

---

# Corso di Meccanizzazione di precisione

## Sistemi di mappatura delle produzioni

*Prof. Ing. Francesco Santoro*

*Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (Di.S.S.P.A.)*

*Università di Bari Aldo Moro*

---

# Introduzione

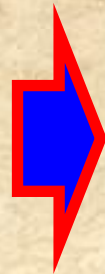
La **registrazione sito specifica (o registrazione georeferenziata)** delle produzioni ha l'obiettivo principale di conoscere l'eterogeneità (o variabilità) delle produzioni di un appezzamento al fine di:

- conoscere l'eventuale potenziale produttivo differente in diverse sub-aree del campo e valutare se per questo potenziale occorra utilizzare tecniche di lavorazione differenziata (VRT);
- calcolare le asportazioni di nutrienti connessi alla raccolta di prodotti e sottoprodotti in modo da bilanciare le medesime;
- valutare se le eventuali tecniche di VRT applicate nella distribuzione dei diversi fattori produttivi abbiano avuto degli effetti;
- effettuare una eventuale raccolta differenziata.

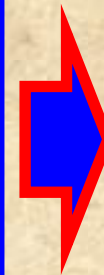


# Introduzione

La **registrazione sito specifica (o registrazione georeferenziata)** si può realizzare solo impiegando sensori, computers, software di elaborazione e metodiche (tecniche ed agronomiche) che garantiscano una sufficiente accuratezza e precisione nella raccolta ed elaborazione dei dati su più stagioni produttive.



In altri termini, i dati ottenuti dai sistemi di misura (descritti nel seguito) consentono di ottenere delle informazioni utili a prendere **decisioni di tipo operativo più o meno automatizzate**, solo in alcuni casi, ovvero **quelli essenzialmente riconducibili alla raccolta selettiva**

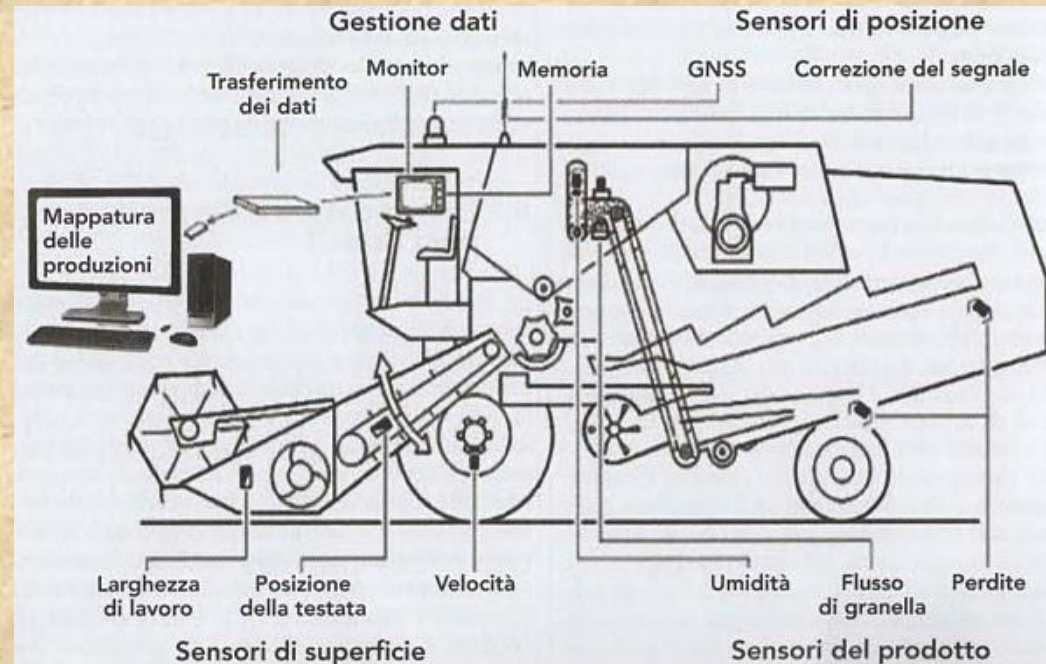


**Nella maggior parte delle situazioni, gli ambiti decisionali in cui si impiegano i risultati delle misure in campo sono quelli del controllo direttivo e strategico dei processi.**

# Il funzionamento

Il funzionamento del sistema di raccolta dati produttivi georeferenziati nelle mietitrebbiatrici, si basa essenzialmente sull'integrazione di diversi sottosistemi:

- **sensori di misura della quantità e qualità di prodotto raccolto (massa o volume, densità, umidità, perdite, ecc.);**
- **sensori di localizzazione (GNSS) a correzione differenziale;**
- **sensori per la misura dell'area di riferimento (larghezza di raccolta, spazio percorso, ecc.);**
- **sistema di registrazione ed elaborazione, con specifici algoritmi, interfacce utente, sistemi di trasferimento dati.**



La mietitrebbiatrice, durante il lavoro, effettua con frequenti intervalli di campionamento, usualmente inferiori ad 1 s, misure della quantità di prodotto raccolto durante l'intervallo di campionamento, che vengono registrate e georeferenziate.



# Il funzionamento

- Per poter calcolare la *produzione areica* ( $t\ ha^{-1}$ ) per ciascun punto di misura, la produzione misurata dai sensori dev'essere divisa per l'area da cui è stata raccolta.
- A tal proposito, la misura delle singole aree alle quali riferire la produzione, rappresenta una condizione indispensabile per tutti i tipi di sensori impiegabili per la misura delle produzioni, al fine di realizzare un efficiente sistema di mappatura.
- Per una misura corretta delle aree su cui riferire la quantità di prodotto raccolto, occorre sapere sia la larghezza effettiva di lavoro sia la lunghezza dell'area, che dipende dalla velocità d'avanzamento della macchina.
- La *Larghezza Teorica* viene inserita nel sistema di calcolo a bordo della raccogliitrice; si tratta della larghezza massima della barra di taglio della mietitrebbiatrice.
- Durante la raccolta capita spesso che la larghezza di lavoro effettiva sia minore, ad esempio tipicamente nelle passate di chiusura.
- Sulla barra, quando non a file, sono presenti dei sensori che determinano, con una frequenza di campionamento dell'ordine anche dei 10 Hz, il *grado di riempimento della barra* e da questo la *Larghezza Effettiva di Lavoro*.

# Il funzionamento

- Nel caso delle barre a file i sensori sono di tipo on-off, per attivare o disattivare singole file.
- In alternativa, in grado di riempimento viene determinato attraverso algoritmi che si basano sia sulla forma geometrica dei campi sia sui percorsi già registrati dal Sistema GNSS.
- La *Larghezza Effettiva* media nel tempo di campionamento costituisce uno dei lati dell'area alla quale assegnare la produzione registrata.
- L'altro lato (Lunghezza) è determinato moltiplicando la *Velocità Effettiva* di Avanzamento per il *tempo di campionamento* che dipende dalla frequenza di misura del prodotto raccolto.
- I sensori di flusso o **quantimetri**, presenti sulla macchina, misurano in continuo il flusso di prodotto (FP) che attraversa la macchina, ma, ad ogni intervallo di campionamento, viene integrata la quantità raccolta e divisa per l'area di riferimento per ottenere un dato di resa areica ( $t\ ha^{-1}$ ).
- Questo dato viene registrato per il prodotto tal quale, ma può essere convertito in sostanza secca conoscendo il valore di umidità misurato da un altro sensore

# Sensori nella mietitrebbia: sensori di flusso

Classificazione dei dispositivi per la misura di flusso di prodotto montati sulle mietitrebbiatrici

- Indiretti
- ad impatto

in base alla variabile misurata:

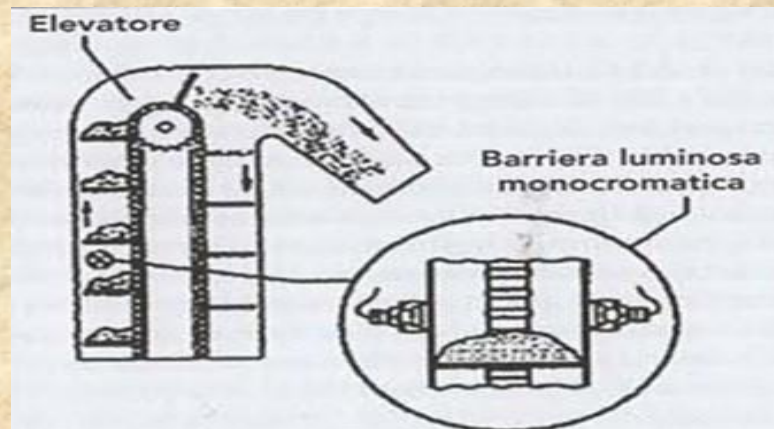
- Massa
- Volume.

- I **sensori di massa** (celle di carico montate su tramogge, coclee, trasportatori, ecc.) ed i **sensori indiretti** (radiometri a raggi gamma, ad effetto Coriolis, piezoelettrici, capacitivi, ecc.) **sono stati ormai abbandonati**, in quanto caratterizzati
  - da prestazioni tecnico-economiche inferiori ad altre tipologie
  - potenzialmente pericolosi per il principio di funzionamento (radiometrici a raggi gamma).
- **Essenzialmente, quindi, oggi sono impiegati solo sistemi a misura volumetrica o ad impatto.**

- **I sensori volumetrici si basano sul conteggio del numero totale dei «volumi elementari» che vengono spostati dall'elevatore della mietitrebbia**, elevatore che ha il compito di trasportare il materiale in uscita dall'apparato di pulizia, posizionato vicino al terreno, per trasferirlo all'interno del serbatoio della granella.

# Sensori nella mietitrebbia: sensori di flusso

- Con i sensori volumetrici, **il volume totale effettivo di materiale che passa attraverso il misuratore, in un dato intervallo di tempo, è dato dal prodotto dei volumi elementari per il numero di passaggi totalizzati.**
- **Purtroppo, i volumi elementari che si formano nell'elevatore non sono costanti.**
- Per superare tale problema s'impiegano **sensori ottici.**
- **I sensori ottici operano tramite l'emissione di luce monocromatica che investe il prodotto da un lato.**
- **Sul lato opposto, un ricevitore misura l'energia luminosa non assorbita dal prodotto e, in base a ciò, con opportuna taratura, si determina il grado di riempimento delle camere dell'elevatore.**



Schema di funzionamento di un sensore di resa ottico sull'elevatore.

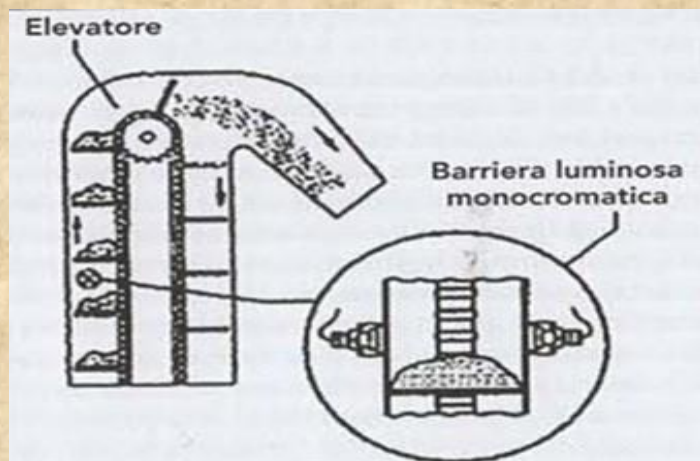
Sull'elevatore (in alto) il sistema sensoristico è formato da un emettitore ed un ricevitore (schema in alto al centro).

Nella foto in basso, uno dei due sensori montati sull'elevatore in un'applicazione retrofitted



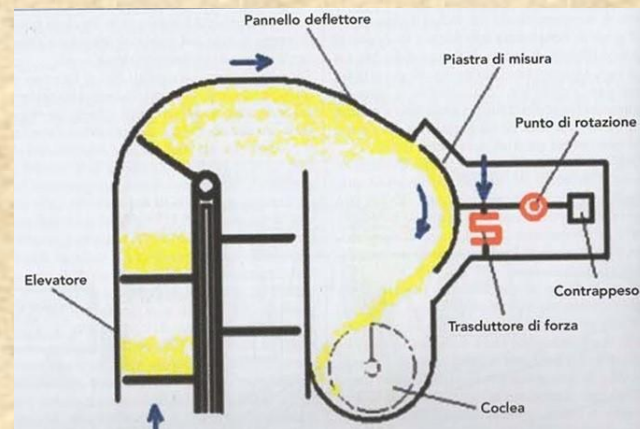
# Sensori nella mietitrebbia: sensori di flusso

- I sensori sono collocati ad una altezza che può variare da modello a modello, **ma che viene scelta in modo che si vada ad operare in un settore il più possibile rettilineo della catenaria**, in cui le tazze procedono ad una velocità il più possibile costante.
- **In altri termini, in funzione del grado di riempimento di ogni paletta, si originano i tempi di alternanza differenti di luce/buio che vengono correlati alla portata volumetrica di prodotto.**
- Per calcolare il flusso di prodotto (in peso secco) occorrono anche i sensori per la determinazione in continuo della densità e dell'umidità del raccolto.
- **Su terreno in pendenza, inoltre, si impiegano sensori angolari (o inclinometri) per compensare l'imprecisione dovuta allo scivolamento laterale della granella.**



# Sensori nella mietitrebbia: sensori di flusso

- Nei dispositivi con funzionamento ad impatto la granella urta un sensore costituito da un piatto piano sagomato (pieno o a diti) e da un estensimetro (o potenziometro) **che trasforma l'energia cinetica – della granella che va ad impattare sul sensore – in un segnale elettrico, tanto più elevato quanto maggiore è il flusso di prodotto.**
- Nell'esempio di figura, il sensore è costituito da una piastra curva, posta sull'estremità superiore dell'elevatore.
- La piastra è isolata meccanicamente dalla mietitrebbia, 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, permette di ricavare la forza incidente.
- La velocità con cui il prodotto arriva sulla piastra è quella dell'elevatore e può essere misurata attraverso un encoder montato sull'albero motore del medesimo elevatore.



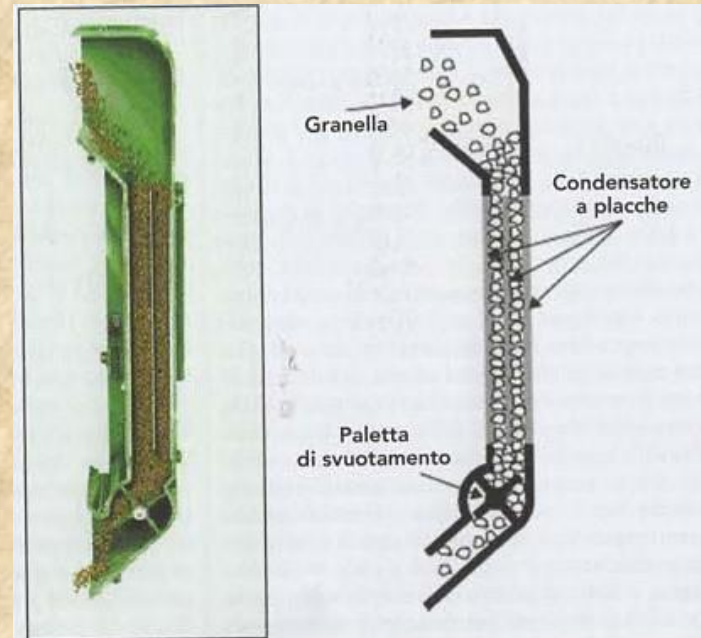
Schema di funzionamento di un sensore di resa a piastra curva con cella di carico.

# Sensori nella mietitrebbia: Sensori di densità

- I sensori volumetrici, per poter convertire il dato volumetrico nella massa di prodotto raccolta, vanno integrati con misuratori di densità.
- Oltre il kit per la veloce determinazione manuale della densità, sono stati messi a punto dispositivi per il rilievo automatico ed in tempo reale del valore della densità del prodotto.
- Questi dispositivi si basano sul principio del confronto fra un volume di riferimento di densità nota, che nel sistema di misura rimane costante, ed un ugual volume all'interno di contenitore, che sequenzialmente viene riempito con la granella in fase di campionamento.
- Proprio per il principio meccanico di funzionamento, il contenitore che accoglie il volume di granella non sempre è colmo fino al medesimo livello e, pertanto, le prestazioni di questo dispositivo di misura non sono accurate e precise, pur ottenendo prestazioni superiori ai misuratori di tipo manuale

# Sensori nella mietitrebbia: Sensori di umidità

- **La misura dell'umidità** è necessaria per risalire al valore della produzione espresso in termini di sostanza secca.
- **L'umidità della granella viene, di solito, calcolata a partire dal dato della costante dielettrica che si rileva nella miscela aria/granella passante in prossimità dei sensori di flusso.**
- I sensori sono essenzialmente dei *condensatori a placche* o *cilindrici*.
- Sono sempre meno impiegati i sensori che operano in continuo, in quanto influenzati dal flusso di prodotto e, quindi, dalla variabilità delle densità del materiale in via di passaggio.
- Attualmente i sistemi prevedono, che il sensore operi in modo discontinuo, ad intervalli di tempo costanti, **utilizzando sistemi di riempimento/svuotamento (a palette o altro) che provvedono a far sostare il prodotto tra le pareti del condensatore il tempo sufficiente per eseguire la misura.**



Sensore di umidità capacitivo con condensatore a placche in condizioni operative (Fonte John Deere).

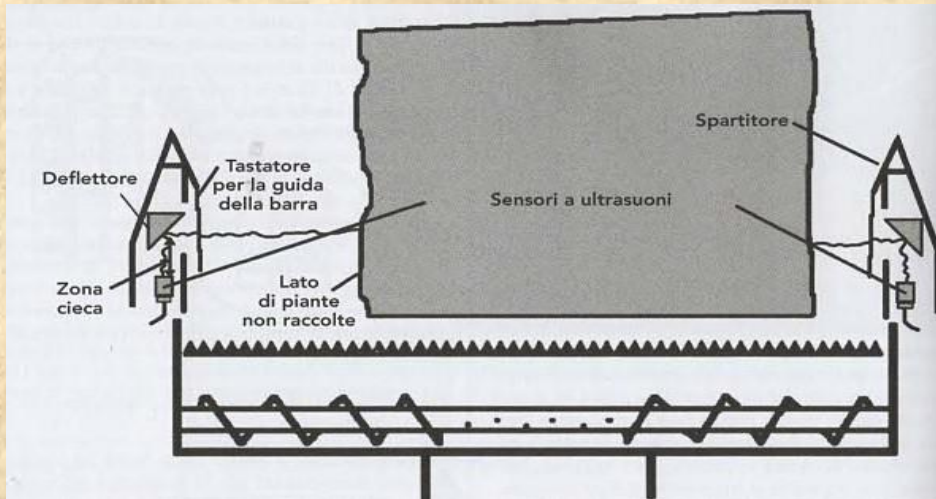


# Sensori nella mietitrebbia: Sensori di misura delle prestazioni della barra

- I sensori montati a bordo della barra raccoglitrice determinano:

- la larghezza effettiva di lavoro
- la posizione rispetto al terreno.

- La larghezza effettiva di lavoro è importante: un'impresione in questa misura può portare ad errori nella stima delle produzioni.
- Un errore di 30 cm su una barra larga 5 m fa sopravvalutare del 6% la resa.
- Si può rimediare a questo inconveniente inserendo manualmente il valore corretto se la barra non è completamente utilizzata, oppure con un dispositivo elettronico basato su rilevatori di distanza ad ultrasuoni (vedi figura).



In Figura è illustrata una misura della larghezza effettiva di lavoro della barra attraverso sensori ad ultrasuoni.

- I sensori, posizionati negli spartitori, inviano un segnale a impulsi prima sui deflettori (triangoli grigi in figura) e da questi sulla parete della cultura in atto.
- L'onda riflessa dei bordi della cultura ritorna ai sensori permettendo di calcolare la distanza percorsa.
- Con questo dato e nota la larghezza teorica della barra, viene calcolata la larghezza di lavoro effettiva.

# Sensori nella mietitrebbia: Sensori di misura delle prestazioni della barra

I sensori montati a bordo della barra raccogliitrice possono determinare:

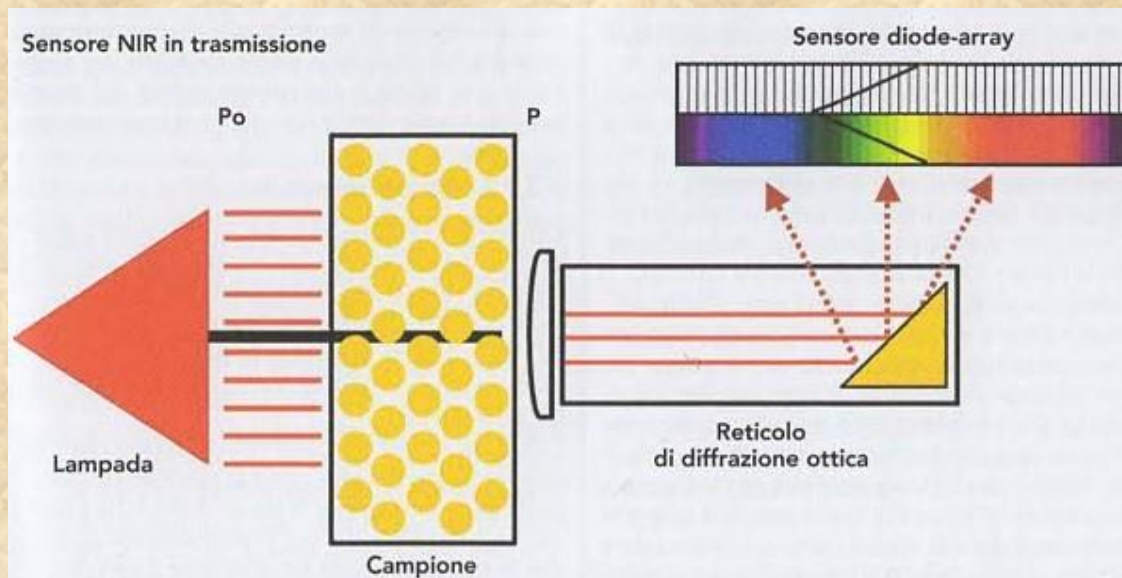
- **la larghezza effettiva di lavoro**
- **la posizione rispetto al terreno.**

**La posizione della barra rispetto al terreno viene rilevata sia in senso verticale che orizzontale.**

- Entrambe le modalità sono in grado d'influenzare il calcolo della produzione.
- Nel primo caso, la rilevazione della barra in posizione sollevata, ad esempio in fase di svolta a fine campo, con organi trebbianti in funzione, determina la sospensione della registrazione dei dati che viene ripresa quando la barra ritorna in posizione di lavoro.
- Il sensore dev'essere tarato in maniera tale da consentire la variazione dell'altezza di taglio della barra sulla base delle condizioni operative riscontrate in campo, senza che ciò comprometta la registrazione dei dati.
- In questo modo si può procedere alla manovra in campo senza influenzare la qualità dei dati produttivi.
- Il sensore della posizione orizzontale della barra fornisce informazioni per correggere le eventuali variazioni di flusso del prodotto derivanti dall'inclinazione della barra sul piano orizzontale in fase di lavoro.

## Sensori nella mietitrebbia: Sensori della qualità della granella

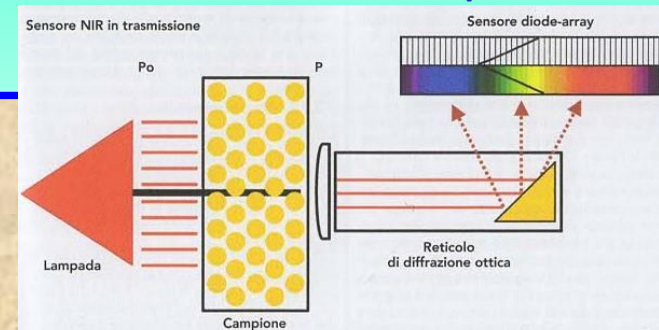
- Le informazioni relative agli aspetti di raccolta della granella possono essere ottenute direttamente in fase di raccolta della granella.
- Si utilizzano sensori NIRs (Near InfraRed spectroscopy), operanti nell'infrarosso vicino e funzionanti in riflessione, assorbimento o trasmissione.
- Nella Figura è riportato lo schema di uno strumento operante in trasmissione con array di diodi.



- Spettrofotometro ad array di diodi misurare la qualità della granella sulle mietitrebbiatrici.
- Una lampada produce il fascio di luce di potenza  $P_0$  che viene in parte assorbito attraversando il campione di granella.
- All'uscita la luce residua di potenza  $P$  viene suddivisa in bande dal reticolo di diffrazione e attraverso un deflettore (triangolo in figura) inviata su un banco (array) di diodi, ognuno dei quali in grado di provvedere alla misura dell'intensità della banda che gli è assegnata.
- Il confronto dei risultati di misura ottenuti con un database di risultati di analisi effettuate su campioni standard di caratteristiche conosciute permette di ricostruire la composizione chimico-fisica del campione analizzato.

# Sensori nella mietitrebbia: Sensori della qualità della granella

- I sensori possono essere montati direttamente sull'elevatore in flusso continuo oppure posizionati all'interno di camera di rilevazione, posta sulla sommità dell'elevatore e riempita periodicamente di granella.
- **Una volta calibrati correttamente, restituiscono tipicamente misure di umidità, proteine e, in alcuni casi, contenuto in grassi della cariosside, per via non distruttiva.**
- La calibrazione non risulta affatto semplice, poiché è influenzata non solo dalle differenti caratteristiche chimico-fisiche dei diversi tipi di granella e, in sub-ordine, dalle diverse varietà delle medesime, ma anche da numerosi fattori ambientali.
- Una volta costituiti database di analisi specifiche per ogni singola varietà, è relativamente semplice, ottenere una relativamente buona precisione di misura.
- Molto meno facile garantire un'elevata accuratezza.
- Peraltro, anche a causa delle difficoltà cui si è qui brevemente accennato, **la diffusione di questi sistemi di misura nel mondo operativo è al momento sporadica.**





## Procedura per una buona mappatura: problematiche

- La **posizione dell'antenna del sensore GNSS sulla macchina** può generare errori nei sistemi di registrazione della produzione.
- La **posizione dell'antenna deve consentire che la misura della posizione ottenuta dal ricevitore sia in corrispondenza della barra di taglio (offset)**.
- **Occorre considerare l'intervallo di tempo**, nel range da 8 a 20 s, tra il taglio del prodotto e la sua misura fatta dal sensore di flusso montato sulla macchina.
- Questo ritardo corrisponde, principalmente, al tempo che la granella impiega per andare dalla testata di taglio alla sommità dell'elevatore dove sono posizionati i sensori.

- I sistemi di convogliamento, pulitura e trebbiatura possono mescolare la granella raccolta in punti diversi del campo, variando la portata del prodotto.
- Il prodotto si redistribuisce già alla testata e, mentre un'aliquota del prodotto battuto, separato e pulito arriva direttamente all'elevatore, un'altra aliquota, a volte consistente, torna al battitore per essere nuovamente vagliata.
- Questo processo fa sì che la granella raggiunga in ritardo il sito di misura e si produca una conseguente variazione nell'entità del flusso.
- I programmi di elaborazione dei dati generalmente considerano questo ritardo e correggono automaticamente il dato in uscita dalla centralina, sulla base di impostazioni fatte dall'operatore.

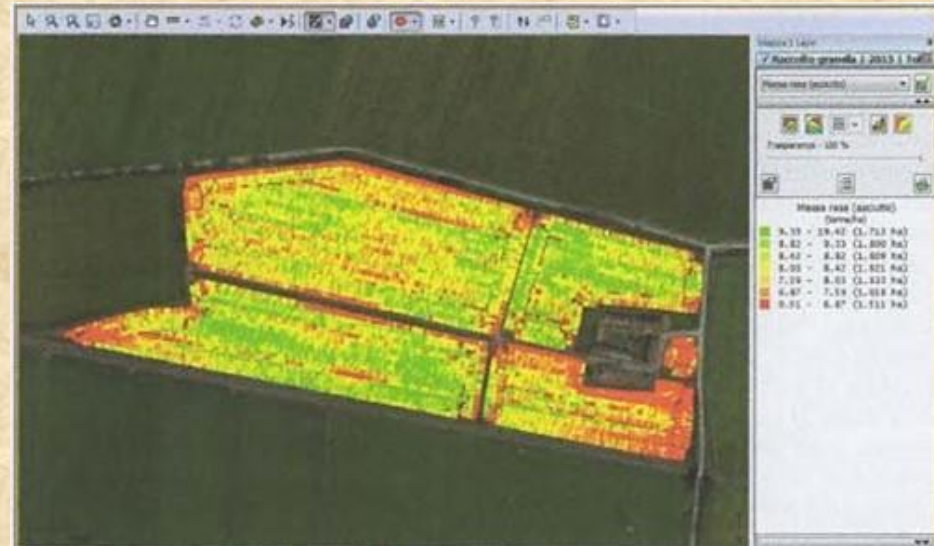
# Gestione dei dati per una buona mappatura delle rese

Una mappa di produzione si rappresenta con una scala di colori (palette) e le alternative sono sostanzialmente due:

- suddividendo il range di valori da rappresentare (intervallo tra la produzione minima e massima registrata) in una scala che presenti intervalli regolari;
- suddividendo i valori a disposizione in gruppi omogenei per numerosità di rilievi.

Il primo approccio si impiega con produzioni poco variabili all'interno dell'appezzamento, il secondo, invece, in presenza di variabilità molto elevate. Quindi, la rappresentazione può avvenire:

- **visualizzando sulla mappa i dati grezzi;**



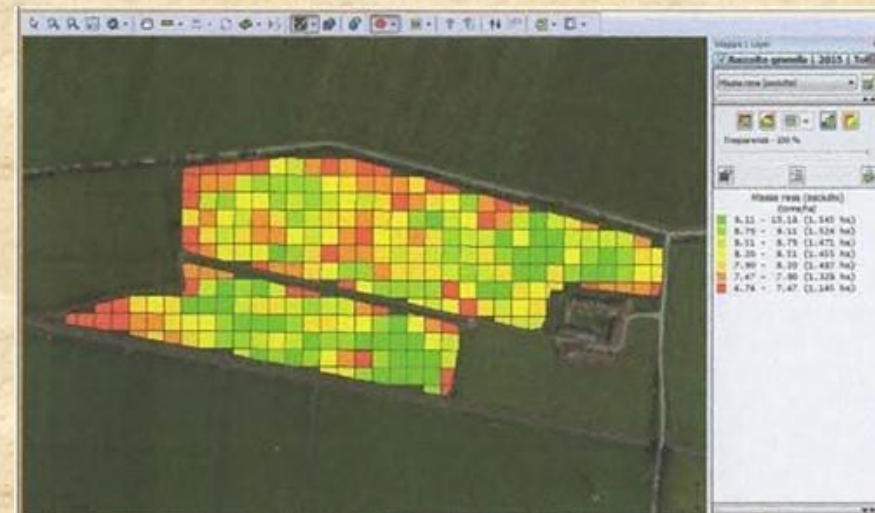
# Gestione dei dati per una buona mappatura delle rese

- elaborando i dati grezzi con una tecnica di spazializzazione, per avere una mappa uniforme del campo, anche in presenza di dati spazialmente irregolari, a causa di dati eliminati e della distanza variabile tra le passate successive.

Nella maggior parte dei casi, il metodo d'interpolazione impiegato è il kriging, in quanto è uno dei metodi più flessibili. In particolare il block kriging è utile per rappresentare i dati su griglie con celle regolari (ad esempio di 10x10 metri).

Le dimensioni della griglia possono essere impostate in modo da essere compatibili con quella dell'unità di gestione agronomica per successive operazioni a rateo variabile (ad esempio, larghezza di lavoro dello spandiconcime).

Questo, con lo scopo di agevolare la successiva realizzazione di mappe prescrittive da caricare sulle macchine operatrici a rateo variabile;



## Gestione dei dati per una buona mappatura delle rese

- mediante ulteriori elaborazioni in zone omogenee ai fini gestionali.

A tale scopo, esistono diverse tecniche, dette di clustering, ed appositi software che facilitano la loro esecuzione (es.: Management Zone Analyst).

Comunque, se si vogliono individuare in un campo delle zone ad alta, media o bassa produttività, è imperativo impiegare delle mappe della resa di diversi anni (minimo 5) a causa dell'elevata variabilità da un anno all'altro, tipica delle mappe di produzione.

