



CAMERA DI
COMMERCIO
MILANO

“Impiego dei sensori ottici per il miglioramento della sostenibilità della produzione di riso attraverso una concimazione azotata mirata”



Gennaio 2012- Febbraio 2015

Opuscolo realizzato con la collaborazione di Coldiretti Milano, Lodi e Monza Brianza, Università degli Studi di Milano (Dipartimento Vespa), Arvatec S.r.l., con contributo dalla Camera di Commercio di Milano (progetto “RISO-DRONE”).

A cura di: Massimo Lazzari, Ambra Longoni, Ernesto Beretta, Giuseppe Sarasso, p 60, © 2015 Consorzio Carne Bovina.

ISBN 9788894072204

ISBN-A 10.978.88940722/04

Sommario

1 - Premesse	3
2 – Stima della fertilità e ottimizzazione della distribuzione dell’N tramite l’impiego di mappe di produzione alla raccolta.....	5
2.1 - Sensori di misura delle rese.....	6
2.1.1 - Sensore ottico.....	7
2.1.2 - Rotore a palette.....	7
2.1.3 - Detector a raggi gamma	8
2.1.4 - Cella di carico.....	9
2.1.5 - Rilevatore a impatto (piastra curva con cella di carico) ..	9
2.1.6 - Condensatore (costante dielettrica).....	10
2.1.7 - Sensore piezoelettrico.....	11
2.1.7 - Considerazioni sui sensori	11
2.2 - Software	12
3 – Impiego dei sensori ottici nella differenziazione delle concimazioni di copertura	17
3.1- Funzionamento dei sensori ottici.....	21
3.2 - Gli indici di vigore	28
3.3 - Le modalità di rilievo	31
3.3.1 - Rilevamento da remoto (Remote sensing).....	32
3.3.2 - Rilevamento da terra (Near sensing).....	33
3.3.4 - Considerazioni sui sensori near sensing.....	39
3.4 – Relazione tra indici ottici ed esigenze di concimazione	39

3.4.1 - Stima della produzione potenziale in base a modelli algoritmici di crescita.....	40
3.4.2 - Stima della concimazione in base a prove agronomiche parcellari classiche.....	41
3.4.3 - Scelta soggettiva dei valori minimi e massimi di fertilizzazione in base a N-rich strip.....	44
3.4.4 - Scelta soggettiva dei valori minimi e massimi di fertilizzazione in base a rilievi in campo dell'indice di vigore...	46
4 – Risultati di alcune esperienze	47
5 – Possibile impiego dei droni per la mappatura dei valori di vigore.	53
6 - Conclusioni	57
BIBLIOGRAFIA	58

1 - Premesse

Per il riso, la dose ottimale di azoto (N), che garantisca una sua utilizzazione economicamente efficiente e ambientalmente sostenibile, cambia radicalmente da un anno all'altro.

L'azoto è fondamentale nella coltivazione del riso. Nelle fasi giovanili l'N viene assorbito in forma ammoniacale e dalla differenziazione della pannocchia anche in forma nitrica. Esso favorisce l'accestimento, il numero di semi della pannocchia, l'altezza della pianta, il peso dei semi e il contenuto proteico.

Per contro, un eccesso di questo elemento aumenta il rischio di allettamento, di sterilità fiorale, la sensibilità alle basse temperature e in generale verso tutti i patogeni, in particolare al brusone.

Grandissima importanza assume la forma di concime distribuita in quanto quella nitrica o nitro-ammoniacale è da escludere perché troppo solubile. In particolare, buona norma è l'impiego in pre-semina di fertilizzanti a lenta cessione che, oltre a fornire i nutrienti necessari alla coltura a livello stagionale, tendono a incrementare la fertilità del suolo su base pluristagionale.

Classicamente le dosi di azoto distribuite nelle coltivazioni del riso, nella realtà milanese, e più in generale lombarda, variano molto secondo la varietà, la natura del terreno, la coltura precedente, etc.

In termini medi si può dire che, anche in ragione del continuo incremento delle produzioni medie e, quindi delle asportazioni, è pratica corrente distribuire 150 kg/ha di N che sempre più spesso diventano 200 nel caso delle situazioni a coltivazione più intensiva.

In passato la ripartizione della concimazione si effettuava in due fasi, con il 60-70% distribuito in pre-semina e la restante quota in copertura, a fine accestimento-inizio levata.

Con l'affinarsi delle tecniche colturali e l'incremento delle produzioni, la quantità di concime distribuito in pre-semina è rimasta in termini assoluti costante (attorno ai 50-80 kg), mentre sempre maggiore importanza, ha assunto la concimazione in copertura maggiormente adatta a soddisfare in termini tempestivi

le esigenze di crescita. Così a fianco della concimazione in epoca fine accestimento-inizio levata è sempre più facile trovare una ulteriore concimazione alla fase di differenziazione della pannocchia, arrivando quindi alla suddivisione della concimazione complessiva in 3 quote pressoché equivalenti. Ciò con l'evidente obiettivo di raggiungere delle efficienze di asportazione dell'N sempre più elevate allo scopo di aumentare la redditività della coltura e diminuire l'impatto ambientale.

Tuttavia, ancora oggi, la pratica colturale convenzionale continua a basarsi sull'applicazione nella medesima camera della medesima dose anno dopo anno. E' assolutamente chiaro a ogni agricoltore che le sue produzioni non sono uguali di anno in anno e cambiano da una parte all'altra della camera ma, non è sentire comune che di conseguenza, l'efficienza delle dosi d'azoto distribuite è variabile nel tempo e nello spazio e che ciò comporta degli sprechi che si riflettono sia sulla redditività, sia sull'impatto ambientale. Il modo più efficiente per ottimizzare il responso delle dosi d'azoto distribuite in copertura è quello di effettuare misure sulla coltura che siano in grado di prevedere, con una relativa sicurezza, la produzione ottenibile al momento della raccolta nelle diversi parti della camera e di adattare le dosi distribuite alle conseguenti prevedibili asportazioni. Tuttavia, per fare ciò, è necessario avere a disposizione strumenti di misura e procedure in grado di stimare tali produzioni in modo sufficientemente affidabile.

Proprio per le ragioni di cui sopra si è detto, l'attenzione dei ricercatori e dei pratici si è recentemente concentrata sulle tecniche di agricoltura di precisione che, relativamente agli aspetti di gestione della concimazione, hanno proprio quest' obiettivo: aiutare l'agricoltore a prevedere la variabilità temporale e spaziale delle proprie produzioni in modo da adeguare temporalmente e spazialmente le quantità distribuite.

Ormai relativamente conosciuto e consolidato è l'approccio che prevede di mappare la resa al momento della raccolta in modo da potere poi adottare tecniche di concimazione differenziate che, adeguando le dosi distribuite in presemina, abbiamo come obiettivo quello di stabilizzare la produzione nelle diverse parti delle camere a fertilità differente.

Meno conosciuta è invece la tecnica che prevede l'impegno di sensori ottici in grado di misurare gli indici di vigore durante la stagione di crescita (mediante misure d'impronte spettrofotometriche che determinano indici come l'NDVI ed l'NDRE) e di fornire una previsione abbastanza accurata delle quantità di azoto asportate e, di conseguenza, del vigore vegetativo. Quest'ultimo, infatti, è un parametro delle colture che permette di effettuare una stima anche della produzione alla raccolta. Impiegando tali sensori è possibile avvicinarsi alla determinazione della dose ottimale di N da distribuire in copertura, massimizzando l'efficienza di distribuzione (Nitrogen Use Efficiency (NUE)) e, di conseguenza, il reddito ottenibile dalla coltura.

In termini generali i due approcci sono in genere adottati in modo complementare, anche grazie al fatto che alcuni componenti tecnologici impiegati per realizzare le due tecniche (DGPS, software gestionali in grado di produrre mappe, spandiconcime a rateo variabile) sono in pratica comuni.

2 – Stima della fertilità e ottimizzazione della distribuzione dell'N tramite l'impiego di mappe di produzione alla raccolta

Il primo passo, che in genere si compie sul riso per applicare tecniche di fertilizzazione azotata sito-specifica, è quello di adottare la tecnica di agricoltura di precisione basata sulla creazione di mappe di produzione alla raccolta. Per ricavare queste mappe è

necessario che la mietitrebbiatrice sia dotata di sensori per la misura della resa e di DGPS in grado di determinare, contemporaneamente ai dati produttivi, la posizione della macchina in campo.

Detto ciò, le mappe produttive si ottengono impiegando sulla mietitrebbia oltre che gli specifici sensori cui si è accennato, anche computer e software di bordo e software di elaborazione dei dati su un server fisso aziendale. Partendo dalle mappe così ottenute si creano successivamente ulteriori e più semplificate mappe di prescrizione che, integrando l'informazione ottenuta dall'elaborazione dei dati di campo con la conoscenza della tecnica agronomica, suddividono le camere in aree caratterizzate da differente fertilità nelle quali andare a concimare con dosi differenti.

2.1 - Sensori di misura delle rese

Tra i numerosi tipi di sensori applicati alle più recenti mietitrebbiatrici, quelli di resa hanno avuto una particolare attenzione da parte dei costruttori perché, probabilmente, il parametro controllato è quello che meglio fornisce un'informazione immediata sull'entità del lavoro della macchina. Spesso, inoltre, per monitorare la resa non si utilizza un unico sensore ma, un sistema che coinvolge anche altri strumenti (in genere deputati alla misura dell'umidità del prodotto), allo scopo di ottenere una valutazione più precisa anche in condizioni operative non ottimali.

I sistemi per la misura della resa sulle mietitrebbiatrici si possono classificare in:

- diretti: il flusso del prodotto viene in contatto con un elemento sensibile. L'elemento fornisce un segnale che è diretta funzione dell'intensità del parametro rilevato, di solito in termini di:

- a) Massa (oppure peso);
- b) Volume (si misura la portata volumetrica);

- indiretti: si misurano vari parametri che possono essere messi in relazione con la quantità del raccolto (vibrazioni a seguito d’impatto, intensità luminosa, di radiazione, ecc.).

2.1.1 - Sensore ottico

Tramite una fonte di luce monocromatica, viene misurato il livello di riempimento delle camere dell’elevatore che trasportano la granella pulita al serbatoio della mietitrebbiatrice (figura 2.1). In funzione del grado di riempimento di ogni paletta, si originano tempi di alternanza differenti di luce/buio, che vengono correlati alla portata volumetrica di prodotto. Sono spesso presenti anche sensori per la determinazione in continuo della densità e dell’umidità, per convertire il dato volumetrico in massa raccolta. Su terreno in pendenza, si utilizzano sensori angolari per compensare l’imprecisione dovute allo scivolamento laterale della granella. In condizioni ottimali, se associato a un sensore d’umidità, si possono ottenere misure con errori di $\pm 3\%$.

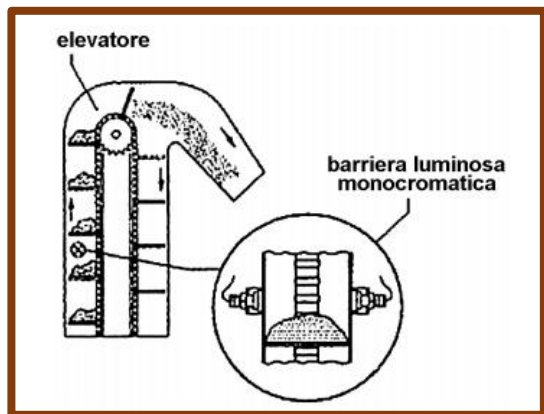


Fig. 2.1 - Schema di funzionamento e vista

2.1.2 - Rotore a palette

Un rotore a palette, posto all’uscita dell’elevatore, si muove in funzione dell’intensità di flusso della granella; il volume raccolto è calcolato moltiplicando il volume fisso tra una paletta e quella adiacente per i giri di rotazione (figura 2.2). Integrando i dati con quelli di umidità del prodotto, si possono ridurre gli errori a $\pm 5\%$. E’

comunque necessaria una calibratura manuale della densità del raccolto, da pre-programmare nel calcolatore della resa.

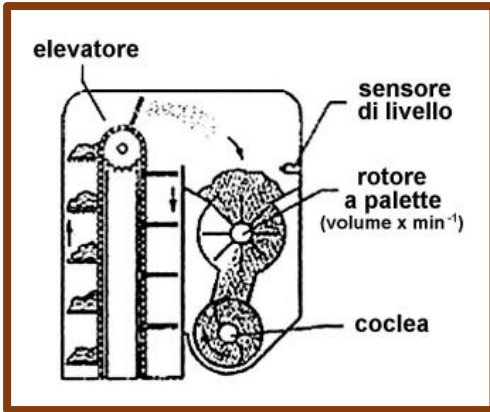


Fig.2.2 - Schema di funzionamento di un sensore di resa con rotore a palette

2.1.3 - Detector a raggi gamma

Un complesso generatore-ricevitore di radiazioni a bassissima intensità è collocato sul percorso del prodotto: l'entità dell'assorbimento dei raggi gamma, dovuta alla presenza della granello, viene misurata dal detector (figura 2.3). La portata è quindi in funzione dell'intensità del segnale captato. Un sensore di umidità integra l'informazione, per ottenere letture con errore massimo dell'± 1 %.



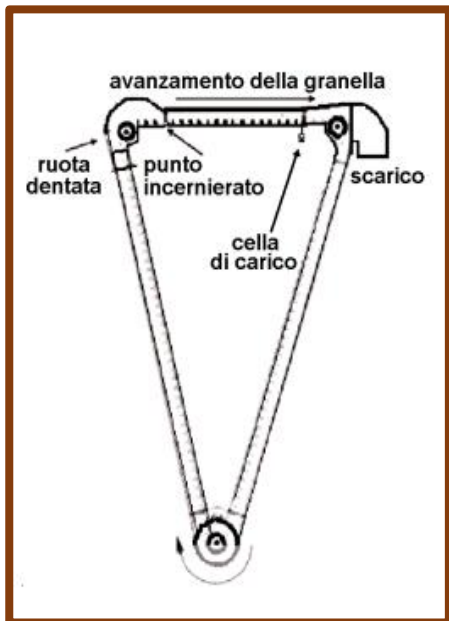
Fig.2.3 - Schema di funzionamento di un sensore di resa con detector a raggi gamma

2.1.4 - Cella di carico

Nell'elevatore viene aggiunta una ruota dentata supplementare, distanziata di circa un metro da quella preesistente. Si forma pertanto un braccio orizzontale, incernierato all'ingresso della granella, che agisce come una "sezione attiva", rilevando in continuo il peso del prodotto che scorre (fig. 2.4).

All'estremità del braccio sensibilizzato, è collocata una cella di carico, che misura la forza di compressione prodotta dal peso della granella. La precisione dichiarata è del $\pm 5\%$.

Fig. 2.4 - Schema di funzionamento di un sensore di resa a cella di carico



2.1.5 - Rilevatore a impatto (piastra curva con cella di carico)

La granella impatta su una piastra curva, posta all'estremità superiore dell'elevatore. La piastra è isolata meccanicamente dalla mietitrebbiatrice, in modo che le forze incidenti siano proporzionali solo alla portata, misurata in termini di peso, senza interferenze. La piastra può ruotare intorno ad un asse; il trasduttore di forza misura quindi il momento e, in relazione ad un braccio fisso, si ricava la forza (figura 2.5). Il sensore può essere utilizzato per ogni tipo di raccolto, senza ricalibratura di base. Uno dei vantaggi quindi è che il

sensores deve essere calibrato una sola volta per stagione. Per i sistemi più recenti si ha un errore massimo del 3%.

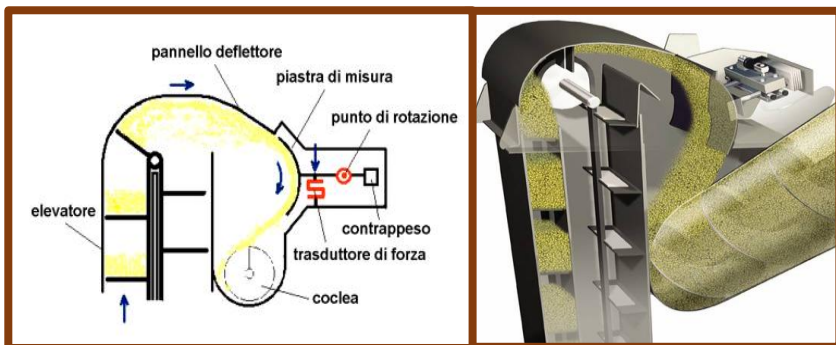


Fig. 2.5 - Schema di funzionamento di un sensore di resa a piastra curva con cella di carico

2.1.6 - Condensatore (costante dielettrica)

Viene misurata la variazione della costante dielettrica che si verifica in una miscela aria/granella all'aumentare della quantità del cereale presente. In pratica, è costituito un condensatore, di tipo cilindrico, posto al termine della coclea di scarico (fig. 2.6). La costante dielettrica aumenta all'aumentare della quantità di granella, poiché il valore tipico dell'aria è molto prossimo a quello del vuoto, che fa da riferimento ($= 1$).

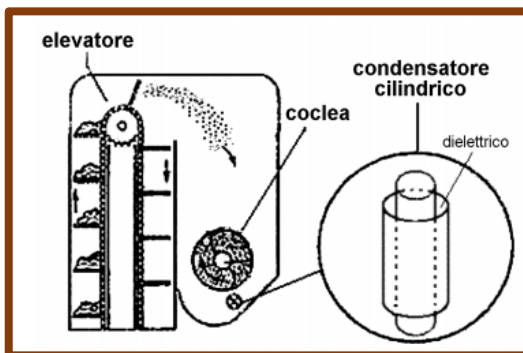


Fig. 2. 6 - Schema di funzionamento di un sensore di resa a condensatore

2.1.7 - Sensore piezoelettrico

Il sensore converte tipicamente forze di trazione, compressione o taglio in un segnale di carica elettrica. Ha un'eccellente risposta ai fenomeni dinamici, dovuta alla sua bassa inerzia e all'elevata rigidità degli elementi che lo compongono (figura 2.7). E' molto robusto e di ridotte dimensioni; risulta però sensibile all'umidità e alla temperatura.

Quest'ultima può essere compensata mediante l'utilizzo di amplificatori con caratteristica termica opposta.

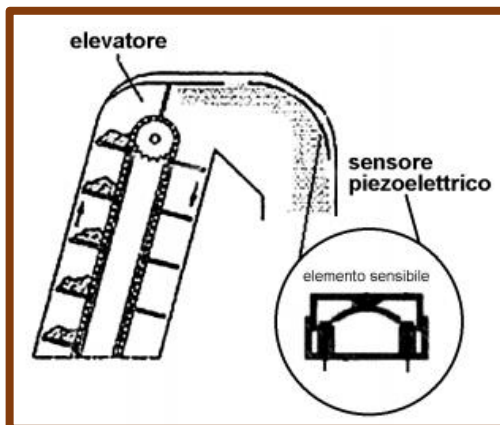


Fig. 2.7 - Schema di funzionamento di un sensore di resa piezoelettrico

Sulle mietitrebbiatrici, si possono monitorare sia la forza sia la pressione: nel primo caso la sollecitazione viene applicata direttamente sul cristallo, nel secondo viene frapposto un diaframma per convertire la pressione in forza.

2.1.7 - Considerazioni sui sensori

Benché siano disponibili le diverse soluzioni sopra riportate, quella che impiega sensori a cella di carico a impatto risulta essere la più semplice e affidabile. E', infatti, sufficiente tarare questo sensore all'inizio della campagna sulle diverse varietà da raccogliere, questo permette di avere dei risultati affidabili per l'intera campagna. Il sensore di misura del flusso di prodotto tal quale deve essere abbinato a un sensore di umidità per potere poi rendere confrontabili sulle mappe di produzione i dati in termini di prodotto secco o a una determinata umidità di riferimento. 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.

2.2 - Software

I sensori montati a bordo della mietitrebbia sono collegati a un Monitor che è a tutti gli effetti un computer di bordo in grado di leggere non solo i dati dei sensori sopra richiamati, ma anche quelli di altri sensori installati a bordo dell'operatrice. Il servizio installato nel Monitor opera come Virtual Terminal, adottando la logica delle reti CAN-ISOBUS, ed è in grado di raccogliere e dare una prima elaborazione dei dati raccolti e di altri parametri di funzionamento della mietitrebbiatrice indicando in tempo reale all'operatore alcune delle prestazioni della macchina che sta impiegando.

A fine lavoro i dati vengono trasferiti (via Wi-Fi o tramite supporto di memoria di massa) su un server aziendale dove, subiscono una elaborazione più raffinata. Questa è tesa a eliminare alcuni errori che si verificano durante la raccolta dati imputabili a:

- I tempi di ritardo tra taglio del prodotto e la sua reale misurazione da parte del sensore posto sulla macchina;
- La posizione dell'antenna del sensore DGPS sulla macchina, posizione che deve essere controllata in modo da riportare la misura di posizione ottenuta dal sensore in corrispondenza della barra di taglio (off-set);
- Il modo con cui opera il sensore di misura dell'umidità. A seconda della sua tipologia e del tipo di prodotto esso presenta errori sistematici più o meno rilevanti che, proprio per la loro sistematicità, possono essere eliminati attraverso opportuni algoritmi;
- La modalità di calcolo dell'area complessiva della camera. Dato che la macchina rileva la sua produzione media in base alla larghezza della barra moltiplicata per la distanza percorsa,

eventuali passate a barra non piena devono essere rilevate a mezzo di appositi sensori e impiegate per determinare analiticamente la reale superficie lavorata. E' anche buona norma che le misure ottenute siano poi confrontate con mappe catastali o altro per evitare errori grossolani;

- Le dimensioni delle aree della griglia di dati sottoposte a rilevamento e ad elaborazione statistica. Modificando la dimensione di queste aree si possono ottenere poi mappe di prescrizione molto differenti. Ciò deve essere poi correlato alla tipologia di macchine che vengono impiegate nella distribuzione. E' a esempio inutile avere aree unitarie troppo piccole quando i tempi di apertura e chiusura della luce di tramoggia dello spandiconcime non sono istantanei. Se s'impiegano parcelle troppo piccole, si corre il rischio che, prima di avere completato la regolazione del concime sull'area identificata, lo spandiconcime si trovi già in un'altra parcella;
- L'abilità del conducente. Per il modo di operare dei sensori, repentine variazioni della velocità di avanzamento possono provocare scompensi nella registrazione dei dati in campo.

Tenuto conto di ciò, si disegnano al computer mappe come quella riportata in figura 2.8.

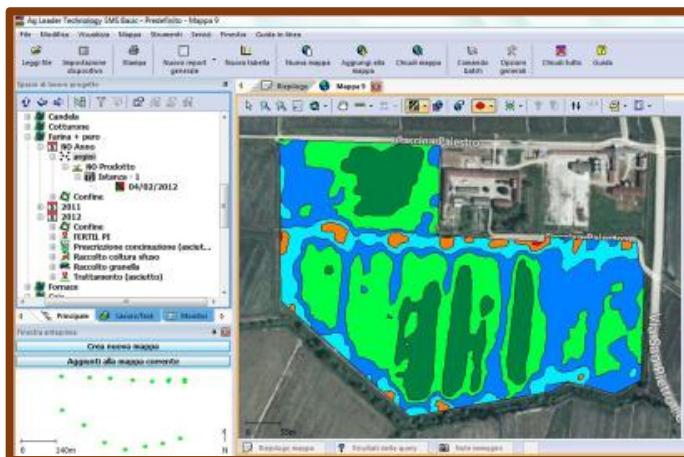


Fig. 2.8 – Le mappe produttive così come vengono presentate dai software installati sui server aziendali

La sorpresa nel vedere le prime mappe non è la variabilità di produzione, ma la sua ampiezza (minimo 30%).

Ottenute le mappe, la prima idea è quella di livellare le produzioni verso l'alto. Per far ciò, come visto in premessa, la tendenza è quella di impiegare la fertilizzazione organica di base in pre-semina in modo da rendere l'intera camera più produttiva in termini generali.

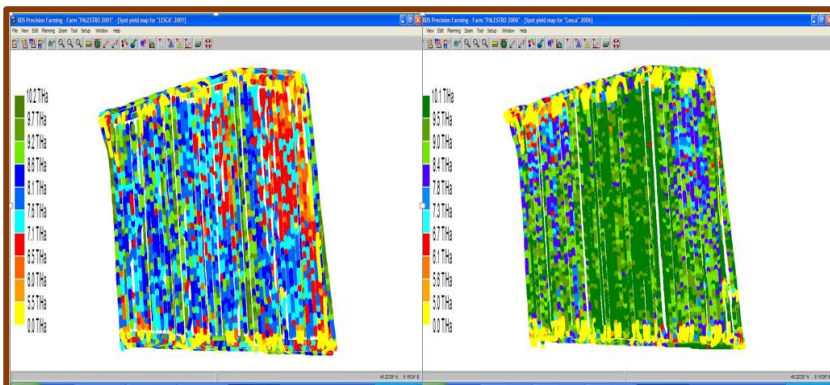


Fig. 2.9 - Risultati ottenuti incrementando la fertilizzazione organica in pre-semina. A sinistra mappa produttiva dell'anno 2001, a destra mappa produttiva dell'anno 2006

Un'altra possibilità è quella di modulare la concimazione dell'anno in corso sulla base dei risultati produttivi dell'anno precedente, con l'obiettivo di minimizzare la variabilità all'interno della camera (figura 2.10).

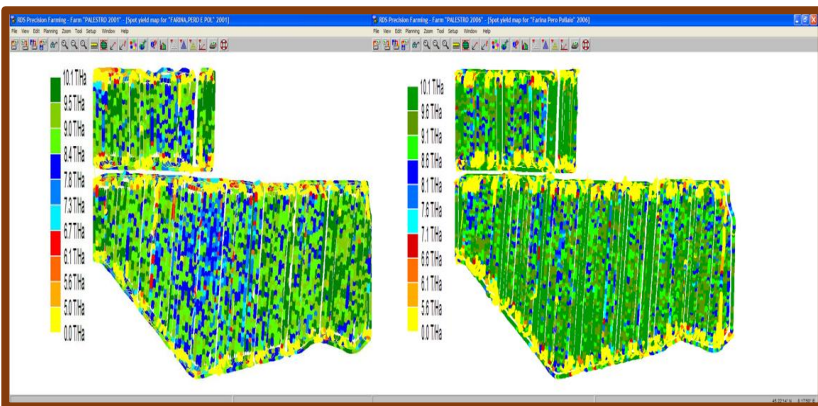


Fig. 2.10 – Risultati ottenuti dal 2002 al 2006 modulando la concimazione apportando correzioni di azoto all'impatto, e correzioni di azoto in PI (nel 2006) in modo da aumentare gli apporti nelle zone blu del campo

Da chiarire che, per eseguire la concimazione organica quando questa è effettuata sotto forma letamica, non è necessario impiegare nessuna particolare macchina tecnologicamente avanzata, ma è sufficiente distribuire in modo intelligente il numero di spandiletame assegnati alla camera tenendo conto delle indicazioni che emergono dalle mappe prescrittive.

Qualora, invece, s'intenda procedere a una differenziazione della concimazione impiegando concimi granulari a lenta cessione, si possono adottare spandiconcime a tecnica VRT, che agiscono in base al principio riportato in figura 2.11. Essi sono in grado di regolare automaticamente le dosi da assegnare alle diverse aree parcellari, sempre a partire dalle mappe prescrittive realizzate dal software di cui sopra si è detto.

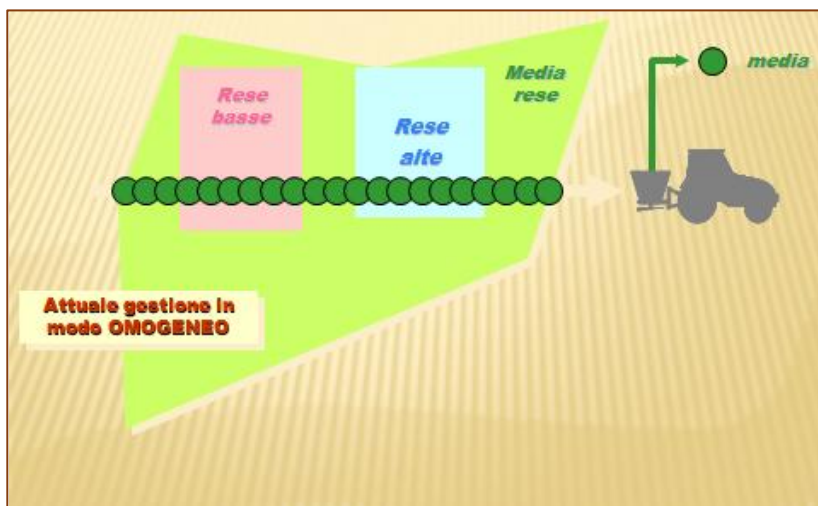


Fig. 2.11 – Principio della distribuzione differenziata della concimazione sulla base delle mappe prescrittive impiegando uno spandiconcime VRT

Essenzialmente le tecniche descritte si applicano, come visto, per modulare le concimazioni pre-semina e, più raramente (di solito quando si è riusciti nell'intento di rendere maggiormente omogenee le produzioni), quella a fine accettazione-inizio levata, cioè su trattamenti che tendono a modificare nel tempo la fertilità agronomica del terreno. Esse hanno un significato meno importante per quanto riguarda la modulazione delle concimazioni alla differenziazione della pannocchia per la quale, invece, vengono impiegati prodotti a cessione più rapida dei nutrienti poiché sottostanno a una logica di impiego che mira alla pronta utilizzazione.

3 – Impiego dei sensori ottici nella differenziazione delle concimazioni di copertura

Le regolazioni delle concimazioni in copertura che, come visto in premessa, stanno assumendo in risicoltura un peso sempre più importante. Di conseguenza le tecniche di differenziazione sito specifica trovano nella rilevazione del vigore vegetativo della coltura una tecnica adeguata alle necessità.

Per meglio capire l'importanza che tale attività può assumere, verranno riportare qui di seguito alcune esperienze di prove di lunga durata di concimazione su frumento tenero effettuate da 1972 al 2009 dalla Oklahoma State University (USA), l'università che ha sviluppato il sensore Green Seeker. In figura 3.1 sono riportati i risultati produttivi ottenuti impiegando o meno la concimazione azotata. In pratica le parcelle messe a confronto venivano concimate IN UN'UNICA SOLUZIONE in pre-semina, in alternativa con un ternario N-P-K con titolo 100-40-60 (barre blu) oppure con uno 0-40-60 (barre gialle). Non solo le rese sono molto differenti da un anno all'altro, ma il responso delle dosi di N (differenza tra le barre blu (con N) e barre gialle (senza N) è pure imprevedibile.

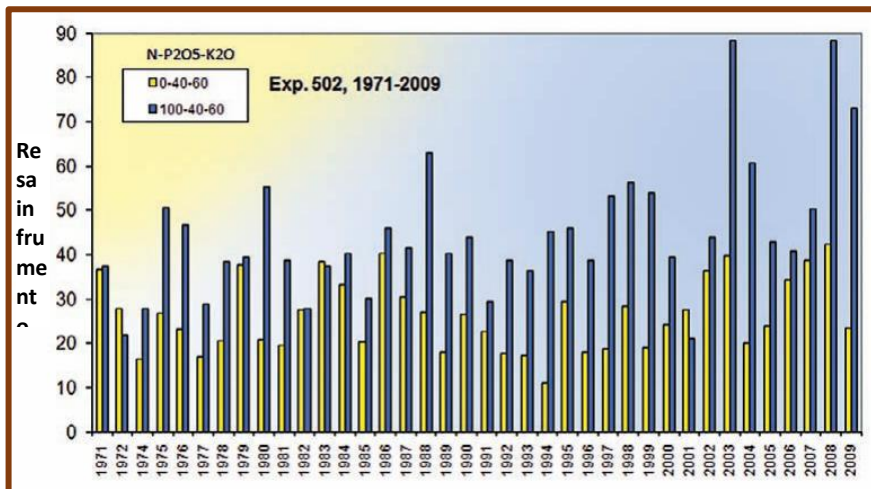


Fig. 3.1 – Resa di frumento negli anni con due modalità di concimazione con ternario NPK in pre-semina: barre blue con 100-40-60 unità; barre gialle con 0-40-60 unità. Lohama. Fonte: Oklahoma State University (USA)

Se si elaborano tali ultime differenze tra produzioni ottenute con e senza N può essere definito un Indice di Risposta (IR) relativo all'incremento di resa attribuibile al fatto di avere o meno somministrato il nutriente (figura 3.2). Ovviamente questo indice è più elevato quanto più la concimazione azotata ha esplicato il suo effetto e quindi, si può affermare che a valori elevati corrispondono maggiori indici di efficienza di utilizzazione dell'N. Come visto per le produzioni anche la variabilità di questo indice varia significativamente di anno in anno passando da 4, nei casi di concimazione più efficiente, a 0,7, nelle annate peggiori (caso paradossale del 1972 dove le parcelle concimate con N mostrano addirittura una produzione inferiore a quelle non concimate).

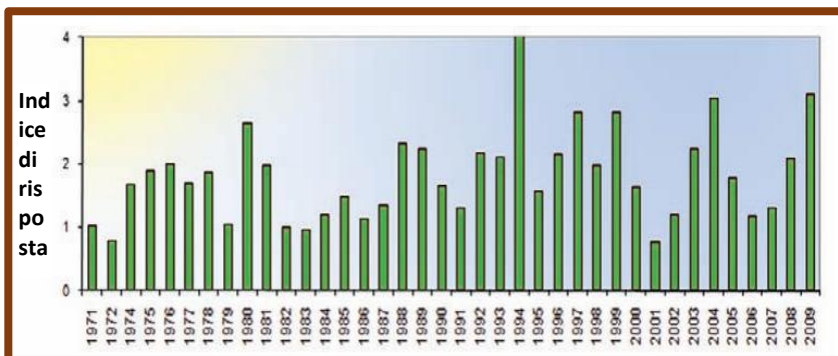


Fig. 3.2: Indice di Risposta elaborato dai dati di figura 3.1

A questo punto vale la pena domandarsi se l'indice IR ha una qualche relazione con la produzione finale e in particolare, se a produzione più elevate corrispondano indici di risposta più alti. Se si mettono in relazione i dati della produzione in funzione dell'indice RI si ottiene quanto rappresentato in figura 3.3. In pratica non abbiamo nessuna relazione tra i due valori: in altri termini non è vero che all'aumentare della resa aumenta l'efficienza di utilizzazione dell'azoto.

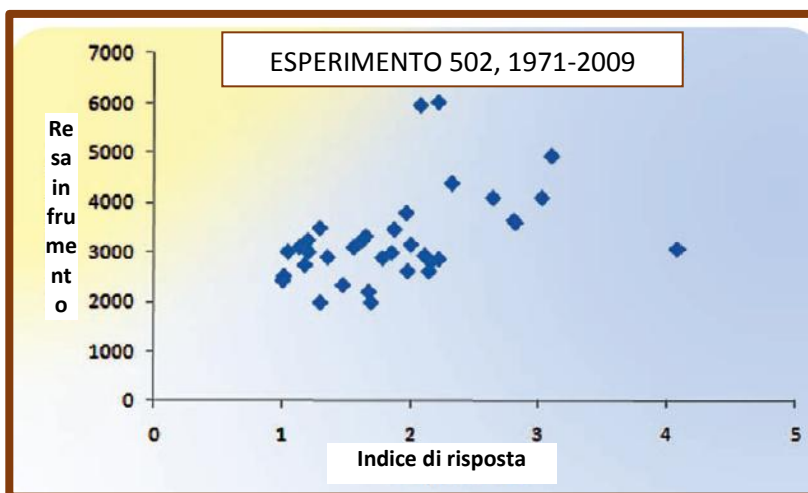


Fig. 3.3: Relazione tra indice di risposta e produzione ricavata elaborando i dati di figura 3.1

Quest'andamento è dovuto alle variabili che intervengono a determinare la resa produttiva finale (in particolare quelle legate all'andamento climatico), che sono tali e tante che rendono la resa praticamente impossibile da prevedere.

Cosa fare allora per evitare che anche con elevate produzioni si sprechi di N? Si deve somministrare l'N in più dosi e trovare un modo per potere prevedere le asportazioni della coltura legate a una probabile produzione finale e dosare la fertilizzazione azotata in copertura in funzione di questa previsione. Ciò cercando di mantenere il più possibile elevato alto l'indice di risposta, cioè concimando maggiormente quando si prevedono produzioni maggiori e con minori dosi quando la resa si prevede sia più bassa.

Questo è possibile solo **intervenendo con coltura in atto suddividendo la dose complessiva di N somministrato in più quote, distribuite sulla base di rilievi sullo stato della coltura durante il**

suo accrescimento, per misurare il suo vigore e sincerarsi che questo sia adatto per ricevere o meno ulteriori apporti di N.

3.1- Funzionamento dei sensori ottici

Per comprendere come funzionano i sensori ottici è necessario fornire alcuni richiami di cosa sono le onde elettromagnetiche e di come queste interferiscono con la materia vivente.

Un'onda elettromagnetica si genera a partire dal movimento nello spazio e nel tempo di una carica elettrica. Essa è quindi un fenomeno fisico legato all'esistenza stessa della materia al suo stato elementare, in quanto questa, come è noto, può essere assimilata a livello atomico a un modello (quello di Bohr) in cui corpuscoli (elettroni, protoni e neutroni), si rapportano reciprocamente tra loro nello spazio in modo che attorno a un nucleo a carica positiva vi sia una nube elettronica a carica negativa. A livello superiore, nelle molecole e nei cristalli (cioè in agglomerati di atomi), si hanno pure cariche elettriche che, staccatesi dagli atomi, possono muoversi da un punto all'altro del sistema al quale fanno riferimento.

La velocità con la quale queste cariche elettriche si muovono (vibrano) è essenzialmente riconducibile al loro stato di eccitazione energetica più sono eccitate più emettono radiazioni di elevata intensità energetica. Così, ad esempio:

- Il sole, che ha uno stato energetico elevato, emette radiazioni ad alto contenuto energetico;
- La luna onde a basso contenuto energetico;
- Qualsiasi materia a una temperatura pari allo 0 assoluto (-273,15 °C) non emette più nessuna radiazione.

Le radiazioni sono caratterizzate da un andamento ondulatorio ciclico che passa da un valore massimo positivo a un minimo negativo (figura 3.4). Un'onda ha ampiezza A (valore assoluto del massimo e del minimo raggiunti durante il ciclo) svolge un suo ciclo

nel periodo di tempo T. Il considerare il numero di cicli che vengono svolti nell'unità di tempo permette di definire il valore della frequenza dell'onda (come $F = 1/T$ in Hertz - Hz). Poiché le onde viaggiano tutte alla velocità della luce (circa 300.000.000 m/s) se si divide lo spazio percorso in un secondo (300.000.000 m) per la frequenza dell'onda si trova la sua lunghezza L.

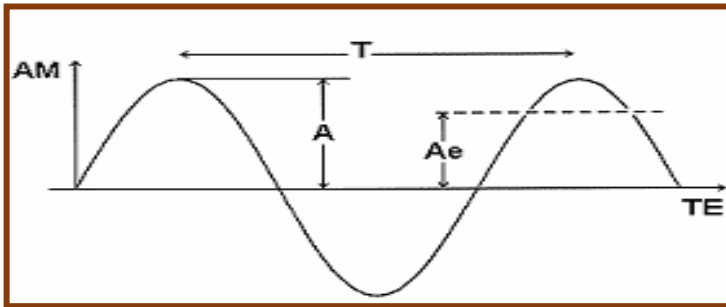


Fig. 3.4– Moto oscillatorio di un'onda

Le onde a maggiore frequenza (cioè quelle più corte) sono quelle che arrivano da una fonte a un livello energetico molto elevato e quindi sono quelle che hanno maggiore energia (figura 3.5).

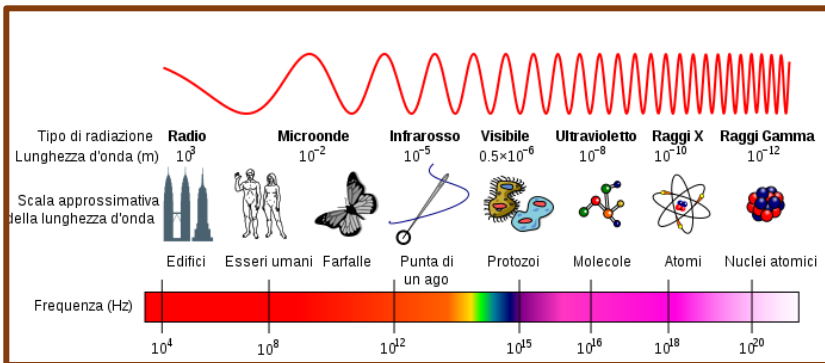


Fig. 3.5: Spettro elettromagnetico

Quando un'onda emessa da una fonte che si trova a un livello energeticamente elevato arriva a contatto con della materia a un

livello energeticamente inferiore interferisce con questa e cede parte della sua energia innalzando il livello energetico dei suoi componenti.

Ciò avviene solo se la lunghezza di quella data onda ricevuta dalla materia è compatibile con la lunghezza degli elementi che vengono colpiti dalla medesima. In tal caso la radiazione viene assorbita e passa a un livello energeticamente superiore. In caso contrario (lunghezza non compatibile) il moto ondulatorio dei corpuscoli colpiti non viene modificato e la radiazione attraversa la materia senza modificarla o viene riflessa.

Come esseri umani il fenomeno elettromagnetico con cui veniamo a contatto e, attraverso il quale percepiamo il mondo in modo macroscopico, è quello della luce. In particolare il nostro occhio è “abilitato” ad assorbire (cioè a modificare il suo stato energetico) nello spettro di onde caratterizzato da una lunghezza che va dai 300 agli 800 nm (i nanometri sono i micrometri/1000, cioè i milionesimi di metro). Una volta assorbita questa quota di energia, il nervo ottico trasmette dei segnali al cervello che, in un certo qual modo, suddivide le diverse lunghezze d’onda ricevute in varie fasce (ognuna delle quali rappresenta un determinato colore) e ci permette di percepire l’immagine del mondo con le sue differenti tonalità.

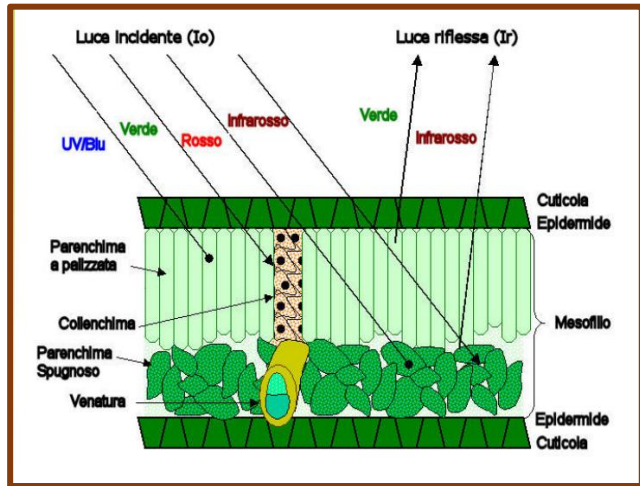
Ma cosa sono queste differenti tonalità che percepiamo? **NON SONO NIENT’ALTRO CHE LE ONDE CHE SONO STATE RIFLESSE DALLA MATERIA A NOI CIRCOSTANTE.** Il nostro occhio nulla ci dice di quanto è stato assorbito dalla materia, ma molto ci dice di quanto è stato riflesso.

Ora è esperienza comune della gente che lavora a contatto nella natura riconoscere che se una pianta “sta bene” è “molto verde”, se “sta male” allora “ingiallisce e si arrossa”.

Questo ha a che vedere con il fenomeno complesso di assorbimento e riflessione da parte delle foglie della luce visibile e delle onde

nell'infrarosso (quelle che sono appena più lunghe di quelle del campo del visibile e che arrivano fino a 2400 nm) rappresentato in figura 3.7.

*Fig. 3.7 –
Rappresentazione schematica di come i diversi componenti della foglia si comportano nei confronti delle radiazioni elettromagnetiche nelle bande del visibile e del vicino infrarosso*



In particolare si può notare come la foglia quando è sana e vigorosa, cioè quando è normale, tenda ad assorbire i raggi Ultravioletti e Blu (assorbiti dal parenchima), quelli rossi (assorbiti dalla clorofilla), mentre assorbe solo parzialmente e quindi riflette in una quota più o meno importante quelli verdi (riflessi dal collenchima) e quelli infrarossi (che interessano sempre la clorofilla).

Spiegato così il perché quando vediamo una foglia che perde il colore verde e incomincia ad andare verso colori “caldi” la nostra esperienza ci dice che si sta entrando in una condizione di stress. Infatti la clorofilla non riesce più ad assorbire la luce rossa che quindi viene riflessa!!!!

Misurare quanta radiazione rossa viene assorbita, quindi, ci dà con buona approssimazione una idea del contenuto di clorofilla e, quindi, dello stare bene della foglia.

Questo è spiegato in maggiore dettaglio in figura 3.8.

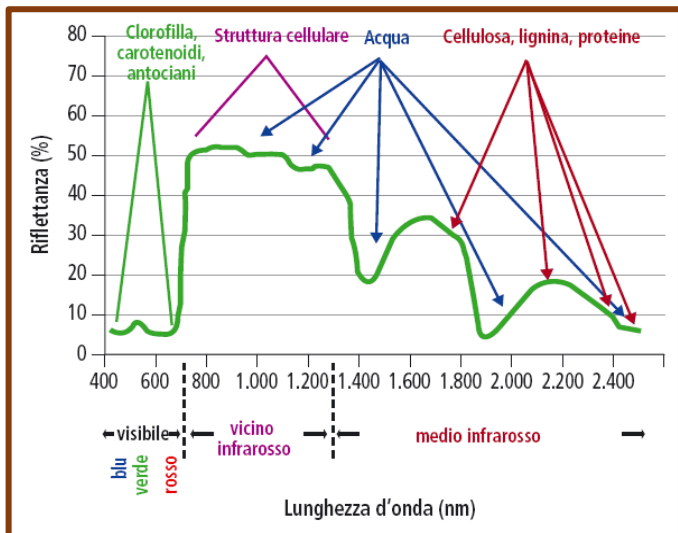


Fig. 3.8 - Spettro di riflettanza di una pianta

In generale, la curva di riflettanza di una pianta si caratterizza per:

- Valori bassi nella regione del visibile (400-700 nm) a causa del forte assorbimento da parte della clorofilla e degli altri pigmenti foto-attivi, meno efficaci nella regione del verde (550 nm), motivo per cui il tessuto vegetale ci appare di questo colore;
- Valori elevati nella regione del vicino infrarosso (700-1300 nm) dovuti all'assenza di assorbimenti specifici a queste lunghezze d'onda e alle riflessioni multiple che avvengono in corrispondenza delle interfacce aria/cellula;
- Valori contenuti nella regione del medio infrarosso (1300-2500 nm) in corrispondenza delle ampie bande di assorbimento dell'acqua e di alcuni deboli assorbimenti da parte dei composti azotati e carboidrati.

Per questa ragione, quindi, quasi tutti i sensori ottici impiegati sulle colture basano il loro principio di funzionamento sulla riflettanza R, che è definita a ogni lunghezza d'onda dal rapporto tra l'intensità della luce riflessa I_R e quella incidente I_0 .

$$R(\lambda) = \frac{I_R}{I_0}(\lambda)$$

Questo rapporto rappresenta "*un'impronta spettrale*" del campione esaminato che contiene informazioni riguardo alla biomassa e la concentrazione degli elementi in essa presenti. Ognuno dei costituenti del tessuto vegetale - acqua, clorofilla, pigmenti secondari, cellulosa, lignina e proteine - assorbe la radiazione incidente in specifiche bande spettrali, modificando lo spettro della frazione riflessa in funzione della concentrazione con cui esso è presente nella pianta.

La *valutazione dello stato fisiologico* delle piante mediante misure di riflettanza, si basa principalmente sull'analisi delle modificazioni spettrali (figura 3.9) connesse a:

- La *densità di biomassa* prodotta, quale indice di **vigore**;
- La *concentrazione di clorofilla*, quale indice dello **stato nutrizionale** e, in particolare, della disponibilità di azoto;
- La *concentrazione relativa di pigmenti secondari rispetto alla clorofilla*, quale indice dello **stato fenologico** o di senescenza;
- *L'efficienza del sistema fotosintetico e del processo di evapotraspirazione*;
- Il contenuto di *acqua*;
- La *presenza di lesioni* dovute ad attacchi patologici.

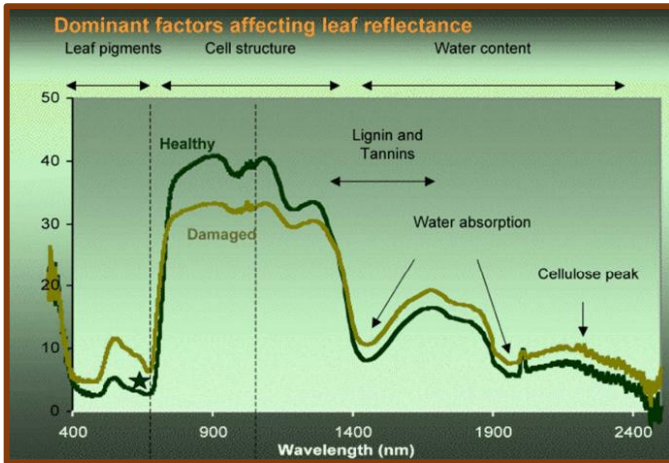


Fig. 3.9 – Confronto fra impronta spettrale tra foglie sane e in qualche modo sottoposte a stress

In ogni caso, tutti i fattori che influenzano la crescita sono correlati con il processo fotosintetico che sta alla base della produzione primaria di biomassa. In altri termini, il contenuto di clorofilla, determina la produzione e se su una coltivazione si misurano elevati contenuti di clorofilla, si può ragionevolmente supporre che quella coltura arriverà a livelli produttivi elevati. Il concetto è analogo a quello di capacità di lavoro delle macchine; più questa caratteristica è elevata più è probabile che la produttività della macchina sarà elevata. Quindi, combinando il fatto che la riflettanza della luce visibile risulta correlata alla presenza di clorofilla e che, la riflettanza delle onde nel vicino infrarosso (NIR) è proporzionale alla quantità di biomassa vivente nella massa vegetativa, possiamo ricavare un indice che risulta correlato con la produzione (sempre che non si abbiano deficit di natura idrica o eventi di stress legati alla presenza di fitopatie). Ciò semplifica di molto, come vedremo meglio in seguito, l'impiego dei sensori di misura.

3.2 - Gli indici di vigore

Come accennato, al fine di semplificare le cose, sono spesso impiegati gli **indici spettrali** ottenuti come *semplice combinazione algebrica* dei valori spettrali misurati a due o più specifiche lunghezze d'onda. Essi consentono, sia di sintetizzare l'informazione multispettrale in un singolo parametro correlato allo stato fisiologico e sanitario della coltura, sia di attenuare il disturbo di fattori che colpiscono in misura simile le diverse bande spettrali (variazioni del livello d'illuminazione, ombreggiamenti, effetti dovuti alla geometria della vegetazione ecc.).

Col progredire delle tecniche di misura sono stati via via introdotti numerosi indici spettrali tra cui quello più utilizzato è l'Indice di Vegetazione a Differenza Normalizzata (NDVI), definito dal rapporto tra la differenza e la somma della riflettanza nel vicino infrarosso e rosso:

$$NDVI = (NIR780 - Red680) / (NIR780 + Red680)$$

Questo indice è significativamente correlato alla quantità di biomassa vegetale per unità di superficie (o Leaf Area Index, LAI), dunque al vigore della coltura (figura 3.10). Il suo valore varia da 0.1-0.3, corrispondente a un suolo nudo o poco inerbito, fino a raggiungere un valore asintotico di saturazione attorno a 0.8-0.9 per una vegetazione con LAI > 5.

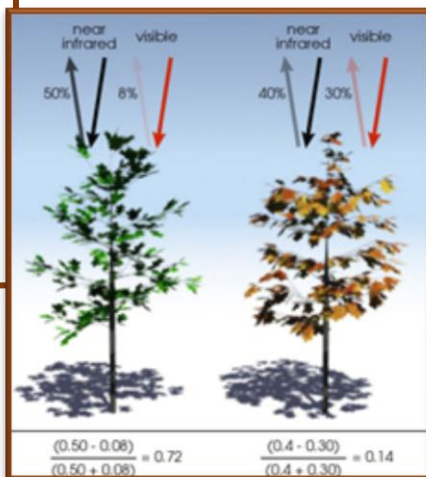
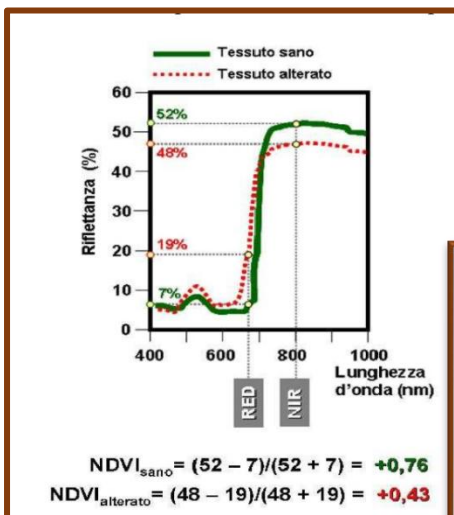


Fig. 3.10 – I fenomeni di riflettanza che stanno alla base della determinazione dei valori di NDVI¹

E' possibile impiegare anche altri indici spettrali tra i quali quello che sembra dare i maggiori benefici per i rilievi su piante particolarmente vigorose è l'indice NDRE (Normalized Difference Red Edge):

$$NDRE = (NIR780 - RedEdge730) / (NIR780 + RedEdge730)$$

La scelta di alcuni costruttori di sensori di impiegare l'indice NDRE risiede nel fatto che la riflettanza nella banda del RED-EDGE è

¹ Le lunghezze d'onda indicate come 780 e 680 nm sono indicative, in quanto ii diversi sensori possono calcolare lo stesso indice con lunghezze che stanno sempre nel campo del NIR e del RED ma su bande centrate su valori di lunghezza d'onda leggermente differenti

particolarmente influenzata dalla presenza di clorofilla e non tanto dalla presenza di biomassa. Così, l'NDVI ha una risposta molto lineare nei primi stadi di sviluppo della pianta, quando la biomassa presente è limitata ma, non quando questa si trova a uno stadio avanzato di crescita in quanto tende ad essere saturato proprio dalla presenza di biomassa. Al contrario l'indice NDRE ha un andamento lineare a tutti gli stadi di crescita. In particolare, il grafico di figura 3.11 mostra come l'NDVI cambia notevolmente tra le colture sane e quelle stressate nelle diverse fasi di crescita. Tuttavia, man mano che lo sviluppo della pianta avanza, l'NDVI non è più molto efficace nel distinguere le piante stressate e sane poiché la relazione che lega l'indice al vigore tende ad appiattirsi. Il grafico mostra come l'NDRE sia il miglior indicatore per identificare le piante più forti e sane da quelle più deboli anche nelle fasi più avanzate della crescita perché, anche con valori di vigore elevati si ha comunque una relazione direttamente proporzionale tra i valori in x e quelli in y (la relazione è lineare, non curva).

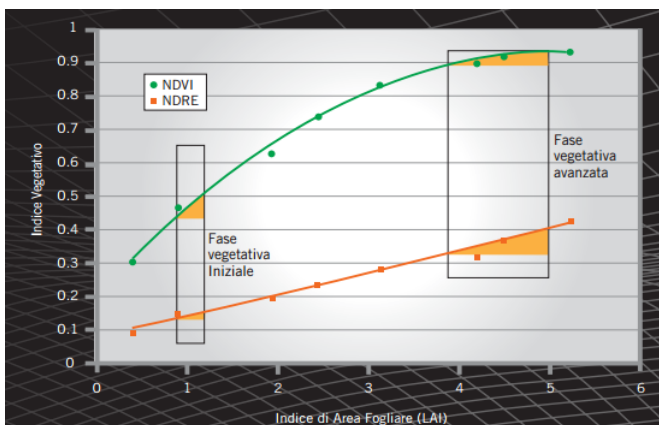


Fig. 3.11 – L'indice NDVI tende a saturarsi quando si è di fronte a piante molto vigorose (la curva tende a diventare piatta), mentre l'indice NDRE cresce sempre in modo lineare anche a valori di LAI elevati

3.3 - Le modalità di rilievo

Per quanto riguarda le modalità con cui avvengono i rilievi degli indici sopra individuati, in tabella 1 sono riportati i principali passi evolutivi che hanno interessato la spettrofotometrica delle colture.

Tab .3.1 – Evoluzione temporale delle tecniche di rilievo di indici ottici di vigore vegetativo

Periodo	Fase evolutiva	Vantaggi	Svantaggi
1920	Prime esperienze su crittogame del cotone in USA		
1970	Sensori remoti da satellite	Grande superficie	Risoluzione bassa, alti costi, meteo dipendente, ritardo temporale
1990	Sensori passivi a terra	Tempestività, alta risoluzione, bassi costi, multifunzione	Piccola superficie, meteo dipendenti
1995	Sensori attivi a terra	Tempestività, alta risoluzione, bassi costi, multifunzione	Piccola superficie.

Di seguito verranno brevemente discussi gli aspetti inerenti i rilievi effettuati con sensori remoti da satellite e quelli con sensori attivi a terra che, allo stato attuale dell'arte, sono le due tecnologie che appaio di possibile applicazione in campo risicolo.

3.3.1 - Rilevamento da remoto (Remote sensing)

Gli indici di vigore possono essere ottenuti analizzando gli spettri di riflessione elettromagnetica con sensori montati a bordo di velivoli quali aeroplani, elicotteri ma, più generalmente satelliti (figura 3.12). Alcune esperienze recenti hanno preso in considerazione l'ipotesi di impiegare anche UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ma di queste soluzioni si discuterà più diffusamente nel seguito in quanto al momento i risultati ottenuti con questi veicoli non sono ancora trasferibili in termini operativi a livello di risicoltura.

I dati telerilevati trovano svariate applicazioni, come ad esempio nella stima della resa di mais e frumento. Recentemente sono stati condotti studi per la stima, a partire da immagini telerilevate, del contenuto di proteine per colture di pieno campo quali il frumento, il riso e l'orzo destinato alla produzione di birra. I medesimi dati forniscono numerose informazioni circa lo stato delle colture e possono quindi essere utilizzati per lo sviluppo d'indici di stress legati al contenuto idrico o al generale stato fisiologico delle piante. In tal senso sono stati condotti studi che investigano l'esistenza di possibili relazioni tra alcuni indici spettrali e i parametri biofisici delle colture (LAI, SPAD, umidità) al fine di monitorarne i diversi stati e analizzare il loro sviluppo fenologico.

Nelle misure Remote Sensing, purtroppo, la fase di misura è fortemente influenzata dalle condizioni meteorologiche. Inoltre l'utilizzo dei dati risulta complesso in quanto essi vengono resi disponibili a costi accettabili solo in particolari date, cioè quelle nelle quali il satellite, la cui rotta è programmata per altre ragioni specifiche più importanti che non quelle dei rilevamenti del vigore vegetativo, risulta presente al disopra delle aree da rilevare. Riprogrammare la rotta dei satelliti per avere dati disponibili in corrispondenza delle due date della concimazione in copertura del riso risulta abbastanza difficile da conseguire.

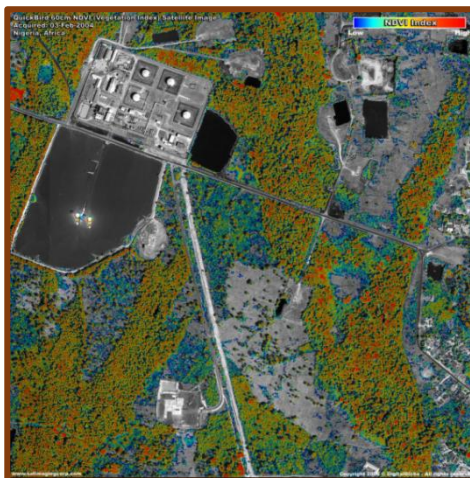
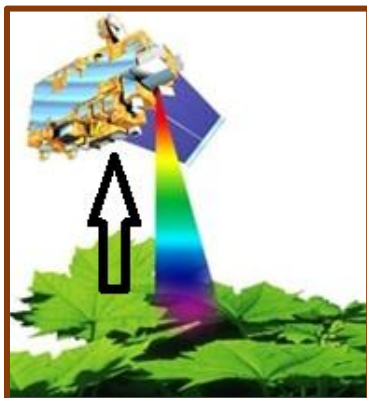


Fig. 3.12 – Rappresentazione schematica delle modalità di rilievo di indici spettrali in remoto da satellite che avviene rilevando la riflessione naturale e risultati ottenibili in termini di restituzione di mappe di indice NDVI

3.3.2 - Rilevamento da terra (Near sensing)

Viste le difficoltà di arrivare a eliminare i problemi insiti nella rilevazione degli indici di vigore da velivoli, la ricerca si è indirizzata anche verso lo sviluppo e lo studio di tecnologie “near sensing”. L’idea di misurare l’entità di clorofilla presente nelle foglie con strumentazione direttamente utilizzata in campo non è un’idea nuova. Già nel 1990 si verificò l’introduzione dello SPAD, uno strumento portatile immesso sul mercato da MINOLTA. Questo dispositivo di misura è sicuramente diventato un riferimento per i ricercatori operanti nel settore agronomico, ma non ha mai trovato effettiva utilizzazione in versioni pensate per gli operatori agricoli in operazioni di monitoraggio estensivo delle colture poiché per le sue modalità operative deve essere impiegato in modo discontinuo, passando da foglia a foglia. Altri sensori impiegati a scopo di ricerca sono quelli della ditta CROPSCAN che, seppure usabili in modo continuo, si basano tuttavia su tecniche di rilievo di passivo. Essi danno problemi analoghi a quelli visti per i sensori operanti in

remoto riguardo alle condizioni climatiche e, in generale, alle condizioni di bassa illuminazione.

A partire dalla fine del secolo scorso, quindi, si è assistito allo sviluppo di sensori ottici ad illuminazione attiva, impiegabili a bordo trattore, per il monitoraggio e la diagnosi in tempo reale dello stato vegetativo delle piante per permettere l'applicazione a dose variabile di erbicidi e fertilizzanti.

Su riso sono state condotte sperimentazioni anche dall'Ente Nazionale Risi nell'ambito di un progetto di ricerca triennale (Gestione dei concimi azotati in cerealicoltura) che ha dimostrato, nella varietà Thaibonnet, l'elevata correlazione tra la misurazione del contenuto di clorofilla attraverso lo SPAD e il contenuto di azoto nei tessuti della pianta durante le fasi fenologiche in cui avvengono gli interventi fertilizzanti. Tali misure sono state poi confrontate con i risultati ottenuti da sensori ottici NDVI mostrando una buona correlazione tra i valori ottenuti dallo SPAD e i sensori ottici attivi.

Attualmente sono disponibili sul mercato dispositivi che, implementano sensori ottici di tipo attivo, in grado di restituire in tempo reale gli indici vegetativi sopra descritti, quali il GreenSeeker (Ntech Industries Inc.), il Crop Circle (Holland Scientific), e l'OptRx (AgLeader Technology) normalmente impiegati per la gestione della fertilizzazione azotata di colture di pieno campo. A questi si aggiunge l'N-Sensor (YARA), nato e conosciuto essenzialmente come sensore passivo ma, che si è recentemente sviluppato anche su modalità di funzionamento a luce attiva (sul mercato si ritrovano ambedue le versioni).

Quando si dice che questi sensori sono di tipo attivo s'intende che essi impiegano una tecnologia che li svincola dalle condizioni d'illuminazione solare presente durante la misura. Infatti, ognuno di essi ha un sistema d'illuminazione artificiale delle foglie che permette di rendere costante la misura eliminando tutti gli errori indotti dalla luminosità naturale (figura 3.13). Per far ciò essi emettono una luce artificiale polarizzata a impulsi (in genere prodotta con la tecnologia a LED), ed eseguono le misure in

continuo. Si trovano così a misurare lo spettro di riflettanza in condizioni differenziate di presenza o meno di illuminazione artificiale. Attraverso un algoritmo interno, che calcola la differenza tra i due momenti di misura, provvedono quindi a eliminare il segnale di riflettanza proveniente dalla luce naturale considerandolo alla stregua di un rumore di fondo. Ciò permette di calcolare con sufficiente approssimazione la potenza d'illuminazione necessaria a far sì il valore misurato rimanga costante durante tutto il periodo di rilevazione. Inoltre le misure eseguite di giorno sono uguali a quelle eseguite di notte. E' evidente che quest'artificio tecnologico determina una precisione e un'accuratezza di misura molto superiore a quella ottenibile con i sistemi di rilevazione passivi near sensing e, ancor più, remote sensing.

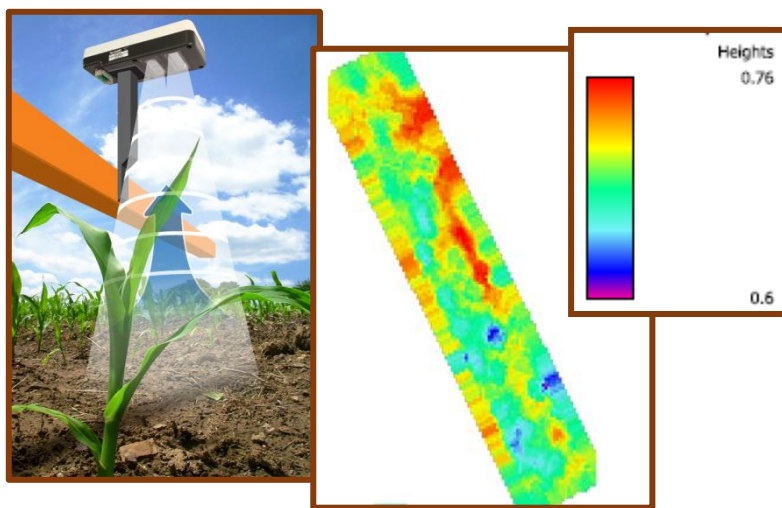


Fig. 3.13 – Rappresentazione schematica delle modalità di rilievo di indici spettrali da vicino che avviene rilevando sia la riflessione naturale sia quella indotta dalla luminosità artificiale e risultati ottenibili in termini di restituzione di mappe di indice NDVI

Nelle figure 3.14, 3.15 e 3.16 a fianco di una descrizione schematica delle componenti dei tre principali tipi di sensori che si trovano in commercio, viene fornita per ognuno di essi una sintetica scheda tecnica.

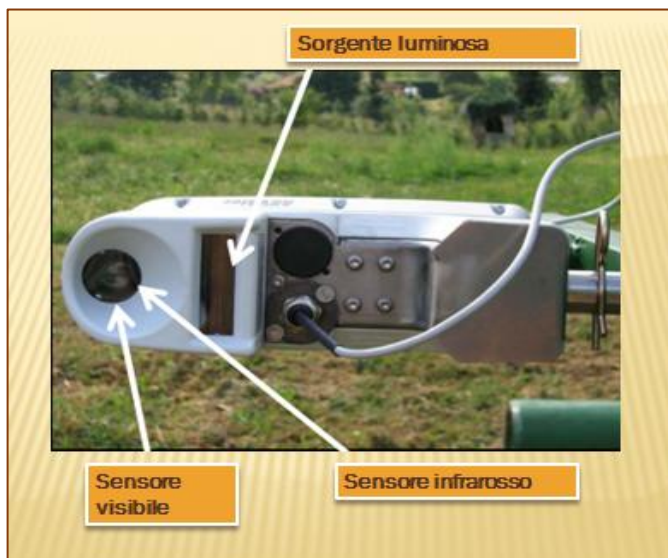


Fig. 3.14– GeenSeeker

Caratteristiche:

- Bande di emissione:
 - Verde/NIR 525/770nm
 - Rosso /NIR 656/770nm
- Dimensioni 27x8,6x15
- Peso: 900 g
- Grado di protezione: IP68
- Alimentazione 11,2-14,5 Vcc
- Interfaccia: RS-232/CAN-BUS
- Freq. Di campionamento: 1-30Hz
- Distanza di lettura: 25-213 cm
- Finestra di lettura: 20-200x 5-20

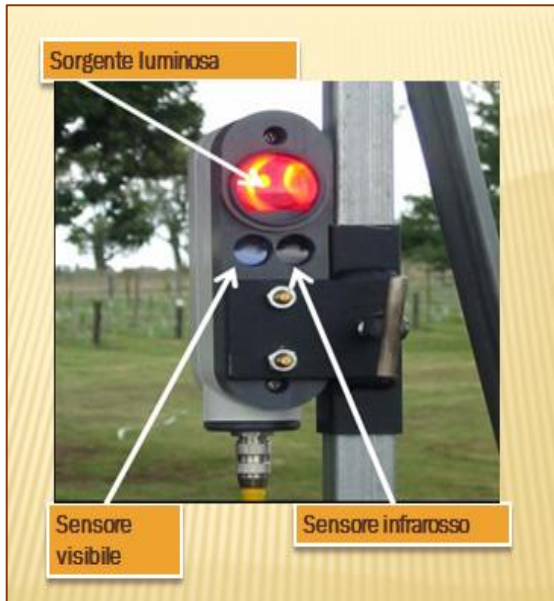


Fig. 3.15 – CropCycle

Caratteristiche:

- Bande di emissione:
 - o Giallo/NIR 590/880nm
 - o Rosso /NIR 650/880nm
- Dimensioni 17,8 x 7,6 x 3,8
- Peso: 385 g
- Grado di protezione: IP68
- Alimentazione 15,2-17 Vcc
- Interfaccia: RS-485/ RS-232/CAN-BUS
- Freq. Di campionamento: 1-20Hz
- Distanza di lettura: 25-213 cm
- Finestra di lettura: 20-200x 5-20



Fig. 3.16 – OptRx

Caratteristiche:

- Bande di emissione:
 - o 670/720/ 780 nm in contemporanea
- Dimensioni 17,8 x 7,6 x 3,8
- Peso: 430 g
- Grado di protezione: IP68
- Alimentazione 11,5-17 Vcc
- Interfaccia: CAN-BUS
- Freq. Di campionamento: 1-20Hz
- Distanza di lettura: 25-213 cm
- Finestra di lettura: 20-200x 5-20

3.3.4 - Considerazioni sui sensori near sensing

Tra i tre sensori, quello che pare più adatto per il riso è l'OptRx poiché è in grado di garantire tre bande di misura contemporanee (670-730 e 780 nm), permettendo così sia il calcolo del classico indice NDVI, sia dell'indice NDRE. OptRx usa contemporaneamente l'NDVI che l'NDRE, ciò consente di avere una visione più accurata durante tutte le fasi di crescita.

Inoltre, il sensore OptRx è in grado di garantire:

- Un ampio campo di misura, potendo operare da 0,3 a 3 m di distanza dal bersaglio;
- Un ampio campo visivo, 45° per 10°;
- Una protezione IP 65, consentendo quindi di operare in qualsiasi condizione di polverosità ed umidità;
- Una buona stabilità del segnale, essendo caratterizzato da un basso rumore;
- Delle dimensioni contenute (17,8x3,8x7,6 cm);
- Un peso limitato pari a 0,8 kg.

3.4 – Relazione tra indici ottici ed esigenze di concimazione

L'impiego dei sensori ottici nella concimazione parte dalla constatazione, più volte richiamata, che nella biomassa accumulata, la percentuale di clorofilla presente e quella di azoto contenuta nella pianta, sono parametri strettamente dipendenti al quantitativo di azoto assorbito durante le varie fasi del ciclo colturale. Come visto, è dimostrato che gli indici di vigore tipo NDVI e NDRE sono direttamente legati sia alla biomassa presente sia, e ancor più, nel caso dell'NDRE, alla differente colorazione della foglia e quindi, al contenuto in clorofilla e di conseguenza di azoto. In base a ciò è quindi possibile stabilire delle procedure che siano in grado di stimare le quantità di azoto da distribuire.

Per far ciò esistono sostanzialmente 4 approcci rispettivamente basati su:

1. Stima della concimazione sulla base della produzione potenziale in base a modelli algoritmici di crescita;
2. Stima della concimazione in base a prove agronomiche parcellari classiche;
3. Scelta soggettiva dei valori minimi e massimi di fertilizzazione impiegando la tecnica della sovraconcimazione di parcelle di riferimento (N-rich strip);
4. Scelta soggettiva dei valori minimi e massimi di fertilizzazione in base a rilievi in campo dell'indice di vigore senza sovraconcimazione di parcelle di riferimento.

3.4.1 - Stima della produzione potenziale in base a modelli algoritmici di crescita

Questo tipo di approccio è stato creato originariamente dall'Università dell'Oklahoma che è stata la prima a mettere a punto il sensore GreenSeeker. Si tratta di un approccio molto dettagliato che prevede di calcolare giornalmente, in base al rilievo dell'indice NDVI, la produzione potenziale, in ogni parte della superficie coltivata, a partire da un modello di crescita che si basa sui gradi giorno (Growing Degrees Days). La disponibilità di tale modello è legata alla messa in essere di sperimentazioni a base locale in cui le diverse varietà, per quanto riguarda la crescita, sono seguite per anni in modo da avere a disposizione i dati storici attraverso i quali prevedere (una volta effettuata la misura degli indici NDVI in un determinato momento caratterizzato da uno specifico valore di GDD) la produzione al termine della stagione (GDD max). Siccome l'approccio prevede il calcolo di un bilancio di massa, si può calcolare la differenza di biomassa e azoto asportato tra il momento del rilievo e il momento della raccolta. In base a ciò, e a una supposta efficienza di utilizzazione dell'azoto nei rimanenti 70-90

giorni di crescita (efficienza fissata al 50-70%), identificare per ogni parcella sottoposta a controllo la quota di azoto da distribuire.

Quest'approccio diventa sempre più accurato man mano che ci si avvicina al momento della raccolta. Quindi, nonostante la sua precisione teorica, quando esso è applicato precocemente, come nel caso della concimazione in copertura del riso, tali e tante sono le incertezze di carattere climatico che ne inficiano la bontà della risposta che non sempre "lo sforzo vale la candela".

http://www.nue.okstate.edu/Algorithm/Algorithm_Outline.htm

3.4.2 - Stima della concimazione in base a prove agronomiche parcellari classiche

Un approccio per certi versi simile a quello sopra riportato è quello che si basa su classiche prove agronomiche parcellari. L'ipotesi di fondo è che ripetendo di anno in anno una serie di prove su numerose parcelle in modo da eliminare il più possibile la variabilità ambientale, si arrivi al risultato di potere assegnare a un solo fattore (in questo caso la dose di N data in copertura) l'effetto della modificata produzione finale. Su questa base l'Ente Risi ha recentemente organizzato prove triennali sulla varietà Gladio secondo lo schema sperimentale di figura 3. 17.

DOSI DI N APPORTATE (KG HA ⁻¹)											
	2009				2010				2011		
	PRE	TILL	PD		PRE	TILL	PD		PRE	TILL	PD
1	40	60	} 0 40		40	40	} 0 30 60		40	20	} 0 30 60 100
2	60	40			40	40			60	40	
3	80	60			80	60			80	60	

Fig. 3.17 – Schema delle prove sperimentali di concimazione azotata impostate da Ente Risi su varietà Gladio nel triennio 2009-2011

Solo nel 2010 le prove hanno mostrato una correlazione tra l'indice NDVI e la biomassa presente, mentre per gli altri due anni i risultati non sono stati così positivi.

Al contrario, in tutti e tre gli anni si è evidenziata una buona correlazione con i risultati relativi alla percentuale di azoto contenuta nelle piante ($r^2 = 0,61, 0,68$ e $0,68$ rispettivamente del 2009, 2010 e 2011).

In base a ciò risulta quindi evidente che, nelle situazioni della nostra risicoltura, la modulazione della quantità di azoto da distribuire deve essere effettuata tenendo conto che a indici ottici più elevati debbono corrispondere dosi di azoto somministrate più basse. Se si operasse, infatti, somministrando alle piante con foglie già contenenti elevate quantità di azoto altre dosi di questo nutriente, si andrebbe incontro a fenomeni di sovraconcimazione.

Questo è importante perché, al di là degli aspetti di spreco, come visto in premessa un eccesso di N aumenta il rischio di allettamento,

di sterilità fiorale, la sensibilità in generale verso tutti i patogeni, in particolare al brusone

Al contrario, le piante più stressate andrebbero sicuramente incontro a una futura produzione di bassa entità e dovrebbero essere trattate con dosi di N che correggano le deficienze che determinano tale stress.

La figura 3.18 mostra come con valori di NDVI inferiori a 0,730 il maggior incremento produttivo sia ottenuto con 100 kg/ha di azoto; nell'intervallo tra 0,730 e 0,765 la dose di fertilizzante in grado di massimizzare la resa unitaria è risultata pari a 60 kg/ha di azoto, mentre al di sopra di 0,765 occorre ridurre il quantitativo a 30 kg/ha.

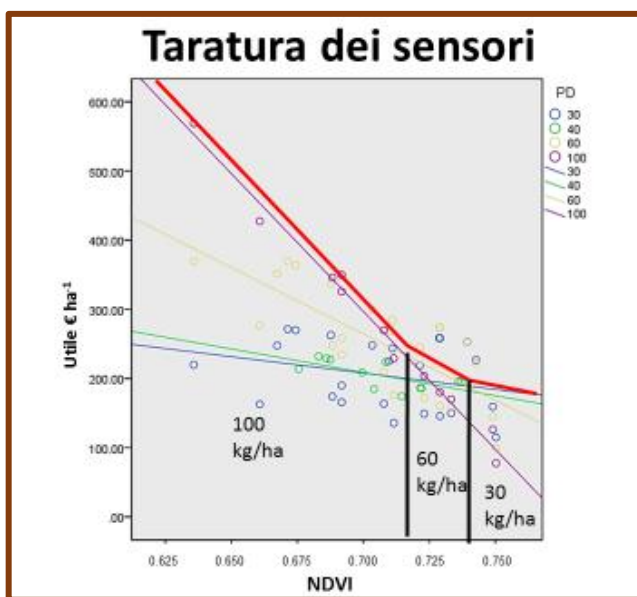


Fig. 3.18 – Curva di concimazione della varietà Gladio al variare dell'indice NDVI

Purtroppo (o per fortuna...!!! Dato questo rappresenta una ricchezza in termini di biodiversità) sui 219.000 ettari seminati in Italia nel 2014 sono state seminate 129 varietà e di queste solo 6 sono state seminate su più di 10.000 ettari di superficie. Solo queste potrebbero giustificare le estese sperimentazioni che vengono richieste per mettere a punto curve di taratura come quella relativa a Gladio. Per tutte le altre si tratterebbe di adottare procedure tecniche più semplificate, come quelle nel seguito descritte.

3.4.3 - Scelta soggettiva dei valori minimi e massimi di fertilizzazione in base a N-rich strip

Il presupposto di questa impostazione deriva dall'ipotesi che, in una generica parcella di camera, qualora l'N non costituisca un nutriente limitante, il colore assunto dalle piante sia "il più verde possibile". Per essere sicuri che una tale area si riscontri nella realtà operativa, i ricercatori statunitensi dall'Università dell'Oklahoma suggeriscono di realizzare una parcella apposita, denominata N-Rich strip, trattata con una adeguata sovraconcimazione in pre-semina.

La parcella N-rich oltre che essere creata somministrando a una parte di terreno una dose di azoto superiore a quella convenzionale si può ottenere mediante la tecnica detta N-ramp. Quest'ultima prevede che, invece di dosare l'azoto con una sola quantità su una singola parcella, si realizzi una strisciata di parcelle nelle quali si dosano quantità crescenti di N in modo da ricercare poi a quale dose si raggiunge un livello di stabilità di colore che definisce, quindi, anche la dose complessiva di azoto per la quale la coltura non risulta più sensibile ad incrementi del medesimo.

Tutte le altre parcelle che si trovano nella medesima camera e, che si differenziano per un colore meno verde rispetto a quella di riferimento, si suppone abbiano sviluppato tale colore a causa di

una quantità di N limitante e, quindi, debbano essere concimate con una quantità di N superiore a quella della parcella di riferimento.

La scelta della parcella N-rich strip consente di rilevare, prima di effettuare la effettiva concimazione in campo, il valore di fondoscala del sensore, nel senso che si suppone che la parcella N-rich strip sia la “più verde possibile”, quindi quella con il maggiore valore di indice letto dai sensori, in definitiva quella che, per il riso nella situazione del nostro Paese, deve ricevere minori quantità di N.

A questo punto si lascia al tecnico, anche sulla base delle sue conoscenze derivate da approcci come quelli descritti ai punti precedenti, di fissare i valori minimi e massimi di concimazione da assegnare alla scala d'indici tipici della sua situazione colturale. Ciò a partire dalla sua esperienza e da prove agronomiche come quelle descritte al punto precedente.

La parcella dovrebbe essere realizzata in un'area rappresentativa della fertilità complessiva del campo. Infatti, se il suolo della camera ha delle differenze di tessitura rispetto alla generalità delle altre parcelle questa può avere notevole influenza sulla crescita colturale e sulla connessa scelta del fondoscala.

Inoltre il comportamento dell'indice può mostrare una grande variabilità in funzione della processione colturale, cioè della coltura precedentemente presente sul terreno. Due camere con lo stesso tipo di terreno seminate con la stessa varietà di riso che l'anno precedente hanno avuto una diversa coltivazione o una diversa coltura presente sul terreno possono mostrare, sulle corrispondenti parcelle N-rich strip, valori di indice di vegetazione notevolmente differenti.

In aggiunta a ciò la parcella deve essere in un'area facilmente accessibile per essere controllata e per eseguire la misura del suo valore d'indice vegetativo impiegando un sensore manuale. Inoltre anche stabilire la dose di N da assegnare a detta parcella per ottenere il massimo di vigore può presentare problemi: di solito questi problemi non si hanno con il mais che sopporta bene le

sovracconcimazioni, ma con il riso non si può affermare la stessa cosa in quanto una sovracconcimazione può portare, come accennato in premessa, a un decremento del vigore.

Infine, in termini organizzativi è molto difficile organizzare delle N-rich strip in aziende come quelle Italiane che difficilmente vanno oltre i 100 ha e seminano su questa superficie complessiva anche una diecina di diverse varietà che hanno risposta differente nei confronti dell'azoto. Il lavoro diventerebbe particolarmente macchinoso, specie nel caso di ricorso alla tecnica dello strip-ramp.

Quindi anche questo approccio, che per agricolture estensive come quelle per le quali esso è stato messo a punto (dove non è infrequente che campi di anche più di 100 ha vengono seminati con un'unica varietà o ibrido colturale) può sembrare semplice, è ancora troppo complesso nella risicoltura lombarda. Da noi, specie su riso, a causa delle limitate dimensioni delle camere, le N-ramp sono inimmaginabili e le N-rich strip sono difficilmente proponibili.

3.4.4 - Scelta soggettiva dei valori minimi e massimi di fertilizzazione in base a rilievi in campo dell'indice di vigore

L'approccio che è in assoluto più semplice per determinare la curva di taratura dei sensori è quello che prevede che il fondoscala, al quale fare riferimento, sia rilevato direttamente in campo prima dell'esecuzione della concimazione senza realizzare preventivamente sovracconcimazioni preventive alcuna parcella rich-strip.

Questa impostazione deriva dall'osservazione che, nei nostri ambienti, raramente si verifica il caso in cui in una intera serie di camere coltivata in una determinata azienda, con una stessa varietà, manchi di una sezione sulla quale non si abbia almeno un minimo di sovracconcimazione.

Per individuare questa parcella è quindi sufficiente eseguire un rilievo che precede la vera e propria concimazione su tutta la

superficie della camera, oppure, in aree dove si conosce che il riso presenta caratteristiche di vigore particolarmente spiccate. Questo rilievo viene generalmente eseguito facendo un giro a vuoto con il trattore impiegando gli stessi sensori che vengono successivamente utilizzati per eseguire la concimazione sito-specifica (figura 3.19). Dalla mappa di vigore redatta a seguito di quest'operazione è facile estrarre i limiti entro i quali andare ad operare e, in funzione dell'esperienza del tecnico e del produttore, definire la tabella (o curva) di taratura.

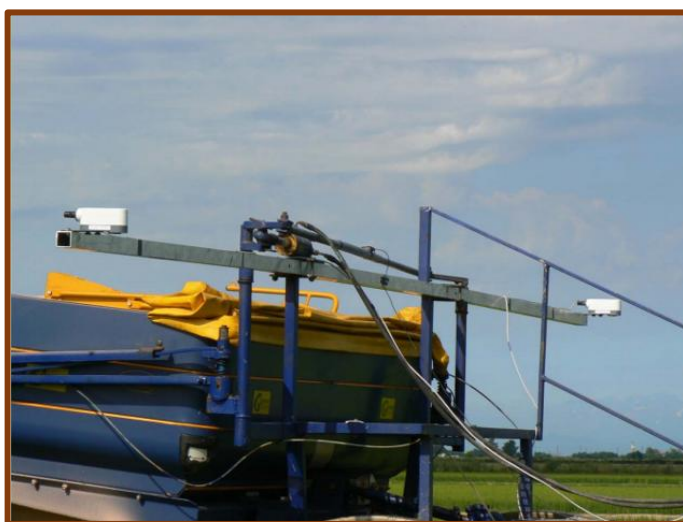


Fig. 3.19 – Sensori ottici OptRx montati a bordo di uno spandiconcime a rateo variabile

4 – Risultati di alcune esperienze

Seguendo le modalità di azione indicate al punto precedente, nell'azienda Tenuta Palestro di Olcenengo sono state eseguite alcune prove di concimazione differenziata. Le prove sono state effettuate su un totale di 180 ha di superficie coltivata. Esse hanno riguardato diverse modalità di concimazione nei tre diversi stadi di:

1. PRE-SEMINA (FISSA – VAR in base a mappe PRESCRITTIVE produttive),
2. ACCESTIMENTO (FISSA – VAR in base a mappe PRESCRITTIVE NDRE anno precedente)
3. DIFFERENZIAZIONE PANNOCCHIA (FISSA – VAR in base a lettura diretta dei sensori preventivamente tarati con i rilievi eseguiti nello stesso anno nel periodo appena precedente)

Le varietà interessate sono state 5. Nel 2013, per tarare i sensori con i quali eseguire la concimazione di cui al punto 3, sono stati rilevati i valori massimo e minimo di NDRE riportati in Tabella.

Tab. 4.1- Risultato dei rilievi di NDRE eseguiti nel 2013

VARIETA' APPEZZAMENTO	NDRE MAX	NDRE MIN
CAN CENTAURO CAM 1 E 3	0,44	0,29
CAN CENTAURO CAM 2	0,43	0,33
GAT CARNISE P CAM 1-3	0,3	0,18
GAT CARNISE P CAM 2	0,3	0,19
MAE SIRIO CAM. 1-3	0,39	0,27
MAE SIRIO CAM. 2	0,36	0,26
MAO DARDO TUTTO MENO 4 S	0,41	0,26
MAO DARDO 4 S	0,36	0,29
RONALDO 1	0,33	0,22
RONALDO 2	0,32	0,23
RONALDO 3	0,31	0,24

Le 8 tabelle di taratura dei sensori in base ai valori NDRE, sono state tutte impostate come negli esempi successivo.

Tab. 4.2 – Primo esempio di tabella di taratura per la varietà
Ronaldo

RONALDO 1		
NDRE		kg/ha fertilizzante
DA	A	
0	0,2	400
0,2	0,22	360
0,22	0,24	320
0,24	0,26	280
0,26	0,28	240
0,28	0,3	200
0,3	0,32	160
0,32	1	140
Tabella elaborata su base NDRE rilevato nel 2012 ed utilizzata il 19/07/13		
Nelle prove sperimentali su:		
Lesca 3° camera (1° e 2° camera dose fissa 310 Kg/ha)		
Vercellesa: 1° - 3° e 5° camera (2° - 4° e 6° camera dose fissa 310 Kg/ha)		

Tab. 4.3 – Secondo esempio di tabella di taratura per la varietà
Ronaldo

RONALDO 2		
NDRE		kg/ha fertilizzante
DA	A	
0	0,22	380
0,22	0,24	360
0,24	0,26	320
0,26	0,28	300
0,28	0,3	280
0,3	0,32	260
0,32	0,34	240
0,34	0,36	200
0,36	0,38	160
0,38	1	140
Tabella utilizzata il 22/07/13 su Orfinaletto		

Nelle 3 differenti fasi di crescita le fertilizzazioni a tasso variabile (VAR) sono state eseguite montando sulla trattrice il Virtual Terminal Integra di AG Leader collegato al control-box (Calibrator Uniq) dello spandiconcime (Bogballe M2W) a controllo elettronico e dotato di celle di carico impiegato per lo spargimento.

Nell'epoca di differenziazione della pannocchia (3° fase), la concimazione VAR è stata realizzata montando due sensori di vigore Opti-Rx montati sullo spandiconcime e collegati al monitor che, in funzione delle tabelle di taratura sopra citate, provvedevano in tempo reale a modulare nella dose prescritta di fertilizzante. I controlli eseguiti hanno evidenziato una correlazione al 98% tra le dosi prescritte e quelle effettivamente distribuite, con un ritardo di esecuzione di 1 secondo, dovuto al tempo richiesto dall'attuatore elettromeccanico dello spandiconcime per adeguare la regolazione.

Data la velocità di avanzamento del mezzo pari a circa 2m/s, il ritardo si traduce nello scostamento di 2 m dell'applicazione rispetto al punto di rilievo.



Fig. 4.1- Spandiconcime Bogballe mentre sparge il fertilizzante alla fase di differenziazione della pannocchia. I sensori OptiRx che rilevano in continuo i valori di NDRE sono evidenziati dalle frecce rosse

In Tabella 4.5 si riporta una sintesi dei risultati ottenuti.

Tab. 4.5 - Sintesi dei risultati ottenuti

PARAMETRO	FERTILIZZAZIONE TRADIZIONALE	FERTILIZZAZIONE A TASSO VARIABILE	VANTAGGIO
Dose complessiva azoto media (kg/ha)	199,58	174,10	-12,8%
Produzione media (t/ha 2013)	7,08	7,45	+5,2%
NUE (kg risone/kgN)	35,48	42,97	+ 21,1%

Come si vede, le produzioni delle tesi concimate in modo variabile (VAR) sono in genere uguali se non superiori a quelle concimate con dosi fisse. Dalle prove è anche risultato che vantaggi delle concimazioni variabili (migliore utilizzazione dell'azoto NUE in termini di Kg risone/kgN) si amplificano quando le tecniche di concimazione sito specifica si applicano anche nelle fasi di concimazione Pre-semina e Accestimento.

5 – Possibile impiego dei droni per la mappatura dei valori di vigore.

Per evitare di dovere effettuare la mappatura degli appezzamenti con un giro a vuoto del trattore equipaggiato di sensore NDRE, alcune prime esperienze sono state effettuate impiegando un esacottero affittato da una ditta commerciale operante nel settore. In particolare, con coltura nello stadio di differenziazione della pannocchia, la mappatura aerea completa dell'appezzamento è stata effettuata equipaggiato il drone con una fotocamera modificata per la determinazione di indici di riflettanza su una maglia di circa 1x1 m, e successiva interpolazione per aree a riflettanza simile (figura 5.1).



Fig. 5.1 - L'esacottero utilizzato per le prime prove

Sono state scattate molte fotografie, con il sole allo Zenit (ore 13) ed alle 10, al fine di valutare l'influenza del riflesso luminoso sull'acqua di sommersione sull'attendibilità dei rilievi.

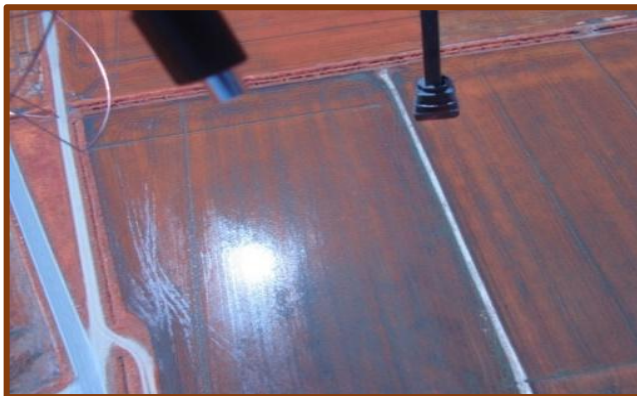


Fig. 5.2 – I riflessi del sole in risaia

Le immagini sono state georeferenziate tramite il programma SMS Advanced di AG Leader, e tramite lo stesso è stato elaborata una mappa dell'indice di vigore NDVI. A partire da questa si è effettuata una scelta di punti rappresentativi a riflettanza diversificata sulle quali eseguire la determinazione dell'azoto assorbito dalla coltura a terra mediante sensori Opt-Rx, in modo da confrontare le due serie di valori. Sono stati scelti 14 punti in modo da coprire il più possibile la gamma di indici di vigore così determinata (figura 5.3).



Fig. 5.3– Tavola georeferenziata degli indici di vigore rilevati da esacottero, e scelta dei punti di prelievo (cerchi verdi)

Nei 14 punti, dopo aver eseguito le letture di vigore (NDVI ed NDRE) con un Opti Rx portatile di AG Leader, sono stati eseguiti prelievi della vegetazione (culmi e foglie) su superfici sempre uguali e su questi è stata eseguita una analisi del contenuto di N attraverso uno strumento NIR da laboratorio. Purtroppo, non sono state trovate correlazioni attendibili tra l'azoto assorbito, come misurato nei campioni, e le letture della fotocamera aerotrasportata, mentre è stata trovata una correlazione accettabile con le misure fornite dall'Opti Rx portatile. Per superare tale problema, sono state successivamente effettuate delle prove impiegando un prototipo di drone messo specificatamente a punto dalla ditta MAVTEC e montando direttamente a bordo sul medesimo il sensore OPTrx (figura 5.4). Il velivolo è stato fatto operare a un'altezza dal suolo di circa 1,5 m.



Fig.5.4- Secondo drone utilizzato in campo. Si vede il sensore direttamente montato a bordo

Anche in questo caso le misure sono state eseguite con riso allo stadio di differenziazione della pannocchia. Le misure dell'indice NDRE ottenute dal sensore in volo sono state confrontate, per le stesse parcelle di terreno, con quelle ottenute

impiegando un sensore manuale a terra. I risultati del confronto sono riportati in figura 5.5.

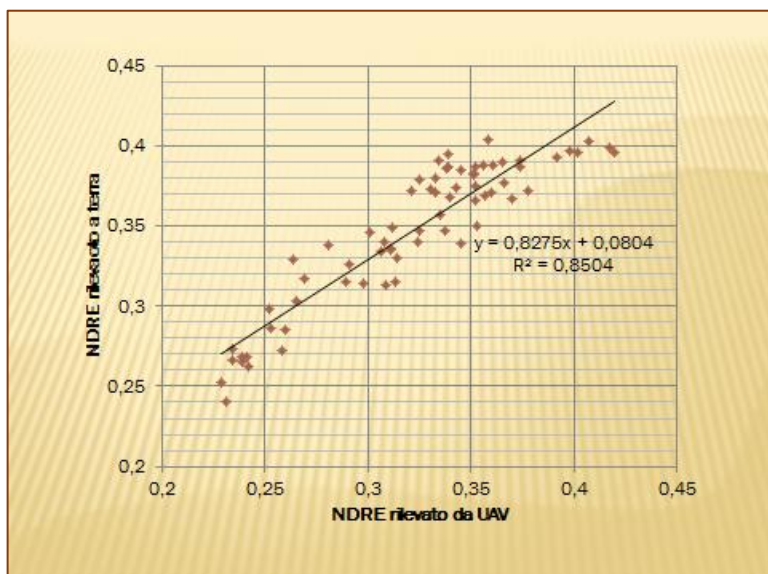


Fig.5.5 - Relazione tra i dati rilevati in NDRE a terra e da un UAV

Dalla figura si evince come in questo caso sia stata ottenuta un'elevata correlazione tra le misure eseguite in volo e quelle eseguite a terra. Questo lascia ben sperare che, in futuro, questa tecnologia possa essere applicata in situazioni operative.

Allo scopo, attualmente si stanno applicando una serie di modifiche del velivolo atte a garantire una stabilizzazione del volo che consenta di eseguire in automatico i rilievi a una quota di pochi metri dal suolo.

6 - Conclusioni

I risultati ottenuti dal presente studio dimostrano come le tecniche innovative di cui si è discusso possono rappresentare sicuramente un'opportunità per i risicoltori del milanese e, più in generale del nostro Paese.

L'adeguamento in modo continuo e automatico dei dosaggi del fertilizzante alle reali esigenze delle varie zone dell'appezzamento permette di rendere più efficiente l'impiego dei fertilizzanti azotati, evitando carenze ed eccessi di concimazione. Va inoltre osservato che le dosi eccessive di azoto aumentano sensibilmente la virulenza delle malattie fungine anche nelle varietà normalmente resistenti, rendendo necessari trattamenti con fungicidi. Attraverso l'impiego di tecnologie di concimazione mirata che si basano sull'impiego di sensori ottici per il rilievo del vigore vegetativo della coltura in atto è prevedibile anche una significativa riduzione delle quantità di concimi azotati e fungicidi attualmente impiegate.

Si stima che, impiegando sensori ottici per il rilievo del vigore vegetativo del riso ed evitando di fertilizzare in eccesso le aree con vegetazione più vigorosa, si possa risparmiare fino al 15-20% di fertilizzante azotato, senza peraltro penalizzare la produttività.

Tuttavia l'introduzione di queste tecniche richiede un'elevata specializzazione da parte degli operatori che debbono andare ad impiegare le medesime. Cruciale per una loro diffusione, quindi, è la messa in essere di un'ampia opera di assistenza tecnica che permetta agli operatori che si vogliono orientare verso queste pratiche innovative di acquisire le conoscenze necessarie a impiegare le medesime in modo proficuo.

BIBLIOGRAFIA

Bausch W.C., Delgado J.A., (2003). **Ground-based sensing of plant nitrogen status in irrigated corn to improve nitrogen management.** In **Digital Imaging and Spectral Techniques: Application to Precision Agriculture and Crop Physiology** - T. Vantoai et al. ASA Spec. Publ. 66. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, 145-157.

Ed.F.S.Zazueta by American Society of Agricultural Engineers - June 10-14, Cancun, Mexico, 548-556.

Chang J., D. E. Clay, K. Dalsted, S. Clay, and M. O'Neill (2003). **Corn (Zea mays L.) Yield Prediction Using Multispectral and Multidate Reflectance** - Agronomy Journal, 95, 1447-1453.

Chunjiang, Z., Liangyun, L., Jihua, W., Wenjiang, H., Xiaoyu, S., and L. Cunjun (2005). **Predicting grain protein content of winter wheat using remote sensing data based on nitrogen status and water stress** - International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 7(1):1-9.

Doraiswamy, P. C., Moulin S., Cook P. W., Stern A. (2003). **Crop yield assessment from remote sensing** - Photogrammetry Engineering and Remote Sensing -69(6), 665-674.

Goutouly J.P., Drissi R., Forget D., Gaudillère J.P., (2006). **Characterization Of Vine Vigour By Ground Based NDVI Measurements** - VI International Terroir Congress 2006 - 3-5 Juillet, Bordeaux, 237-241.

Gubiani R., Lazzari M., Pergher G., Zucchiatti N., Landonio S., Mazzetto F. (1999). **Prime verifiche della precisione di un sistema di misura e mappatura automatica delle produzioni di mais** - Convegno AIIA "L'innovazione tecnologica per l'agricoltura di precisione e la qualita' produttiva"- 22-23 giugno 1999, Torino.

Landonio S. (2009). **L'impiego di sensori a infrarossi per la gestione sostenibile dei vigneti**. PalazzoTurati – Camera di Commercio di Milano.

Lamb D.W, Hall A., Louis J., (2001). **Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity** - Australian Grapegrower & Winemaker - 449a, 89-92.

Lebourgeois V., Bégué A., Martiné J.F. (2008). **Sensitivity of airborne-derived crop stress indices to the agricultural practices** - Paper Proc. Ageng2008, Hersonissos – Crete, 23-25 June.

Mazzetto F. (2006). **La centralità dei sistemi informativi aziendali tra management informatizzato e agricoltura di precisione** - Proc. Workshop CITIMAP 2006: Piacenza, 20 Aprile – Telerilevamento per un'agricoltura sostenibile.

Miniotti E., Tenni D., Beltarre G., Romani M., Sacco D. (2014). **Sensori per la concimazione** – Terra & Vita, 14, pag. 47-49, Edagricole, Bologna.

Moshou D., Bravo C., Wahlen S., West J., McCartney A., De Baerdemaeker J., Ramon H. (2006). **Simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops using proximal optical sensing and self-organising maps** - Precision Agric. - 7:149-164.

Mulla D.J. (2013). **Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps** – Biosystem Engineering, 114, pag. 358-371, Elsevier.

NRC - National Research Council (1997). **Precision Agriculture in the 21st century** - Geospatial and Information Technologies in crop management, National Academy Press, Washington - D.C., p.149.

Palacios-Orueta A., Whiting M. L., Ustin S. L., Litago J., Garcia M., Khanna S. (2008). **Cotton phenology analysis with the new remote**

sensing spectral angle indexes AS1 and AS2 - Paper Proc. Ageng2008, Hersonissos – Crete, 23-25 June.

G.Sarasso (2007). **Precision farming: first experiences in a rice farm near Vercelli** - Proc. IV Temperate Rice Conf., Novara, Jun 25-28, 2007.

Sarasso G. (2011). **Il progetto Astris** – Annali dell'Accademia dell'Agricoltura di Torino, Volume CLIII, pag. 23-28, Arti Grafiche San Rocco, Grugliasco (TO).

Shaver T.M., Westfall D.G., Khosla R., (2007). **Comparison of three hand-held NDVI (normalized difference vegetation indices) remote sensor for nitrogen management in corn** - Paper Proc. Precision Agriculture '07, Skiathos (GR), 3-6 June.

Stone M.L., Solie J.B., Raun W.R., Taylor S.L., Ringer J.D., Whitney R.W., (1995). **Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat** -ASAE Paper AETC 95133.

Swain Kishore C., H. P. W. Jayasuriya (2008). **Estimation of yield and protein content of rice using remote sensing images obtained by radio controlled unmanned helicopter** - Paper Proc. Ageng2008, Hersonissos – Crete, 23-25 June.