appezzamento.

In definitiva:

- I valori di risparmio maggiore sono conseguiti nel caso del riso laddove, oltre ai risparmi di fattori e di tempo di lavoro del trattorista, si verifica anche una riduzione di manodopera durante le operazioni di semina del riso. Infatti, tradizionalmente per seminare il riso si procede con lo spandiconcime centrifugo con la risaia allagata ed è quindi necessario il ricorso a manodopera non specializzata che, in capezzagna, fornisca riferimento al trattorista in modo che questi possa individuare delle traiettorie "accettabili". I valori per questa coltura passano quindi da un massimo di 60 a un minimo di 50 €/anno;
- Valori di risparmio intermedi (max di 36 e min. di 34 €/ha), invece, si hanno sul mais. Essendo questa una coltura a file, infatti, i benefici del miglioramento delle traiettorie di lavoro si esplicano interamente solo sulle lavorazioni antecedenti la semina, mentre successivamente essendo le traiettorie ormai fissate si ha solamente un effetto che potremmo definire di "trascinamento" degli eventuali percorsi non ottimali realizzati con la semina stessa;
- I valori di risparmio inferiori, infine, si hanno con la medica, dai 26 €/ha anno massimi ai 21 €/ha anno minimi per le aziende di piccola e grande dimensione, rispettivamente. La concimazione limitata al fosforo e al potassio al primo anno e i pochi trattamenti eseguiti rendono limitati i possibili risparmi sugli sprechi.

Partendo da tali valori e calcolando il quadro complessivo della sostenibilità degli investimenti per questa tecnologia di base si ottengono i risultati riportati in tabella 4.1.

Tab.4.1- Costo investimento 2.000-4.000€

SUPERFICIE [HA]	RISO	MAIS	MEDICA
10	4054	2430	1768
20	8108	4860	3536
30	12162	7291	5304
40	16216	9721	7072
50	20270	12151	8840
75	22905	17374	10848
150	45810	34748	21695
225	68715	52121	32543
300	91620	69495	43391
500	152701	115825	72318

Come si può notare, su RISO, la sostituzione della guida automatica con quella assistita è in ogni caso (anche acquistando i dispositivi di maggiore costo) già economicamente vantaggiosa per superfici di 10 ha. Su MAIS e MEDICA, invece, per le superfici minori si deve porre attenzione ad effettuare acquisti mirati e si deve essere sicuri che tutte le operazioni siano effettuate con macchine aziendali (se si ricorre al contoterzismo i vantaggi potenzialmente ottenibili con una maggiore precisione non possono essere computabili). In ogni caso, si può ragionevolmente stimare che sicuramente per superfici maggiori di 20-30 ha, anche con il ricorso al contoterzismo, sia economicamente vantaggioso impiegare nella propria azienda un dispositivo per la guida assistita.

Da un punto di vista energetico i risparmi conseguibili in termini di kg di petrolio equivalente annui per unità di superficie sono riportati in figura 4.5.

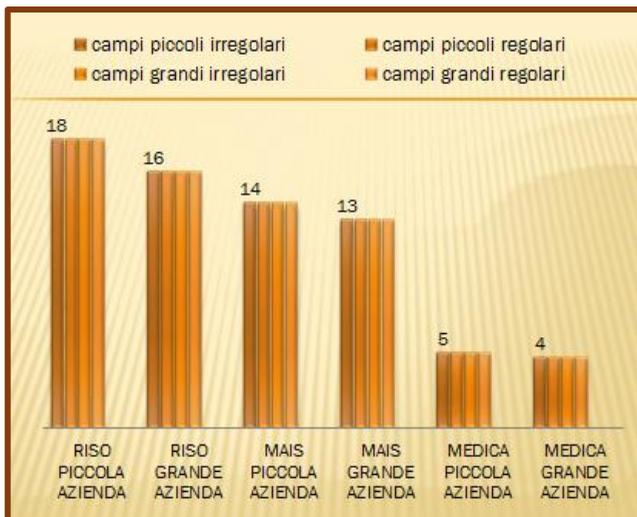


Fig.4.5 - Riduzione sprechi con guida assistita ($kg_{eqp}/ha*anno$)

Il grafico mostra come grazie alla guida assistita vi siano minori differenze tra i diversi casi considerati. Infatti il riso si riavvicina al MAIS, essendo che i relativamente ampi benefici economici di riduzione del costo della manodopera non qualificata durante la semina non comportano da un punto di vista energetico dei risparmi. Per la medica, i risparmi, pari a circa 1/3 rispetto a quelli delle altre colture, sono essenzialmente da imputare alla maggiore precisione di lavoro nei numerosissimi passaggi in campo effettuati durante le operazioni di fienagione e ai conseguenti minori consumi di combustibili e lubrificanti.

In generale, da un punto di vista energetico i maggiori vantaggi si hanno ancora nel caso del riso dove nelle aziende di piccola dimensione con campi ampi e regolari si arriva a risparmiare fino al 42% del totale degli sprechi (risparmio che corrisponde nel caso del riso a circa il 3% dei consumi complessivi). Il mais è in termini relativi quello che risente meno energeticamente dall'applicazione della tecnica, laddove, ed è il caso nel caso del mais in aziende di piccole dimensioni con campi piccoli, si ha una riduzione solo del 12% degli sprechi di energia.

Infine, per quanto riguarda i risparmi in termini di kg di CO_2 non emessa grazie all'applicazione della tecnica, si hanno i valori riportati in figura 4.6.

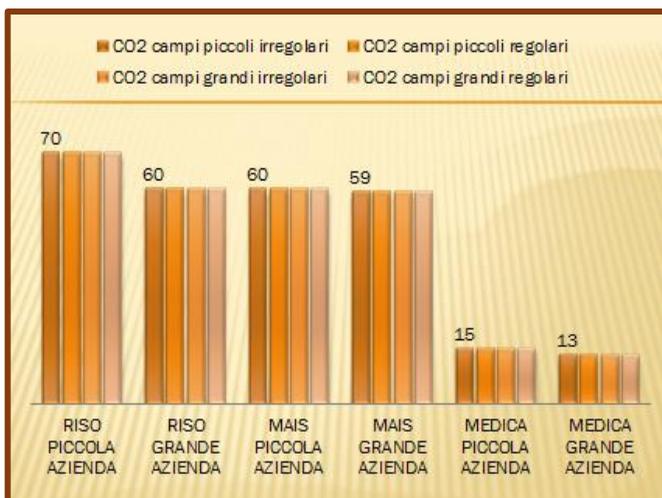


Fig.4.6 - Riduzione sprechi con guida assistita (kgCO₂/ha*anno)

Il vantaggio relativo del RISO si appiattisce a favore del MAIS, mentre la medica risulta molto meno interessata dalla riduzione d'impatto ambientale complessiva. In pratica, questa figura ribadisce quanto detto sopra e cioè che diversi sono i fattori interessati dal risparmio:

- Manodopera e fattori produttivi su tutto il ciclo per il RISO
- Concimi e fattori produttivi specie per la prima parte della coltivazione (prima della semina) per il MAIS
- Combustibili e lubrificanti per la MEDICA

4.3 – I risparmi dell'Opzione2 - sostituzione guida manuale con guida semi-automatica e regolazione delle macchine agricole per evitare le sovrapposizioni in testata

Come descritto, la riduzione degli sprechi risulta in questo caso connessa con:

1. La precisione di guida quasi assoluta conseguibile nel mantenimento delle traiettorie di guida successive tra una passata e l'altra e con i conseguenti risparmi riconducibili alle mancate sovrapposizioni (errore medio considerato di 2 cm);
2. L'automazione delle regolazioni di chiusura a fine passata;
3. La parzializzazione della larghezza della barra sulle ultime passate e a bordo campo in presenza di lati inclinati.

In figura l'impatto di tali risparmi viene quantificato dal punto di vista economico.

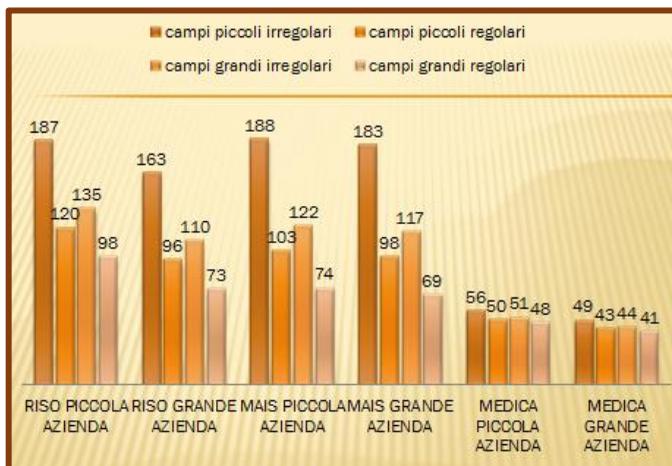


Fig.4.7 - Riduzione sprechi con guida semiautomatica-auto swath (€/ha*anno)

Contrariamente a quanto visto per la guida assistita i valori per le diverse colture non variano solo in funzione della dimensione aziendale, ma anche in ragione della dimensione e forma dei campi.

In definitiva:

- I valori di risparmio maggiore (maggiori di 180 €/ha anno) sono conseguiti nel caso del MAIS su campi di forma irregolare. Questa conclusione richiede un breve commento riguardo alle tecniche applicate. Infatti nel caso del MAIS tra le tecniche considerate vi è quella della semina di precisione con dispositivi di regolazione della deposizione del seme che consentono la chiusura delle singole file in modo da non effettuare mai doppie semine. Questa possibilità, associata a quella della grande precisione di posa (errori di 2 cm sulle traiettorie) consente, al contrario della sola applicazione della guida assistita, di ottenere risparmi di seme che, ovviamente, sono maggiori dove più complessa è la geometria degli appezzamenti. Inoltre, la grande precisione del disegno di semina consente di ottenere un importante effetto di trascinamento sulle operazioni successive che, praticamente, risultano preimpostate in modo ottimale. Così le operazioni di sarchiatura, concimazione e raccolta sono favorite "a priori" dalla applicazione della semina con auto-swath;

- Risparmi molto consistenti si verificano anche su RISO, in special modo dove con le tecniche tradizionali è difficile essere precisi per le ragioni spiegate in premessa. Peraltro, anche in caso di campi regolari i risparmi sono tutt'altro che trascurabili, situandosi nei casi meno favorevoli attorno a una soglia minima di 70 €/ha anno;
- Per la MEDICA, invece, si sta sempre a cavallo di valori di 40-50 €, quindi a livelli notevolmente meno interessanti, in molti casi addirittura inferiori a quelli trovati per RISO e MAIS per la tecnica di guida assistita che, come visto sopra, richiede investimenti di un ordine di grandezza inferiore a quello delle tecniche qui indagata.

In linea generale si vuole comunque riaffermare il concetto che i valori trovati riguardano situazioni di meccanizzazione aziendale integrale. Qualsiasi ricorso a forme di meccanizzazione esterna riduce i vantaggi che si possono conseguire.

Per quanto riguarda la sostenibilità degli investimenti, per il caso del riso sono stati calcolati alle diverse condizioni, i valori d'indifferenza economica indicati nella tabella 4.2.

Tab. 4.2 - Sostenibilità investimento riso 17.500-35.000€

SUPERFICIE [HA]	Campi piccoli irregolari	Campi piccoli regolari	Campi grandi irregolari	Campi grandi regolari
10	12699	8134	9143	6620
20	25398	16269	18287	13241
30	38097	24403	27431	19861
40	50796	32538	36575	26482
50	63495	40672	45719	33103
75	82599	48535	56105	41181
150	165198	97071	112210	74362
225	247797	145606	168315	111543
300	330396	194142	224421	148724
500	550660	323570	374035	247873

A fronte dei limiti d'investimento di 17.500-35.000 € richiesti dalla adozione delle diverse opzioni, l'accumulo al tempo 0 dei benefici dovuti ai risparmi conseguibili, fa intravedere già a dimensioni medio-basse la possibilità di potere rientrare dagli investimenti nel tempo della vita utile delle tecnologie. Infatti, a soli 30 ha, nel caso di aziende risicole di medio piccole dimensioni (>50 ha), con camere di dimensione piccola e di forma irregolare, l'impiego

delle tecniche AP oggetto d'indagine consente di raggiungere un risultato economicamente vantaggioso. Per aziende di dimensione maggiore (con cantieri quindi caratterizzati da larghezze di lavoro maggiori) e con campi ampi tale limite dimensionale praticamente raddoppia (60 ha). In ogni caso, solo le aziende piccole (dimensione inferiore ai 10-20 ha) sono potenzialmente escluse a priori dai benefici dell'introduzione di questo genere di tecnologie. Peraltro, come visto precedentemente, per queste l'opzione della guida assistita rimane comunque valida come investimento entry-level, cioè, come primo passo per acquisire esperienza in argomento in modo da adeguare le proprie conoscenze alle opzioni più avanzate che, non è detto, che col tempo non possano diventare interessanti (magari ricorrendo al mercato dell'usato).

Per il MAIS la situazione è sostanzialmente analoga a quella vista per il RISO (tabella).

Tab. 4.3 - Sostenibilità investimento mais 20.000-40.000€

SUPERFICIE [HA]	Campi piccoli irregolari	Campi piccoli regolari	Campi grandi irregolari	Campi grandi regolari
10	12745	6943	8232	5009
20	25490	13886	16465	10018
30	38236	20829	24697	15027
40	50981	27772	32930	20036
50	63727	34716	41162	25045
75	93213	49650	59367	35191
150	186426	99393	118734	70382
225	279639	149090	178101	105573
300	372852	198786	237468	140765
500	621420	331311	395780	234608

Tuttavia la necessità di adottare componenti in alcuni casi più costosi (come per la semina), fa innalzare l'asticella di entrata di 10 ha in cifra tonda (40-70 ha i limiti inferiori). Peraltro come più volte accennato, a parte, l'evidente necessità di implementare inizialmente il sistema di guida semi-automatica, è proprio l'operazione di semina, in realtà in molti casi assegnata in contoterzi, la discriminante per il successo di questa tecnica e quindi il presupposto per l'ottenimento dei vantaggi calcolati.

Per la MEDICA, infine, le aziende in monocoltura che potrebbero essere potenzialmente interessate all'adozione di queste tecniche sono, nel territorio interessato dalla presente indagine praticamente inesistenti.

Tab. 4.4 - Sostenibilità investimento medica 20.000-40.000

SUPERFICIE [HA]	Campi piccoli irregolari	Campi piccoli regolari	Campi grandi irregolari	Campi grandi regolari
10	3816	3381	3478	3236
20	7632	6762	6958	6472
30	11448	10144	10434	9709
40	15265	13525	13912	12945
50	19081	16907	17390	16182
75	24987	21725	22450	20638
150	49974,80695	42154	44901	41277
225	74962,21043	65177	67351	61915
300	99949,6139	86903	89802	82554
500	166582,6898	144838	149670	137590

Infatti, le superfici d'indifferenza economica si situano oltre i 100-150 ha. Potenzialmente, quindi, la coltura della medica potrebbe usufruire dei vantaggi (magari non tutti, escludendo ad esempio quelli riguardanti la semina di precisione in realtà oltretutto non così fondamentale come nel caso del MAIS e anche difficilmente realizzabile da un punto di vista tecnico se, non ricorrendo a seminatrici a distribuzione pneumatica), qualora questa coltura sia inserita in rotazione con RISO o, più facilmente, con MAIS. Per quanto riguarda gli aspetti energetici dell'applicazione dell'Opzione 2 qui discussa, in figura sono riportati i risparmi conseguibili.

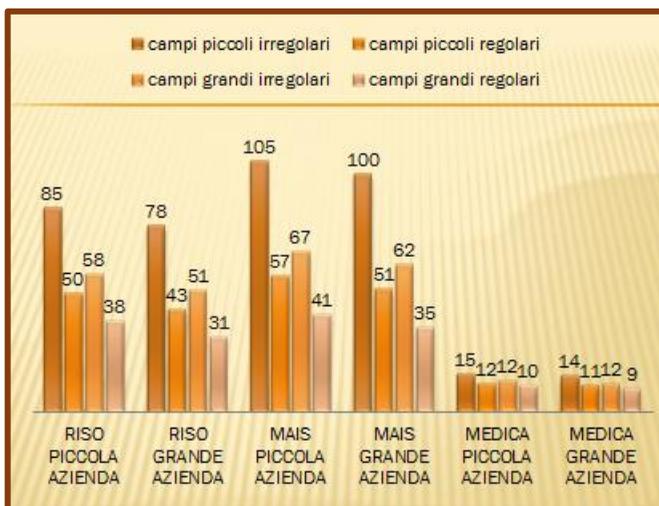


Fig.4.8 – Riduzione sprechi con guida semiautomatica-auto swath ($kg_{eqp}/ha*anno$)

Come si può notare si passa dai 10 kg_{eqp}/ha anno minimi dalla MEDICA ai più di 100 kg_{eqp}/ha anno del mais. Il ciò è spiegabile secondo le logiche più volte sopra richiamate.

Così pure i risultati per quanto riguarda le possibili riduzioni di emissioni GHG, richiamano un quadro già delineato.

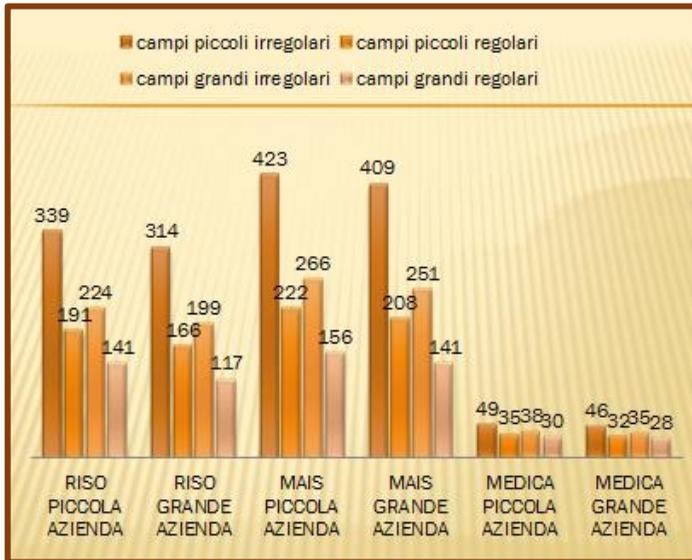


Fig.4.9 - Riduzione sprechi con guida semiautomatica-auto swath (kgeqCO₂/ha*anno)

I potenziali maggiori vantaggi dell'applicazione delle tecniche AP su MAIS rispetto agli analoghi su MEDICA, non solo decuplicano, come nel caso dei soli consumi energetici, ma diventano moltiplicati per quasi 15 volte e sono un 20% superiori anche rispetto a quelli conseguibili con RISO. Pertanto si può affermare che, mentre da un punto di vista economico i maggiori benefici di questa OPZIONE si esplicano su RISO, da un punto di vista energetico e ambientale il MAIS è la coltura che trae il più grande vantaggio.

4.4 – I risparmi dell’Opzione3 – guida manuale sostituita da guida semi-automatica, regolazione auto-swath e trattamento sito-specifico degli appezzamenti

Come sopra illustrato, la riduzione degli sprechi risulta in questo studio è connessa:

1. A tutto quanto già previsto con l’opzione 2;
2. Con in aggiunta le opzioni di misura della produzione, con sensori di pesatura a bordo delle raccogliatrici e del vigore vegetativo a macchine per la distribuzione e realizzazione della concimazione e dei trattamenti secondo tecniche sito-specifiche.

In figura l’impatto economico di tali risparmi viene quantificato dal punto di vista economico e calcolato solo nel caso di appezzamenti di elevate dimensioni (come detto, in quelli di minore dimensione in genere non si verifica una variabilità tale da giustificare l’applicazione di una distribuzione differenziata dei concimi).

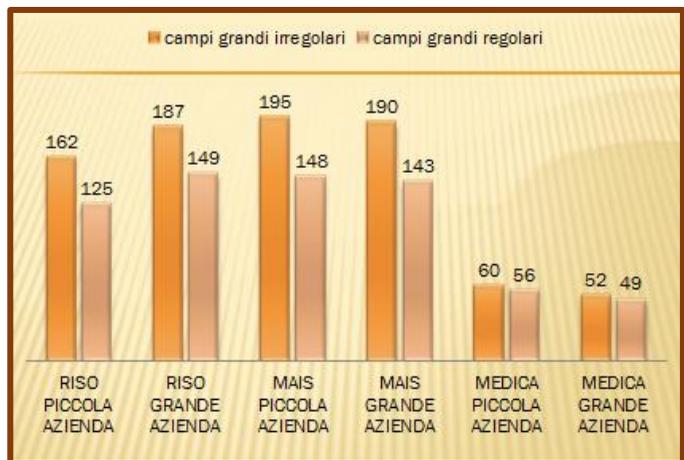


Fig.4.10 - Riduzione sprechi con tecniche più avanzate (€/ha*anno)

In definitiva:

- I valori di risparmio maggiore (superiori a 190 €/ha anno) sono conseguiti nel caso del MAIS su campi di forma irregolare, ma in questo caso, a differenza di quanto visto per l’opzione 2, di dimensione medio grandi. In pratica in questa tipologia di campi i benefici vengono incrementati grossomodo di un 50% (da 120 a 190 €/ha anno). L’effetto geometria dei campi è meno evidente in termini di differenza relativa tra campi regolari e irregolari.

- Risparmi molto consistenti si verificano anche su RISO, in special modo dove con le tecniche tradizionali è difficile essere precisi per le ragioni spiegate in premessa.
- Per la medica, invece, rispetto al caso precedente si sale solo di 10 €/ha anno in cifra tonda arrivando ai 50-60 €. Peraltro, il caso medica è stato qui mantenuto più che altro a titolo accademico in quanto per questa coltura non si possono realizzare mappe di produzione (per mancanza di sensori specifici da montare a bordo delle raccogliatrici) e, non effettuandosi concimazioni azotate in copertura, non è previsto l'impiego di sensori ottici per il rilievo dello stato vegetativo. Quindi come a conclusione del caso precedente questi risultati possono essere impiegati solo per stimare valori medi complessivi aziendali nei casi in cui la medica sia presente in rotazione con MAIS e RISO.

Ancor più in questo caso, rispetto ai precedenti, si vuole comunque affermare il concetto secondo il quale l'applicazione delle complesse tecniche di raccolta dati e la loro conseguente elaborazione possa dare i benefici qui stimati qualora non si ricorra, se non in casi eccezionali di urgenza, al contoterzismo.

Per quanto riguarda la sostenibilità degli investimenti, per il caso del riso sono stati calcolati alle diverse condizioni, i valori d'indifferenza economica indicati nella tabella.

Tab.4.5 - Sostenibilità investimento riso 27.500-45.000€

SUPERFICIE [HA]	Campi grandi irregolari	Campi grandi regolari
10	12649	10126
20	25298	20252
30	37947	30378
40	50596	40504
50	63246	50630
75	82395	63471
150	164791	126943
225	247187	190415
300	329583	253886
500	549306	423144

I maggiori investimenti richiesti da questa soluzione rispetto all'Opzione2 sono compensati dai maggiori benefici in entrata e quindi, le superfici

d'indifferenza economica rimangono sostanzialmente identiche a quelle viste precedentemente e cioè attorno ai 40-60 ha. Sotto i 20 ha, invece, la tecnica sembra non avere appeal. Del resto si può affermare che essa non è stata pensata per gestire superfici di così limitata dimensione, che sicuramente possono essere condotte senza ricorso a complessi sistemi informatici come quelli di cui qui si discute.

Anche per il MAIS il quadro d'insieme risulta sostanzialmente confermato

Tab. 4.6 -Sostenibilità investimento mais 30.000-50.000€

SUPERFICIE [HA]	Campi grandi irregolari	Campi grandi regolari
10	13217	9993
20	26434	19987
30	39652	29981
40	52869	39975
50	66087	49969
75	96753	70877
150	193506	145154
225	290259	217732
300	387012	290309
500	645020	483849

La superficie d'indifferenza è nel peggiore dei casi anche per questa coltura si aggira attorno ai 40-60 ha: i 20 ha di limite inferiore sono riferibili a situazioni tecnicamente difficilmente giustificabili alla luce della complicazione di questa tecnologia.

Infine, il caso della MEDICA non ha bisogno di ulteriori commenti.

Tab.4.7 - Costo investimento medica 25.000-50.000

SUPERFICIE [HA]	Campi grandi irregolari	Campi grandi regolari
10	4033	3792
20	8067	7584
30	12100	11376
40	16134	15168
50	20168	18960
75	26617	24805
150	53234	49610
225	79852	74416
300	106469	99221
500	177449	165369

Per quanto riguarda, invece, le riduzioni dei consumi in termini di energia primaria, i dati di figura confermano il sicuro interesse concreto dell'applicazione di questa tecnica ai fini del risparmio energetico.

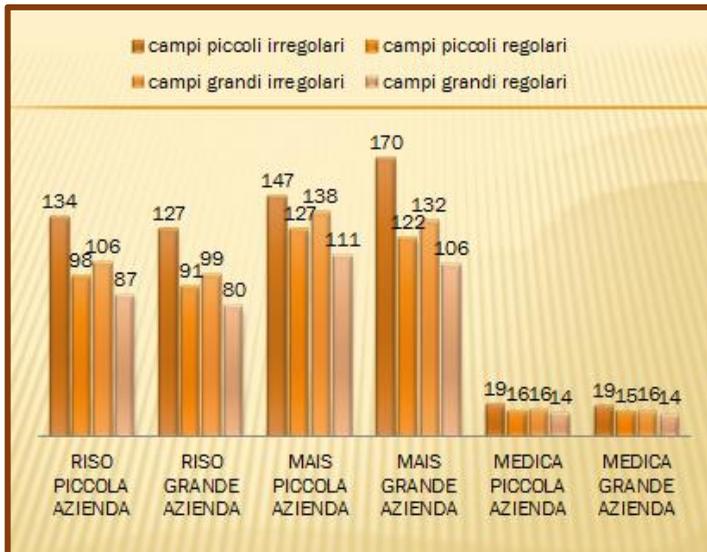


Fig.4.11 - Riduzione sprechi con tecniche più avanzate ($kg_{eqp}/ha*anno$)

Risparmi di questa entità rappresentano per RISO e MAIS la riduzione di una quota del 15-20% rispetto ai consumi energetici attuali, facendo di questa tecnica una delle principali possibilità per il raggiungimento di una maggiore sostenibilità del nostro sistema agricolo a fronte di possibili emergenze dovute ai rifornimenti di energie fossili.

Peraltro, l'opzione di adozione di queste tecnologie deve essere vista favorevolmente anche da un punto di vista ambientale in base ai risultati di riduzione delle emissioni che emergono dalla successiva figura.

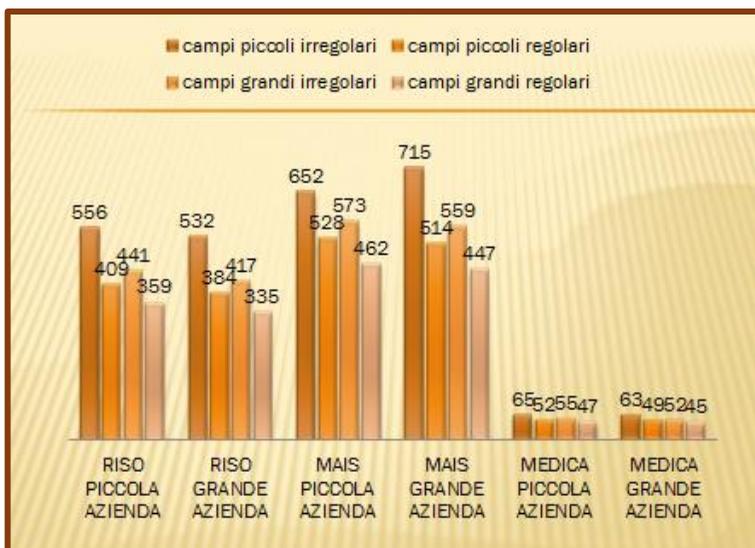


Fig.4.12 - Riduzione sprechi con tecniche più avanzate (kgeqCO₂/ha*anno)

Come si può notare, nei casi più favorevoli del MAIS viene superata la mezza tonnellata di mancate emissioni rispetto alla situazione standard di riferimento. NON è MOLTISSIMO, MA NEPPURE POCO. Ciò tenendo conto del fatto che l'applicazione delle tecniche di AP, nella loro generalità, potrebbe portare a un complessivo miglioramento della gestione del suolo e facilitare il passaggio a tecniche di agricoltura conservativa (ad esempio per il MAIS ridge tillage e sod-seeding) che, per la grande accuratezza che richiedono nella loro applicazione, ancora oggi trovano nel nostro territorio barriere alla loro adozione da parte degli operatori del settore.

4.5 – Valutazione complessiva

I risultati sopra riportati possono trovare una loro sintesi complessiva nelle figure che seguono, di cui la prima si riferisce alla guida assistita. Questa soluzione (non richiedendo un sistema informativo MANAGEMENT INFORMATIZZATO aziendale di supporto, può essere definita come la tecnica entry-level per eccellenza di tutte le tecniche AP) ha incominciato a essere utilizzata in risicoltura nel territorio milanese più di 10 anni orsono, specie per risolvere il problema delle traiettorie di guida durante la semina, attualmente essa è ben conosciuta dai risicoltori che ne stanno apprezzando i vantaggi.

Risulta quindi evidente come l'applicazione di questa tecnologia, all'interno delle nostre aziende risicole, che raramente utilizzano il controterzismo, comporterebbe evidenti benefici di ordine economico, di risparmio energetico e di riduzione dell'impatto ambientale risicole indipendentemente

dalla loro dimensione e dal fatto che esse siano in monocoltura o adottino qualche forma di successione colturale o di rotazione. Ovviamente essa, come vedremo nel seguito, potrebbe essere sostituita da forme più avanzate di tecniche AP.



Fig.4.13 - Risultati analisi guida assistita

Nel caso della MAIDICOLTURA, si riscontrano maggiori problematiche per l'applicazione di questa tecnica. La guida assistita non è di nessuna utilità una volta avvenuta la semina, la quale richiede una particolare accuratezza. Nonostante ciò, i benefici calcolati per l'esecuzione delle operazioni pre-semina fanno intravedere già a livelli dimensionali medio-bassi (> 15 ha) una buona redditività di un suo utilizzo. Ciò deve essere visto con favore anche per i benefici energetici e ambientali che la medesima comporta.

Per quanto riguarda la MEDICA, l'adozione della guida assistita crea beneficio economico con terreni di dimensioni al disopra dei 25 ha. Peraltro, i pratici ben conoscono il minore affaticamento cui vanno incontro quando utilizzano specifiche indicazioni sul monitor piuttosto che seguendo traiettorie stimate durante le operazioni di sfalcio e fienagione. In definitiva, quindi, si può affermare che, a meno di situazioni non professionali, qualsiasi azienda - di qualsiasi orientamento produttivo, anche di piccole dimensioni - possa trovare dei vantaggi nell'adottare la guida assistita.

L'opzione 2, che può essere considerata come l'essenza del Prescription Agriculture, in quanto ricerca la massima omogeneità di trattamento del

suolo, eliminando sovrapposizioni tra passate e nelle testate. Il quadro sintetico dei risultati per le colture studiate è riportato in figura.



Fig.4.14 - Risultato analisi guida semiautomatica

e controllo distribuzione

Per la risicoltura questa tecnica rappresenta la naturale evoluzione della precedente OPZIONE1 per le aziende di dimensione medio-alta, ed è, infatti, in via di diffusione da ormai più di un quinquennio (anche se in alcuni casi con soluzioni parziali). Come indicato in figura, il limite di convenienza si situa attualmente attorno ai 30-50 ha. Ciò non toglie che, anche grazie alla facilità di adozione del suo modulo di base, costituito dalla guida semi-automatica, essa non possa trovare giustificazione anche in situazioni di minore ampiezza. Infatti, tutte le operazioni che sono eseguite con risaia allagata (e tra di esse la semina spicca per importanza), sono enormemente facilitate quando l'azionamento del volante sui tragitti rettilinei è lasciato al controllo automatico. Questo fatto fornisce ad esempio il vantaggio di potere operare anche in condizioni di scarsa visibilità e con operatori poco esperti rappresentando in qualsiasi caso un beneficio in termini di minore fatica e allargamento dei periodi di lavoro. Da non dimenticare sono inoltre i danni dovuti alla mancata precisione di esecuzione delle operazioni di distribuzione oltre che ai grandi sprechi si possono verificare. Ci si riferisce, ad esempio, alla maggiore incidenza delle malattie fungine (in primis il brusone) nelle aree sovraaccimate e alla moria di piantine di riso qualora si abbia sovrapposizione, di diserbi caratterizzati da una limitata specificità. Anche in

questo caso, quindi, i vantaggi della tecnica vanno aggiunti a quelli sopra quantificati da un punto di vista economico relativamente alla sola riduzione degli sprechi. Altresì di fondamentale importanza sono i benefici di tipo energetico e ambientale che dovrebbero giustificare maggiori azioni di comunicazione di queste possibili utilità pubbliche, specie da parte delle istituzioni che si occupano di divulgazione in argomento. Ciò al fine di accelerare un processo di disseminazione delle tecniche in oggetto che comunque sono, di fatto, già in atto.

Per il MAIS l'adozione di tecniche di prescription agriculture non risulta ad oggi percepita con la stessa aurea di miglioramento da parte degli operatori anche se, da un punto di vista economico, le superfici d'indifferenza siano le medesime di quelle già viste per il riso. Alla completa estrinsecazione dei vantaggi si frappone inoltre la metodologia di semina del mais, comunemente operata con seminatrice di precisione, che da sempre fa percepire questa coltura come una coltura di precisione. In effetti, tutte le operazioni in post-emergenza sono vincolate dal rispetto della struttura spaziale, definita con il disegno delle file durante la semina. Quest'ultima-, essendo eseguita con tracciafile meccanici o spumogeni, non ha mai dato gli stessi problemi di esecuzione della semina del riso in risaia allagata senza riferimenti. Inoltre, il mais è stata anche denominata una pianta "MOSTRO" in quanto se, non si trova in situazioni di carenza di acqua, ha capacità di adattamento a eccessi di azoto molto superiori a quelli del riso. Va anche ricordato che nei casi in cui le aziende siano legate alla zootecnia, è molto frequente è l'impiego di concimazioni organiche che, per le modalità con cui vengono eseguite, sono per antonomasia il contrario di quanto si può definire come "dosaggio omogeneo" della concimazione. Da questo ne si deduce che raramente le sovrapposizioni di concimazione sono considerate come pericolose. Peraltro, i crescenti prezzi dei concimi impiegati (sia per la fertilizzazione inorganica, sia per quella integrale, essi si riflettono per più di 1/3 sul totale dei costi colturale e, per il 70% vengono sostenuti in pre-semina), dovrebbero fare meglio riflettere gli operatori su un possibile risparmio di questi fattori. Si capisce come la percezione del problema della precisione sia essenzialmente legata alle operazioni di semina e come queste possono essere vantaggiosamente risolte, con un effettivo incremento dello stato dell'arte, solo impiegando, oltre alla guida automatica, sistemi di controllo dei singoli distributori pneumatici di precisione che, come tali, hanno un costo d'investimento iniziale che rappresenta una barriera all'entrata notevole. Inoltre, per struttura aziendale, qualora il mais non sia in

successione con il riso, in genere viene raccolto da contoterzisti che, grazie alla loro specializzazione, effettuano per le aziende anche l'operazione di semina. Si assiste cioè a un certa disattivazione tecnologica delle imprese agricole (che può variare di anno in anno in funzione delle disponibilità o meno di concimazione organica e/o delle necessità di adattarsi ai mutevoli andamenti climatici) e alla decrescita di interesse da parte degli operatori in alcune funzioni di controllo oltremodo importanti per acclarare i vantaggi delle tecniche di AP qui considerati. Nonostante ciò i vantaggi energetici e ambientali che si otterrebbero dalla applicazione delle tecniche in oggetto, proprio per il fatto che la coltura è sicuramente quella che fa maggiore uso di fattori potenzialmente pericolosi per l'ambiente, potrebbero avere un sicuro impatto di interesse pubblico. Ciò in ragione anche del fatto che una buona parte dei prodotti di questa coltura è, nel milanese, destinata agli impianti di produzione di energia rinnovabili che, per definizione, dovrebbero essere eco-compatibili (si immagina che il sovrapprezzo pagato per l'energia prodotta sia pagato dai consumatori proprio per quello). In ogni caso, considerando tutti i fattori qui riassunti si è del parere che la diffusione di queste tecniche, seppure vantaggiosa per gli operatori già a superfici dello stesso ordine di grandezza di quelle viste per il riso, avverrà con minore velocità e, in molti casi, specie dove le colture sono praticate in rotazione, più per emulazione di quanto sta avvenendo nel riso, che non per una scelta ben precisa.

Per la medica, sicuramente questa coltura ricava benefici in termini di incremento dell'efficienza delle operazioni di sfalcio e di fienagione, ma stante le sue basse esigenze in termini di concimazione e diserbi nessun operatore di questo settore si lascerebbe affascinare dalle tecniche di precision agriculture alla ricerca di qualche effetto che possa tramutarsi in maggiore reddito. Per questa coltura le ragioni per le quali investire in queste soluzioni possono perlopiù essere di tipo organizzativo (maggiore tempestività nell'eseguire le lavorazioni di campo, possibilità di impegno di manodopera non particolarmente specializzata, maggiore facilità a garantirsi la tracciabilità delle operazioni e, quindi, ad organizzare la logistica).

Si tratta comunque di esigenze che appaiono slegate da quelle del territorio oggetto di indagine, ma che potrebbero ritrovarsi in grandi aziende che si occupano della raccolta della medica in coltura specializzata per avviarla alla disidratazione.

Per la situazione locale, quindi, l'adozione di queste tecniche può avvenire laddove la medica entra in rotazione con le altre colture sopra indicate.

Infine, per quanto riguarda le tecniche dell'opzione3, cioè quella più legata ai concetti di site specific agriculture e che più abbisogna di sistemi di MANAGEMENT INFORMATIZZATO adeguati e di decisioni di tipo direttivo a elevato grado di complessità, il quadro di sintesi generale è rappresentato in figura.



Fig.4.15 - Risultate analisi massime tecniche AP

Anche in questo caso appare come il settore della risicoltura sia nel nostro territorio in anticipo rispetto a quello maidicolo e della foraggicoltura specializzata.

Alcune soluzioni di sistemi integrati di site specific agriculture sono in fase di introduzione sul territorio.

Purtroppo questa tecnica richiede, per essere applicata correttamente, di alcuni anni di raccolta dati per potere poi elaborare su base storica le indicazioni prescrittive alle quali associare le tecniche di campo di applicazione differenziata dei fattori. Quindi la sua diffusione sottostà al tipico modello di adozione delle innovazioni nel settore agricolo che prevede che vi siano degli early-adopters (cioè gli agricoltori leader nel settore) che la impiegano per primi. Questi innovatori sottostanno a una fase di attento monitoraggio da parte della maggioranza più conservatrice degli agricoltori. Solo al termine di questo monitoraggio e a fronte di un giudizio positivo questi ultimi, che sono la parte numericamente più cospicua, si rivolgeranno al mercato per innovare anche le loro pratiche.

Per il mais il discorso è ancora più agli inizi.

Per la medica, vale quanto sopra, l'adozione di questa tecnica ha per il momento senso solo nelle aziende multicolturali.

5 – Conclusioni

Da questo studio emerge come la maggiore intensività delle culture comporti un maggior margine di errore. Gli sprechi che sono connessi a questi errori possono arrivare fino al 30% dei costi variabili di produzione con effetti, non trascurabili, sull'impatto energetico e ambientale delle coltivazioni.

Purtroppo l'entità di questi sprechi, per il fatto che le metodiche di registrazione degli eventi e di analisi dei costi a oggi adottate nella maggior parte delle aziende agricole sono assolutamente carenti, è difficile da stimare da parte degli operatori. L'introduzione delle tecniche di agricoltura di precisione è intersecamene legata alla percezione dell'entità di questi sprechi da parte degli agricoltori: risulta quindi di fondamentale importanza mettere di fronte agli operatori del settore i numeri relativi a questi sprechi, calcolati come ore di lavoro, fertilizzanti, sementi, diserbanti, combustili e lubrificanti che vengono oggi usati senza una reale necessità tecnica. L'adozione delle diverse tecniche di AP - che, a complessità tecnologica crescente, consentono di ridurre fino ad azzerare quasi completamente tali sprechi - trova ampia giustificazione economica, energetica ed ambientale proprio grazie ai risparmi conseguibili riducendo l'impiego di fattori inutili ai fini produttivi, se non, in alcuni casi addirittura dannosi. In un territorio, come quello milanese, sede della prossima EXPO che fa proprio della sostenibilità delle produzioni primarie la sua parola d'ordine, l'incentivazione di una adozione di queste tecniche risparmiatrici, anche solo attraverso una maggiore opera di divulgazione, potrebbe portare a un grande riavvicinamento tra mondo agricolo-rurale e mondo cittadino. Con ciò facendo percepire ai consumatori che i prodotti di qualità, altamente tracciabili rispetto alla loro provenienza e sostenibili non necessariamente derivano dall'applicazione di tecniche tradizionali (come purtroppo viene ad oggi percepito dalla maggior parte dei appartenenti al mondo non rurale, vedi a esempio il successo di pubblicità del tipo di quella del MULINO BIANCO), ma anche, e soprattutto, grazie all'adozione delle tecnologie elettroniche ed informatiche più innovative. Un tale risultato comporterebbero il beneficio non secondario di portare il settore agricolo a un grado di evoluzione tecnologica comparabile con quello dei altri settori operanti nel territorio milanese, in cui le tecniche di management siano al passo con i tempi, permettendo allo stesso di raggiungere un grado di competitività adeguato a potere confrontarsi con le altre agricolture del mondo occidentale più avanzato.

6 – Bibliografia

AAVV – **Il bilancio economico dell'azienda risicola** (2013). Camera di commercio di Vercelli – Collana i quaderni n.8. http://images.vc.camcom.it/f/studiestatistica/46/4698_CCIAAVC_1022014.pdf

Bonera R., Lazzari M., Mazzetto F. (2005). **MaccAgri.Soft: Database di macchine agricole e software per il calcolo dei costi di esercizio [risorsa elettronica]** - Torino : Reda Edizioni, 2005. - ISBN 8883610687 - Modalità di accesso: World Wide Web. URL: www.redaedizioni.it.

F. Mazzetto (2002). **Viticultura tra management informatizzato e agricoltura di precisione** – L'Informatore Agrario, 13, pag.9-19, Verona

Lazzari M., Mazzetto F. (2005). **Prontuario di meccanica agraria e meccanizzazione**. pag 1-222 - ISBN: 88-8361-077-6. Reda Edizioni Torino

Lazzari M. (2006). **Il controllo della macchine agricole mediante GPS. Sta in: L'agrimensura ai tempi del GPS: dal rilievo topografico alla guida automatica** - Quaderni dei Georgofili 2005-X, Società Editrice Fiorentina, pp.69-147

Tamagnone M., Balsari P., Marucco P. (2003). **Use and performance of electronic devices in machinery for rice cultivation in Italy** - XXX CIOSTA-CGR V CONGRESS PROCEEDINGS, Turin, Italy September 22-24, 2003, volume 2 pp. 691-699.

