



FEASR



REGIONE DEL VENETO



FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI



**Importanza dei sistemi di distribuzione degli effluenti come  
misure di mitigazione dell'impatto ambientale degli allevamenti**

**Andrea PEZZUOLO - Luigi SARTORI**

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TeSAF)

Università degli Studi di Padova



( cod. P4-42-21 )

Iniziativa finanziata dal Programma di Sviluppo Rurale per il Veneto 2014-2020  
Intervento 2.3.1 - Formazione dei consulenti



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**TESAF**

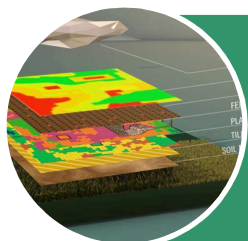
# Outline



Distribuzione degli effluenti: contesto e vincoli



Tecniche di distribuzione: confronto/valutazioni



«Conoscere l'effluente»: Tecnologie e Percorsi di Agricoltura di Precisione

# Introduzione

La gestione degli effluenti è un punto strategico per la sostenibilità degli allevamenti

## UNA GESTIONE NON EFFICIENTE



### Aria

- Ammoniaca e gas serra ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ )
- Emissioni odorogene



### Suolo

- Accumulo di elementi minerali poco solubili, metalli pesanti e fosforo



### Acque (superficiali/falda)

- rilascio di nutrienti solubili in eccesso (nitrati) e fosforo → Eutrofizzazione

### Problematiche a livello aziendale:

- Eterogeneità fisico-chimica degli effluenti
- Inefficienze operative/aziendali
- Costi colturali maggiori (concimi minerali)



## Contesto

Direttive Europee, Nazionali e Regionali disciplinano la gestione dell'attività zootecnica garantendo la tutela dell'ambiente (suolo, acqua, aria).

Richiedendo alle aziende stesse di gestire gli effluenti con la massima efficienza a maggior ragione in zone particolarmente «*vulnerabili*»

Direttiva 676/91/CE (Nitrati)

Direttiva 2010/75/CE (IPPC)

Direttiva 2016/2284 (NEC)

...



ANIMALE  
(deiezioni)



STRUTTURE  
ZOOTECNICHE E  
TRATTAMENTI



SISTEMI DI  
STOCCAGGIO



SISTEMI DI  
DISTRIBUZIONE

## Contesto

Necessità di agire in modo «integrato e virtuoso» per ridurre inefficienze e gli impatti



ANIMALE  
(deiezioni)

- Migliorare l'efficienza alimentare (razionamento) per ridurre la quota di escrezione di nutrienti a parità di prodotto finito (latte/carne).
- Più del 70% dell'azoto e del fosforo «assunto» dall'animale vengono «escreti» e sono contenuti negli effluenti zootecnici (Provolo, 2020).



STRUTTURE  
E TRATTAMENTI



SISTEMI DI  
STOCCAGGIO

- Ottimizzare la gestione dell'effluente «prodotto»:
  - ✓ Strategia di riduzione o di valorizzazione dell'azoto?
  - ✓ Riduzione dei volumi (trattamenti/stoccaggio)?
  - ✓ Ridurre le perdite in fase di stoccaggio (coperture)?
  - ✓ I dimensionamenti strutturali incidono sulla durata del “*periodo utile*” per la distribuzione in campo.

# Distribuzione degli effluenti: quali vincoli?

## VINCOLI LEGISLATIVI

- Direttiva NITRATI (91/676/CE) definisce le modalità di utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici:
  - Temporali: periodi di divieto alla distribuzione
  - Spaziali: ZVN/ZO
  - Quantitativi: 170 / 340 kg di N/ha/anno.



## VINCOLI AGRONOMICI

- Il «periodo utile» di distribuzione è legato alle esigenze agronomiche (rotazioni) e, per le distribuzioni in copertura al raggiungimento di precisi stadi fenologici (es. cereali AV, mais, ...)



## VINCOLI CLIMATICO-AMBIENTALI

- Andamenti climatici «avversi» possono ridurre il periodo utile per la fase di distribuzione con possibili problemi di transitabilità e compattamento del suolo.
  - Ampliare la finestra di intervento (dimensionamenti)
  - Soluzioni per minimizzare il compattamento



## Distribuzione degli effluenti: quali vincoli?

### VINCOLI DIMENSIONALI/COSTRUTTIVI

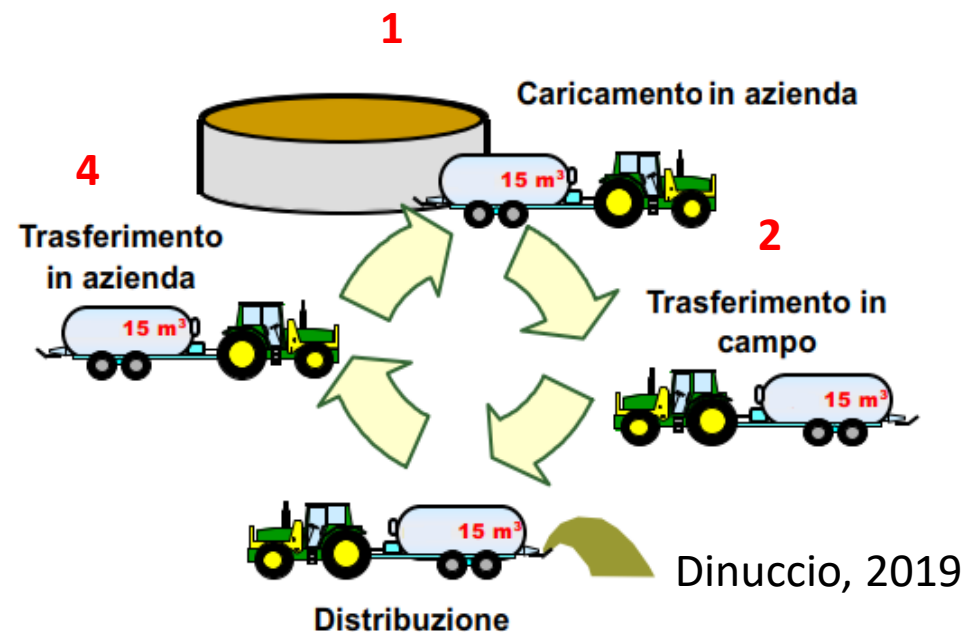
- Un corretto dimensionamento degli stoccaggi in funzione dell'ordinamento aziendale è fondamentale per poter rispondere a periodi in cui l'impiego dell'effluente è limitato o impedito per cause:
  - ✓ Legislative → Divieto alla distribuzione, periodo di accumulo, ...
  - ✓ Agronomiche
  - ✓ Climatico-ambientali sfavorevoli
  - ✓ Ambientali (misure temporanee per il miglioramento della qualità dell'aria).



# Distribuzione degli effluenti: quali vincoli?

## VINCOLI LOGISTICI/DISTANZE

- Variabile in base alla tipologia di effluente e ai trattamenti applicati.
- Attenzione alla forte incidenza dei tempi di trasporto sulla capacità di lavoro in campo ( $m^3/h$ ).
- Oltre certe distanze il costo di trasporto supera il valore intrinseco dell'effluente trasportato (capacità fertilizzante) rispetto ad un «fertilizzante chimico»



|                                | DISTANZA |      |      |
|--------------------------------|----------|------|------|
|                                | 750      | 1500 | 3000 |
| distanza appezzamenti (m)      | 750      | 1500 | 3000 |
| Capacità di lavoro ( $m^3/h$ ) | 46       | 36   | 25   |
| <b>F</b> caricamento           | 30%      | 23%  | 15%  |
| <b>A</b> <b>trasporto</b>      | 45%      | 58%  | 70%  |
| <b>S</b> distribuzione         | 25%      | 19%  | 15%  |
| <b>I</b>                       |          |      |      |



# Distribuzione degli effluenti: quali vincoli?

## VINCOLI LEGATI ALLE TECNICHE DI DISTRIBUZIONE

**PIANO STRAORDINARIO PER  
LA QUALITA' DELL'ARIA**  
(DGR n. 238 del 2 marzo 2021)

**QUARTO PROGRAMMA  
D'AZIONE NITRATI**  
(DGR n. 813 del 22 giugno 2021  
– Allegato A)

- [Interramento dei liquami](#) e di concimi a base di urea durante le operazioni di spandimento:  
[...]
- ✓ *Incorporazione immediata dei reflui permette di poter spargere in caso di Bollettino PM10 arancio-rosso*
- ✓ *Adeguamento di carribotte già presenti e/o acquisto di nuovi carribotte dotati di interratori (si rimanda a misura PSR Veneto 4.1.1, ndr)*
  
- **Art. 7 - Tecniche di distribuzione dei liquami, letami, dei loro assimilati e delle acque reflue**
- ✓ Assicurare il [contenimento della formazione e diffusione, per deriva, di aerosol](#) verso aree non interessate da attività agricola,
- ✓ Fatti salvi i casi di distribuzione in copertura, o su prati stabili, l'effettiva incorporazione nel suolo dei liquami e loro assimilati e dei fertilizzanti a base di urea simultaneamente allo spandimento ovvero [entro le 24 ore successive](#), al fine di ridurre le perdite di ammoniaca per volatilizzazione, il rischio di ruscellamento, la lisciviazione e la formazione di odori sgradevoli (*sono incentivate le pratiche di interramento immediato ai sensi della DGR 238/2021*);
- ✓ Assicurare [l'elevata utilizzazione degli elementi nutritivi](#);
- ✓ [L'uniformità di applicazione](#) dell'effluente e del materiale assimilato;
- ✓ La [prevenzione della percolazione dei nutrienti nelle acque sotterranee](#).

## Sistemi di Distribuzione degli effluenti

... Quali «ESIGENZE» guidano una distribuzione «VIRTUOSA» ?

- ✓ Distribuzione in periodi agronomicamente idonei → prossimi alle maggiori richieste colturali/asportazioni → elevata utilizzazione degli elementi nutritivi
- ✓ Uniformità di distribuzione in campo
- ✓ Determinazione del contenuto in NPK
- ✓ Controllo della dose distribuita → rispetto dei quantitativi da distribuire
- ✓ Riduzione delle emissioni/perdite nutrizionali (es. N-NH<sub>3</sub>) → ridotto contatto aria
- ✓ Evitare compattamento del terreno (specie se in copertura).
- ✓ Rispetto dei regolamenti legislativi e controllo impatto ambientale (odori)

# Tecniche di Distribuzione in campo (palabili)

## SPANDILETAME

- Macchine operatrici che consentono la distribuzione non solo di letami ma in generale di tutti gli effluenti organici «palabili».

| <b>EFFLUENTI PALABILI (LETAMI)</b>          |
|---|
| Letame tal quale                            |
| Separato Solido (20-30% ss)                 |
| Digestato Separato Solido (20-30% ss)       |
| Digestato Separato Solido Essiccato         |
| Ceneri di deiezioni avicole combuste        |
| Pollina Estrusa ed Essiccata                |
| Pollina derivante da Stoccaggio Controllato |
| Liquame Compostato                          |



# Tecniche di Distribuzione in campo (palabili)

## SPANDILETAME

Caratterizzante è il sistema di distribuzione che può essere posizionato nella parte «posteriore» o «anteriore-laterale» dello spandiletame.

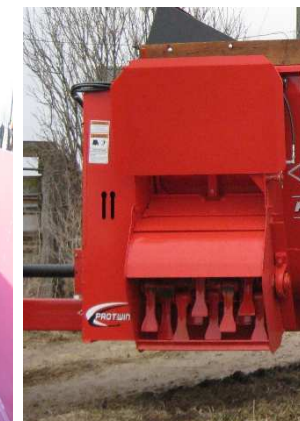
### SISTEMA DI DISTRIBUZIONE POSTERIORE

- a rotori verticali o orizzontali
- a dischi orizzontali
- a barra



### SISTEMA DI DISTRIBUZIONE ANTERIORE (LATERALE)

- a disco verticale
- a disco orizzontale
- a rotore (boccaporto)



# Tecniche di Distribuzione in campo (palabili)

## SPANDILETAME

Per gli effluenti palabili un'operazione fondamentale per il controllo delle emissioni e per il mantenimento del «potenziale fertilizzante» è dato dall' **INTERRAMENTO**.

- L'intervallo di tempo tra la distribuzione dell'effluente e il suo interrimento nel terreno deve essere il più breve possibile.

| CATEGORIA DI EFFLUENTE | STRATEGIA DI INTERRAMENTO         | RIDUZIONE POTENZIALE DELLE EMISSIONI (%) |
|------------------------|-----------------------------------|--|
| NON PALABILE           | NESSUN INTERRAMENTO (riferimento) | 0  |
|                        | INTERRAMENTO ENTRO 24 ORE         | 30                                       |
|                        | INTERRAMENTO ENTRO 4 ORE          | 55                                       |

AQUA, 2014; BAT

# Tecniche di Distribuzione in campo (palabili)

## SPANDILETAME

Per gli effluenti palabili un'operazione fondamentale per il controllo delle emissioni e per il mantenimento del «potenziale fertilizzante» è dato dall' **INTERRAMENTO**.

- Con interrimento entro 4 ore le emissioni vengono ridotte anche dell'85-90%.

|                      | Solidi totali (%) | Azoto totale (% ST) | Azoto organico (% N tot) | Azoto ammoniacale (% N tot) | Emissioni (% N-NH <sub>3</sub> ) |                            |
|----------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|
|                      |                   |                     |                          |                             | Distribuzione superficiale       | Interramento (entro 4 ore) |
| Letame bovino fresco | 25                | 2,4                 | 90                       | 10                          | 6,0                              | <b>0,9</b>                 |
| Letame bovino maturo | 25                | 2,4                 | 80                       | 20                          | 12,0                             | <b>1,8</b>                 |
| Letame suino fresco  | 25                | 2,8                 | 86                       | 14                          | 8,6                              | <b>1,3</b>                 |
| Letame suino maturo  | 25                | 2,8                 | 74                       | 26                          | 15,4                             | <b>2,3</b>                 |
| Lettiera avicola     | 60                | 5                   | 75                       | 25                          | 10,0                             | <b>1,5</b>                 |
| Letame generico      | 32                | 2,4                 | 86                       | 14                          | 8,4                              | <b>1,3</b>                 |
| Separato solido      | 20                | 2,2                 | 78                       | 22                          | 13,2                             | <b>2,0</b>                 |

Sartori, 2015

# Tecniche di Distribuzione in campo (palabili)

## SPANDILETAME

### INTERRAMENTO DIFFERITO (post-distribuzione)

- **QUANDO:** il prima possibile (preferibilmente entro le 4 ore dalla distribuzione).
- **COME:**
  - Bassi quantitativi di effluente distribuito: lavorazione superficiale ( $\approx 20$  cm).
  - Elevati quantitativi di effluente distribuito: lavorazione più profonda ( $\approx 30$  cm)
- **CON COSA:** aratura (apporti elevati) o coltivatori ad ancore/dischi (apporti più contenuti)



# Tecniche di Distribuzione in campo (palabili)

## SPANDILETAME

### INTERRAMENTO CONTEMPORANEO ALLA DISTRIBUZIONE (distributori-interratori)

Il sistema di distribuzione esegue anche il contemporaneo interrimento dell'effluente

Tranne per i sistemi per caduta, gli effluenti devono essere «trattati» (es. pellettizzazione, estrusione, essiccazione, ...) per affinare e omogeneizzare le loro proprietà fisiche rispetto ad una condizione «tal quale» estremamente eterogenea e ad elevato tenore di umidità.





## Sistemi di Distribuzione in campo (non palabili)

### EFFLUENTI NON PALABILI (LIQUAMI)

Liquame Suino tal quale

Liquame Suino «digerito» (digestione anaerobica)

Liquame Suino chiarificato (separato liquido)

Liquame Suino chiarificato digerito (separ. + DA)

Liquame Bovino tal quale

Liquame Bovino chiarificato (separato liquido)

Liquame Bovino «digerito» (digestione anaerobica)



# Sistemi di Distribuzione in campo (non palabili)

## PRINCIPALI SOLUZIONI PER IL TRASPORTO E LA DISTRIBUZIONE

### Carri spandiliquame trainati



### Semoventi

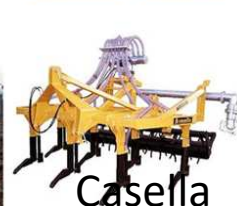
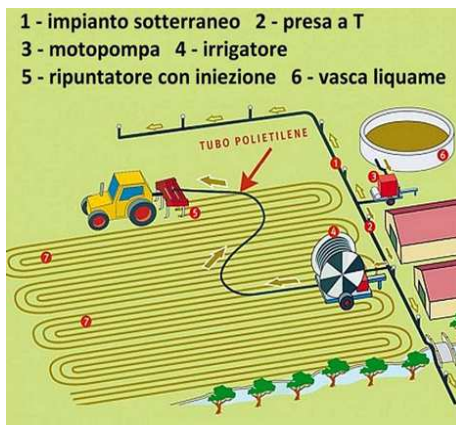


### Fertirrigazione



### Sistemi ombelicali

- 1 - impianto sotterraneo
- 2 - presa a T
- 3 - motopompa
- 4 - irrigatore
- 5 - ripuntatore con iniezione
- 6 - vasca liquame



Il trasporto dell'effluente avviene mediante tubazioni fisse/mobili.

Realizzabile in presenza di terreni accorpati e con ridotte distanze stoccaggio-campo

Trattore o irrigatore è vettore di distribuzione

## Tecniche di Distribuzione in campo (non palabili)



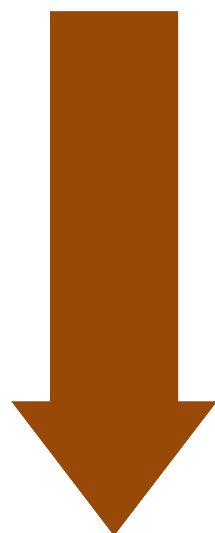
### SUPERFICIALE

- Irrigatori ad alta pressione
- Piatto deviatore



### RASOTERRA

- In banda (*band spreading*)
- In banda con deflettore (*trailing shoe*)



### SOTTOSUPERFICIALE

- A solco aperto (*open slot*)
- A solco chiuso (*closed slot*)



### SOTTOSUPERFICIALE PROFONDA

- Interramento profondo (oltre 35 cm)





## Distribuzione Superficiale

### CON IRRIGATORE

- La distribuzione avviene ad alte pressioni (6-7 bar) mediante irrigatore posto sullo spandiliquame.
- Per ottenere queste pressioni vengono aggiunte apposite pompe centrifughe (in serie/in parallelo) alla pompa per l'aria dello spandiliquame
- Larghezze di lavoro anche di 30-40 metri





## Distribuzione Superficiale

### CON IRRIGATORE



- ✓ Distribuzione senza accesso all'appezzamento (o con ridotti passaggi)
- Elevata polverizzazione del getto (alta pressione) → deriva/odori
- Uniformità di distribuzione insufficiente.
- Elevata riduzione del potere fertilizzante → perdite di N-NH<sub>3</sub> anche dell'80-90%
- Necessità di operare l'interramento in tempi brevissimi



## Distribuzione Superficiale

### CON PIATTO DEVIATORE



- ✓ Limitato numero di componenti a contatto «diretto» con l'effluente.
- Elevata polverizzazione del getto (massimizzare la larghezza di lavoro)
- Uniformità di distribuzione insufficiente (differenze spesso superiori al 50%)
- Elevata riduzione del potere fertilizzante → perdite di  $\text{NH}_3$  anche di più del 50-60%
- Necessità di operare l'interramento in tempi brevissimi.



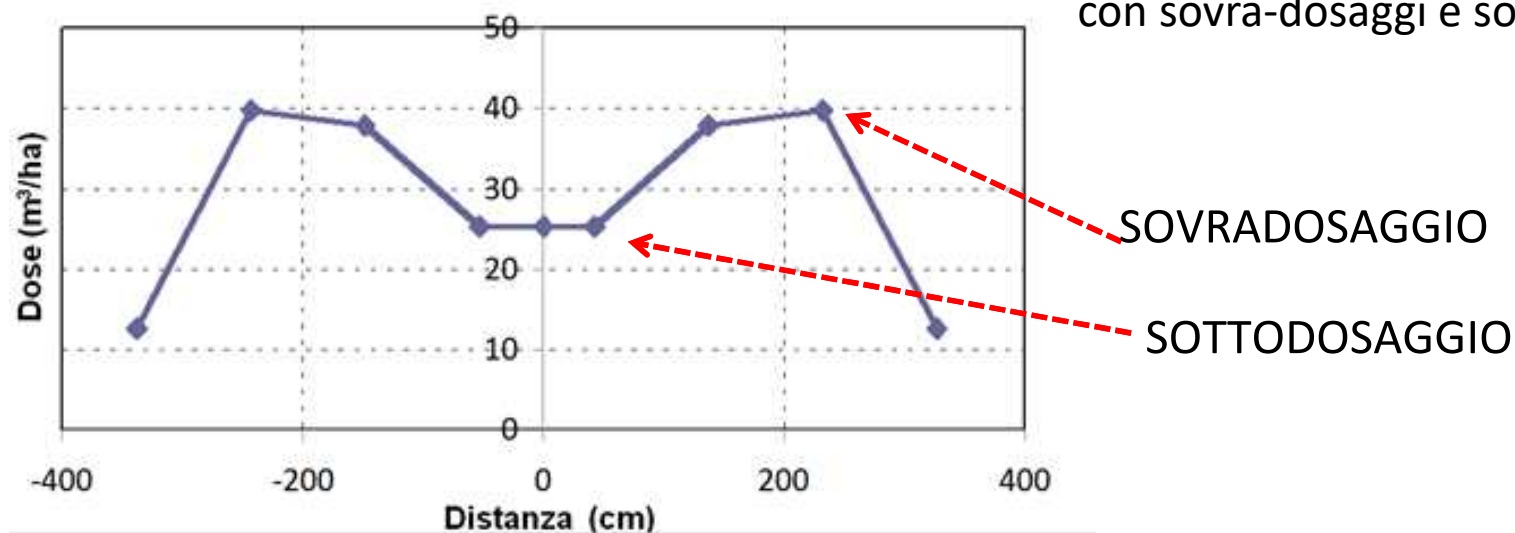
# Distribuzione Superficiale

## CON PIATTO DEVIATORE



Difficoltà a garantire una ottimale omogeneità di distribuzione trasversale.

Un diagramma di distribuzione ad “M” rende difficile la sovrapposizione delle passate, creando inevitabilmente aree con sovra-dosaggi e sotto-dosaggi.





## Distribuzione Rasoterra

### IN BANDA CON TUBI ADDUTTORI FLESSIBILI



- ✓ La larghezza di lavoro è definita
- ✓ Migliore uniformità di distribuzione trasversale.
- ✓ Deposizione «rasoterra» → controllo degli odori e ridotta formazione di aerosol
- ✓ Minore perdite “nutrizionali” → riduzione delle perdite di N-NH<sub>3</sub> anche del 50-60%.
- ✓ Possibile adozione anche con colture in atto → ridotto imbrattamento parte epigea



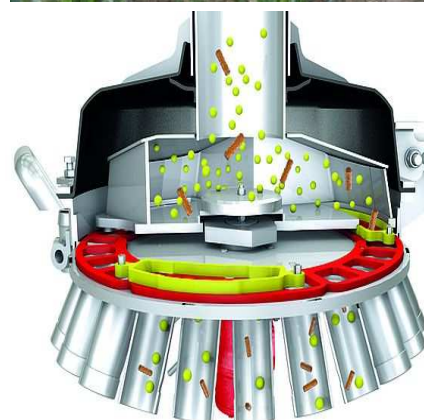


## Distribuzione Rasoterra

### IN BANDA CON TUBI ADDUTTORI FLESSIBILI

La corretta ripartizione dell'effluente lungo tutta la larghezza di lavoro in uscita dal serbatoio è garantita dalla presenza di **ripartitori-dosatori** che provvedono ad alimentare in modo omogeneo tutti i tubi adduttori.

Movimento rotatorio immettendo con regolarità l'effluente in ogni tubo adduttore → distribuzione uniforme su tutto il fronte di lavoro della macchina





## Distribuzione Rasoterra

### IN BANDA CON DEFLETTORE



- Stessa «configurazione» della precedente ma in questo caso la calata presenta un «deflettore» che permette di spostare lateralmente steli/foglie (altezza della coltura/prato 8-10 cm) prima del rilascio dell'effluente
- ✓ Deposita l'effluente sotto la "biomassa" limitando ulteriormente le emissioni (barriera).



## Distribuzione Sottosuperficiale

### INTERRAMENTO PROFONDO



- ✓ Riduzione delle emissioni di ammoniaca anche dell'80-90%
- Profondità di deposizione spesso superiore ai 35 cm → rischio di perdite di azoto per percolazione profonda
- Bassa capacità di lavoro.
- Elevati costi energetici per la distribuzione.
- Necessarie energiche lavorazioni primarie (aratura)



# Distribuzione Sottosuperficiale

## A SOLCO APERTO



- Dischi incidono il terreno creando solchi di 3-5 cm (che non verranno «chiusi») e nei quali avviene la contemporanea distribuzione dell'effluente.
- Attenzione! La quantità distribuita deve essere correlata con la profondità del solco
- ✓ Maggiore controllo degli odori e minor formazione di aerosol.
- ✓ Ridotto imbrattamento parte epigea
- ✓ Utilizzata per distribuzioni in copertura (prati, cereali autunno-vernini, cover-crops) purché in presenza di cotico/biomassa non troppo sviluppato.



# Distribuzione Sottosuperficiale

## A SOLCO CHIUSO

- Ancore/dischi creano solchi che successivamente verranno «chiusi» da dischi o rulli a valle dell'iniettore (distributore-interratore)
- Rispetto alla soluzione a solco «aperto» il quantitativo distribuibile è maggiore.
- ✓ Distribuzione a circa 15-20 cm di profondità (binomio *lavorazione-distribuzione*)
- ✓ Facilita la successiva fase di preparazione del letto di semina (primi/secondi raccolti) o addirittura permette di eseguire direttamente le operazioni di semina (semina diretta di colture principali o cover-crops)
- ✓ Emissione di odori e azoto ammoniacale ridotte anche dell'80-90%
- ✓ Il mercato offre numerose soluzioni costruttive



# Distribuzione Sottosuperficiale

## A SOLCO CHIUSO (COLTIVATORI AD ANCORE/DISCHI)





# Distribuzione Sottosuperficiale

## A SOLCO CHIUSO (COLTIVATORI COMBINATI)





## Distribuzione Sottosuperficiale

### A SOLCO CHIUSO (STRIP-TILLER)

Soluzione che concentra la «lavorazione e distribuzione» su *strisce* di terreno entro le quali avverrà la successiva operazione di semina mantenendo inalterata la superficie interfilare.

Larghezza della striscia di terreno lavorata = 20-30 cm

Profondità di lavoro = 15-20 cm

Interfila = 45/75 cm (in funzione della coltura)







## Distribuzione Sottosuperficiale

### A SOLCO CHIUSO (ELEMENTI SARCHIANTI)

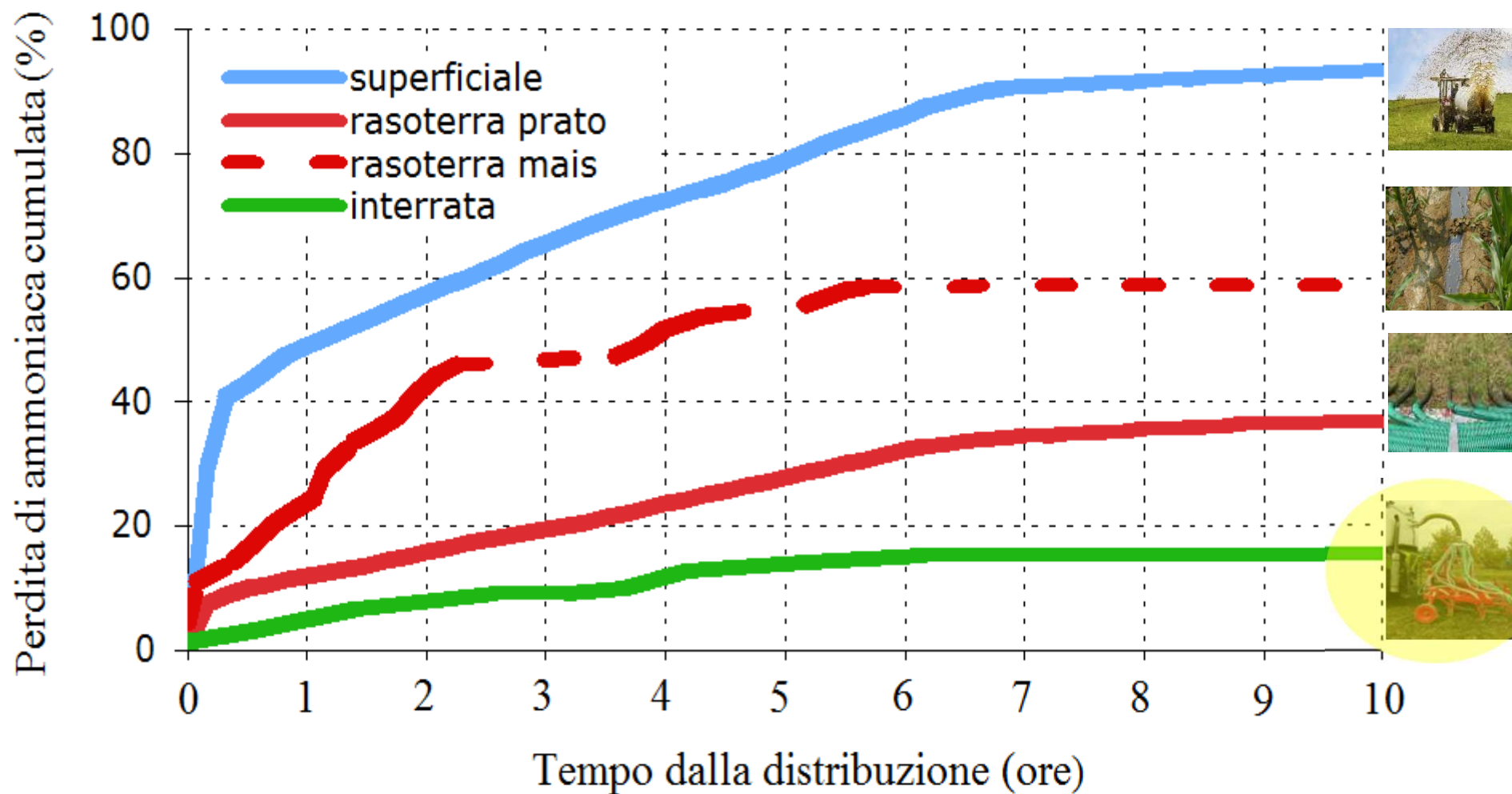
Possibilità di operare con coltura in atto (es. mais) garantendo l'applicazione dell'effluente proprio nelle fasi in cui l'apporto di elementi nutritivi come l'azoto risulta essere strategico.

- ✓ Evoluzione della “tradizionale” sarchiatura con urea
- ✓ Massima efficienza agronomica dell'effluente.
- ✓ Estensione del potenziale «periodo di distribuzione»



# Perdite di N-NH<sub>3</sub>: Tecniche a confronto

## Perdite di ammoniaca cumulate (valori in %)



## Perdite di N-NH<sub>3</sub>: Tecniche a confronto

- Le migliori tecniche di distribuzione degli effluenti non palabili sono quelle che:
  - ✓ Riducono la diffusione dei gas
  - ✓ Limitano il tempo di esposizione
  - ✓ Riducono le superfici di contatto con l'atmosfera

| CATEGORIA DI EFFLUENTE | STRATEGIA DI INTERRAMENTO        | RIDUZIONE POTENZIALE DELLE EMISSIONI (%) |
|------------------------|----------------------------------|--|
| NON PALABILE           | DISTRIBUZIONE SUPERFICIALE       | 0  |
|                        | INTERRAMENTO ENTRO 24 ORE        | 30                                       |
|                        | INTERRAMENTO ENTRO 4 ORE         | 45-55                                    |
|                        | RASOTERRA                        | 60                                       |
|                        | SOTTOSUPERFICIALE (SOLCO APERTO) | 60-70                                    |
|                        | SOTTOSUPERFICIALE (SOLCO CHIUSO) | 90                                       |

UNECE 2014; BREF, 2015

## Perdite di N-NH<sub>3</sub>: Tecniche e condizioni ambientali

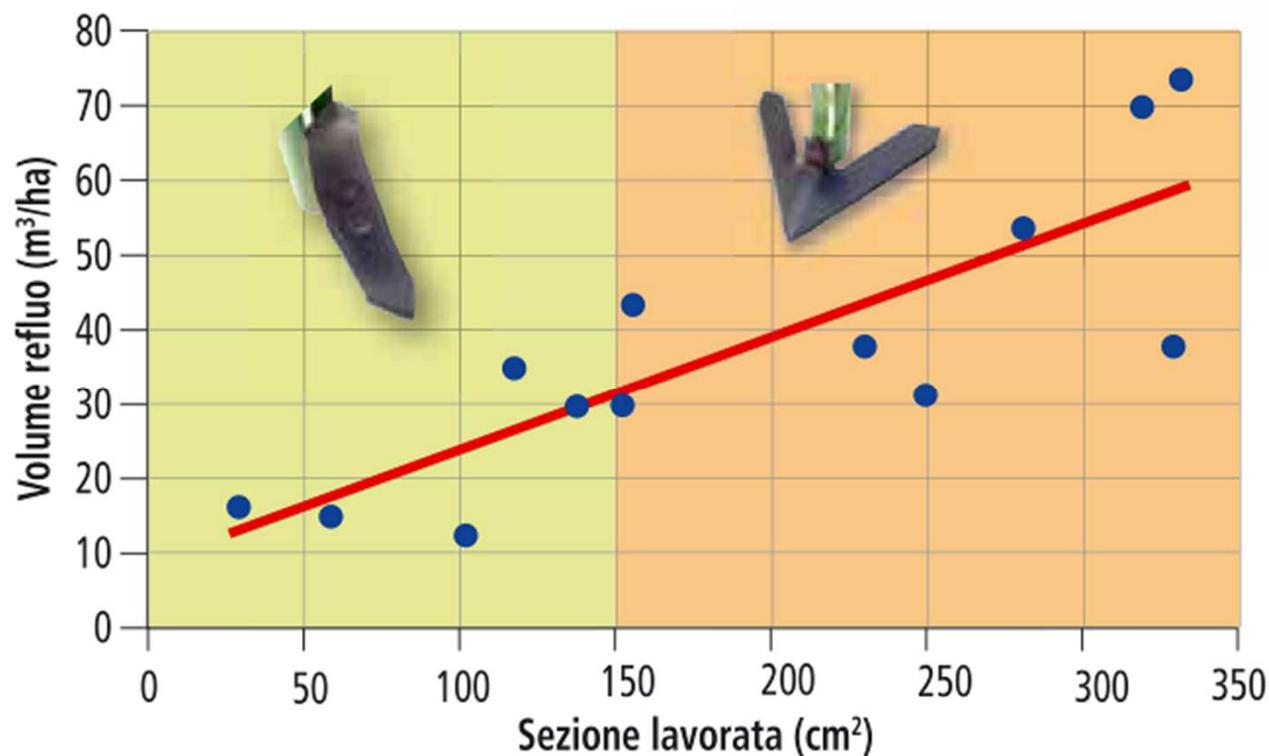
**Non è importante interrare in profondità,  
quanto piuttosto che tutto il liquame sia coperto ...**



# Perdite di N-NH<sub>3</sub>: Tecniche e condizioni ambientali

**Totale copertura dell'effluente → Minime emissioni/odori**

Una scelta oculata della forma degli utensili permette un aumento della quantità di prodotto distribuibile senza che si verifichino volatilizzazioni



Utensili con alette larghe (a zampa d'oca) a parità di profondità garantiscono la distribuzione con minime emissioni di una dose più alta rispetto ad utensili «stretti».

# Perdite di N-NH<sub>3</sub>: Tecniche e condizioni ambientali

## Fattori che influiscono sulle emissioni di NH<sub>3</sub>

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <b>Condizioni Climatico-ambientali</b> | Temperatura dell'aria               |
|  | Velocità del vento                  |
| <b>Suolo</b>                           | pH, CSC, porosità                   |
| <b>Coltura</b>                         | Presenza/assenza                    |
| <b>Effluente</b>                       | Sostanza secca, pH,                 |
| <b>Tecnica di distribuzione</b>        | Superficiale, sottosuperficiale ... |

# Perdite di N-NH<sub>3</sub>: Tecniche e condizioni ambientali

## Altri parametri «condizionanti»

### pH DEL TERRENO

- Minori emissioni quando la distribuzione avviene in terreni acidi
- A pH maggiore/uguale a 7 le perdite di azoto per volatilizzazione possono essere rilevanti ed impattanti (Dal Ferro et al., 2020)

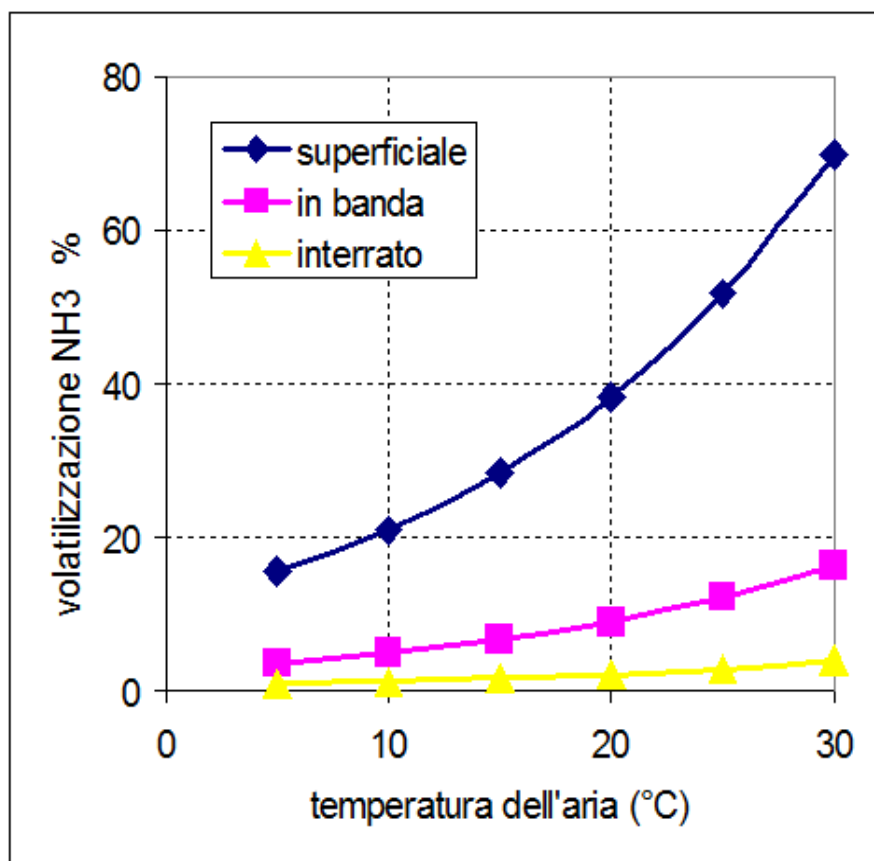
### NATURA DELL'EFFLUENTE

- Effluenti con alto contenuto di sostanza secca → maggiori perdite di N-NH<sub>3</sub>
- Effluenti con basso contenuto di sostanza secca → minori emissioni causa maggiore infiltrazione → attenzione a lisciviazione

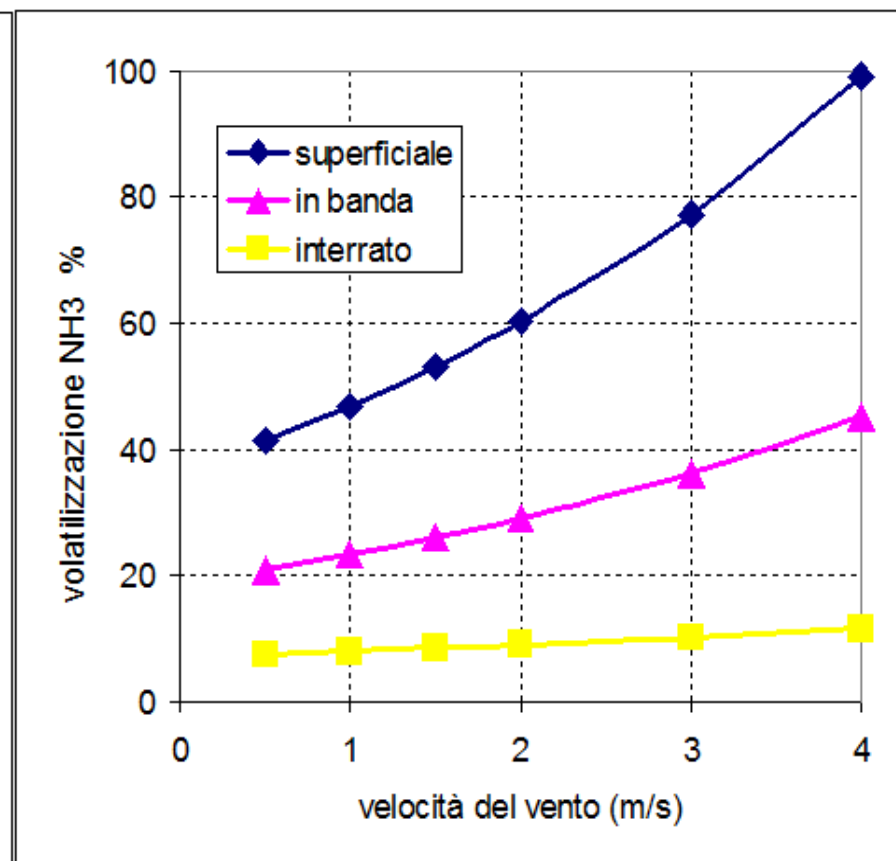
# Perdite di N-NH<sub>3</sub>: Tecniche e condizioni ambientali

## Perdite di ammoniaca cumulate (valori in %)

### TEMPERATURA (°C)



### VENTO (m/s)





## Criteri di scelta ed estensione del periodo utile

L'estensione del periodo utile di distribuzione consente anche una maggior utilizzazione delle macchine e una conseguente riduzione dei costi.

| Tecnica di distribuzione                               | Distribuzione in pre-semina | Distribuzione in copertura |              |              |
|--|-----------------------------|----------------------------|--------------|--------------|
|  |                             | Mais                       | Cereali A.V. | Prati/Erbai  |
| Spandimento superficiale (irrigatore/piatto deviatore) | Sconsigliato                | Sconsigliato               | Sconsigliato | Sconsigliato |
| Spandimento rasoterra (in banda / con deflettore)      | Possibile                   | Possibile                  | Consigliato  | Consigliato  |
| Sottosuperficiale a solco aperto                       | Possibile                   | Possibile                  | Possibile    | Consigliato  |
| Sottosuperficiale a solco chiuso                       | Consigliato                 | Consigliato                | -            | -            |
| Spandimento profondo                                   | Sconsigliato                | -                          | -            | -            |

# Criteri di scelta ed estensione del periodo utile

## GESTIONE PREVENTIVA DEL COMPATTAMENTO DEL TERRENO

Per aumentare la capacità di lavoro e ridurre l'incidenza economica in fase di trasporto si è arrivati a volumi di carico superiori alle 30-35 t ...

- ✓ Gestione aziendale: i dimensionamenti strutturali incidono sulla durata del "periodo utile" e quindi sulla corretta scelta del momento di distribuzione in campo.
- ✓ Aumento larghezza di lavoro (riduzione trafficabilità)
- ✓ Pneumatici a larga sezione e sistemi di controllo della pressione di gonfiaggio.
- ✓ Disassamento assali (non solo per le semoventi)
- ✓ Separazione della fase di trasporto e di distribuzione (sistemi ombelicali) → drastica riduzione delle masse.



## Caratterizzazione degli effluenti



Conoscere il REALE contenuto degli effluenti è fondamentale per:

- Stabilire le quantità di effluente da distribuire
- Aumentare la loro efficienza/utilità agronomica.
- Considerare la variabilità di campo (VRT)
- Tracciabilità dei quantitativi distribuiti



## Caratterizzazione degli effluenti

A livello aziendale le proprietà chimico-fisiche degli effluenti zootecnici possono essere oggetto di importante variabilità



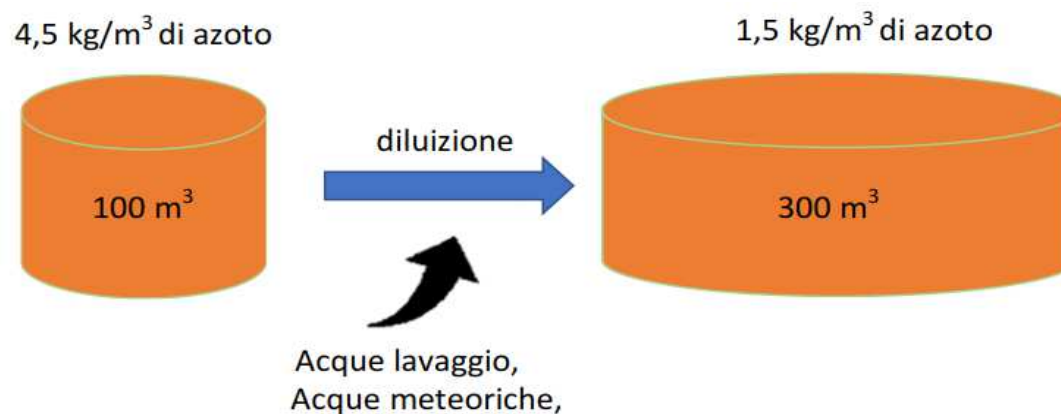
(Acutis, 2015, modificato)

# Caratterizzazione degli effluenti

## IL RUOLO DELLA «DILUIZIONE» IN FASE DI STOCCAGGIO

La diluizione degli effluenti a causa degli apporti di «acque» derivanti da varie fonti (es. lavaggio impianti, mungitura, raffrescamento, meteoriche ...) genera un aumento dei volumi e un conseguente aggravio economico per:

- Aumentano le dimensioni delle vasche di stoccaggio necessarie
- Aumentano le quantità di effluente da trasportare e distribuire in campo
- Aumentano le dosi di effluente da distribuire a parità di apporto di nutrienti (diluizione anche di 2-3 volte).



(Provolo, 2020)

# Caratterizzazione degli effluenti

## IL RUOLO DELLA «COPERTURA» IN FASE STOCCAGGIO

L'eliminazione dell'acqua meteorica dalle vasche di stoccaggio è un obiettivo che consente un duplice beneficio:

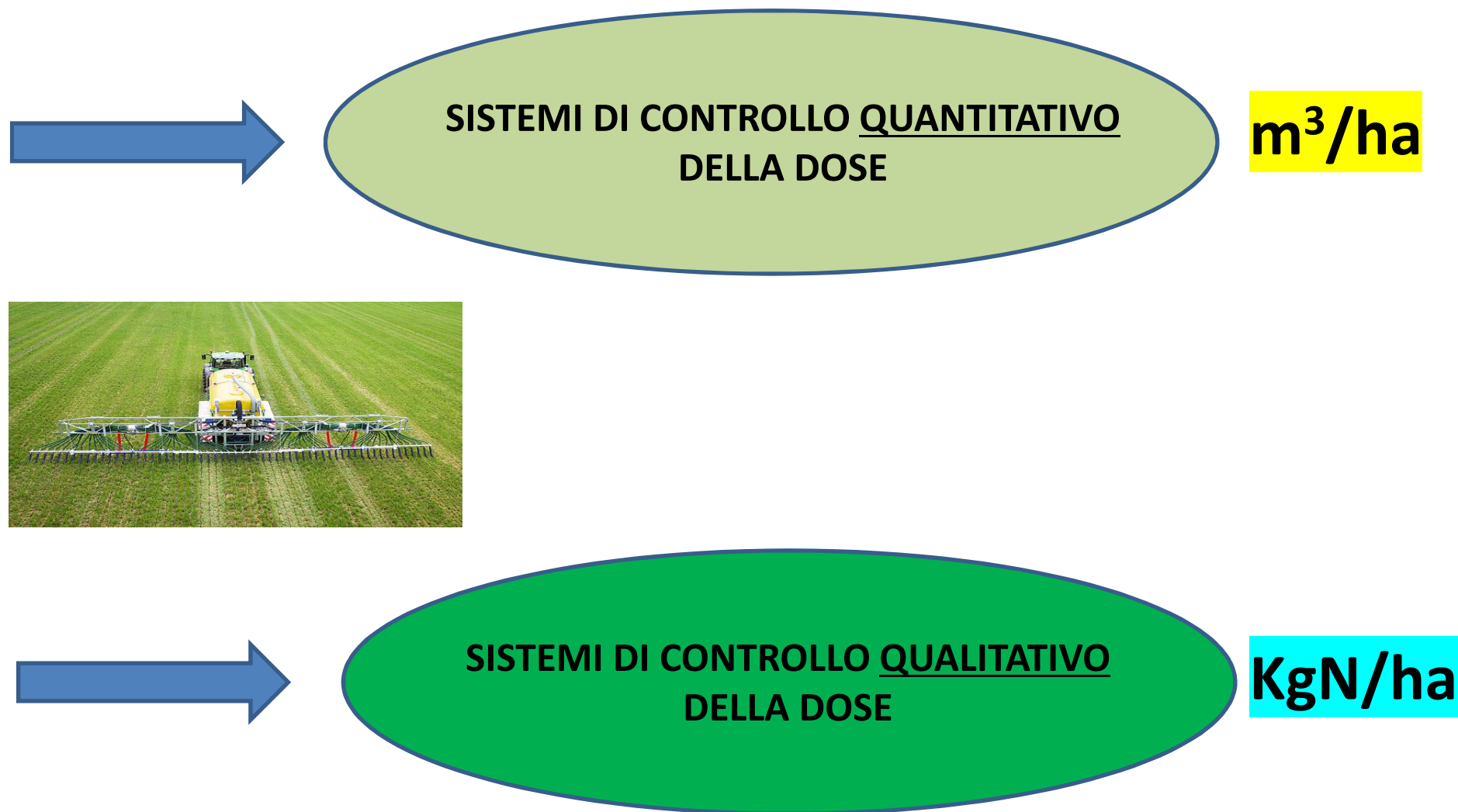
- ✓ Contenere le emissioni di N-NH<sub>3</sub> che possono incidere anche per il 25-30%.
- ✓ Ridurre il volume dei liquami oggetto di trasporto/distribuzione

## IL RUOLO DELLA «OMOGENEIZZAZIONE» DEGLI EFFLUENTI

Il liquame nelle vasche di stoccaggio tende a sedimentare:

- L'effluente presente in una vasca «poco miscelata» tende a stratificarsi in strati di differente concentrazione di sostanza secca e nutrienti (prodotto eterogeneo).
- L'esigenza/durata della miscelazione necessaria (idraulica/meccanica) può essere notevolmente ridotta da trattamenti che l'effluente subisce (es. separazione S/L)

## Quali soluzioni per controllare la DOSE distribuita?



# Quali soluzioni per controllare la DOSE distribuita?

## SISTEMI DI CONTROLLO QUANTITATIVO DELLA DOSE

### SOLUZIONE N.1 - MONITORAGGIO «PASSIVO»

- Misurazione del flusso del liquame in uscita (regime di rotazione della pompa)
- Velocità di avanzamento del cantiere di lavoro

Una centralina determina la dose che si sta distribuendo e la visualizza all'operatore che provvederà a «variare» la velocità di avanzamento in modo da far coincidere la dose di distribuzione «reale» con quella «teorica».



## Quali soluzioni per controllare la DOSE distribuita?

**SISTEMI DI CONTROLLO QUANTITATIVO  
DELLA DOSE**

**SOLUZIONE N.2 MONITORAGGIO «ATTIVO» -  
DISTRIBUZIONE PROPORZIONALE ALL'AVANZAMENTO (DPA)**



Mantiene invariata la dose «teorica» da distribuire indipendentemente dalla velocità di avanzamento del cantiere.

Una centralina è in grado di parzializzare la portata della pompa attraverso elettrovalvola o variare il numero di giri della pompa (pompa volumetrica), in funzione della velocità di avanzamento e della larghezza di lavoro.

# Conoscere il contenuto degli effluenti per definire la DOSE

## QUALI SISTEMI PER VALUTARE LA QUALITA' DEI NOSTRI EFFLUENTI?

### 1. Sistemi di ANALISI DIRETTA

- Analisi di laboratorio di campioni di effluente prelevati in azienda:
  - I risultati sono disponibili dopo giorni e forniscono una concentrazione «media» degli elementi contenuti su cui definire i volumi da distribuire
  - Prelevare un campione di liquame richiede un'attenta modalità di campionamento per ottenere un campione rappresentativo.
  - Sistema che poco si presta al fatto che la composizione degli effluenti può essere molto «variabile», anche dal punto di vista temporale (es. da quando eseguo l'analisi a quando effettuo la distribuzione).

# Conoscere il contenuto degli effluenti per definire la DOSE

## SISTEMI DI CONTROLLO QUALITATIVO DELLA DOSE

### 2. Sistemi di ANALISI INDIRECTA

- ✓ Sistemi in grado di quantificare il contenuto di nutrienti in tempo reale.
- ✓ Installati in prossimità di vasche di stoccaggio oppure direttamente su spandiliquame (soluzione più frequente).
- ✓ Permettono di regolare la quantità di effluente da distribuire in relazione al dosaggio programmato ovviando quindi il problema della «composizione variabile» degli effluenti caricati.

# Conoscere il contenuto degli effluenti per definire la DOSE

## QUALI SISTEMI PER VALUTARE IL «REALE» CONTENUTO DEGLI EFFLUENTI ?

### 2. Sistemi di ANALISI INDIRECTA

#### SISTEMI CON SPETTROSCOPIA NIR

- ✓ Sistema ottico che sfrutta la capacità di una sostanza colpita da una fonte luminosa nel vicino infrarosso di produrre un segnale di risposta con una intensità «differente» in base al contenuto di determinati elementi.
- ✓ Tecnologia diffusa in molti settori produttivi e presenta una buona affidabilità.
- ✓ La dotazione su spandiliquame consente di rilevare il contenuto di sostanza secca, azoto, fosforo e potassio, modulando la distribuzione dell'effluente nel pieno rispetto della dose agronomica prefissata.



# Conoscere il contenuto degli effluenti per definire la DOSE

QUALI SISTEMI PER VALUTARE IL «REALE» CONTENUTO DEGLI EFFLUENTI ?

## 2. Sistemi di ANALISI INDIRECTA

### CONDUTTOMETRI

- Il valore di conducibilità è correlato al contenuto di nutrienti presente.
- Tramite curve di taratura si ricava la loro concentrazione (es. N, P, K).
- Applicabili direttamente allo spandiliquame

### RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE (NMR)

- Si basa sull'assorbimento e ri-emissione di radiazioni elettromagnetiche da parte dei nuclei delle singole sostanze contenute negli effluenti.
- Modulando le frequenze delle onde elettromagnetiche è possibile distinguere i diversi elementi e valutarne la loro concentrazione
- Recente ma i primi risultati mostrano buone correlazioni (Provolo, 2020)

# Conoscere il contenuto degli effluenti per definire la DOSE

## DEFINIZIONE DEI VOLUMI DA DISTRIBUIRE – SENZA TECNOLOGIA

L'azienda Verdi ha in programma di distribuire un quantitativo di azoto pari a 250 kg/ha impiegando liquame bovino aziendale. Preventivando una composizione «teorica» di azoto pari a 2,5 kg/m<sup>3</sup> l'azienda si regola per distribuire volumi pari a 100 m<sup>3</sup>/ha.

- L'effluente prelevato da una vasca poco miscelata nell'arco di alcune settimane, può presentare differenze nel contenuto di azoto, mediamente tra 1 e 3,5 kg/m<sup>3</sup>.



# Conoscere il contenuto degli effluenti per definire la DOSE

## DEFINIZIONE DEI VOLUMI DA DISTRIBUIRE – CON TECNOLOGIA

- Con il supporto di sistemi di analisi indiretta, la quantità di azoto «teorica» (250 kg/ha) viene realmente distribuita in quanto tali sistemi forniscono in tempo reale il reale quantitativo di nutrienti presenti nello spandiliquame.
- ✓ Adeguamento del volume di liquame distribuito in base alla «concentrazione» di azoto.



## Agricoltura di Precisione

### TECNOLOGIE DI PRECISIONE APPLICABILI ALLA DISTRIBUZIONE DEGLI EFFLUENTI





## Agricoltura di Precisione



... è l'applicazione di **strategie di gestione** (*in primis*) e **tecnologie** per massimizzare l'efficienza dei fattori produttivi.

### ***PIU' AMBITI OPERATIVI ...***

- ❑ Impiego di "sistemi ausiliari" in grado di ottimizzare l'esecuzione delle operazioni colturali (**SISTEMI DI GUIDA ASSISTITA**).
- ❑ Gestione della variabilità dei nostri campi allo scopo di dosare i fattori produttivi in base alle «reali» necessità (STUDIO VARIABILITA').
- ❑ Impiego di macchine «intelligenti» in grado di modificare la loro operatività all'interno dell'appezzamento (RATEO VARIABILE).
- ❑ Registrare, archiviare, consultare e utilizzare i dati relativi a tutte le attività di campo (MAPPATURE, TELEMETRIA, TRACCIABILITA' ...).

## Agricoltura di Precisione – Sistemi di Guida

Aiutano a mantenere linee di lavoro parallele riducendo/eliminando la sovrapposizione (o mancato trattamento) tra due passaggi consecutivi.

**Barra di guida**  
(segnale ottico + acustici)



**Guida semi-automatica al volante**  
(elettrica)



**Guida semi-automatica allo sterzo**  
(elettro-idraulico)



**Accuratezza dei ricevitori satellitari**

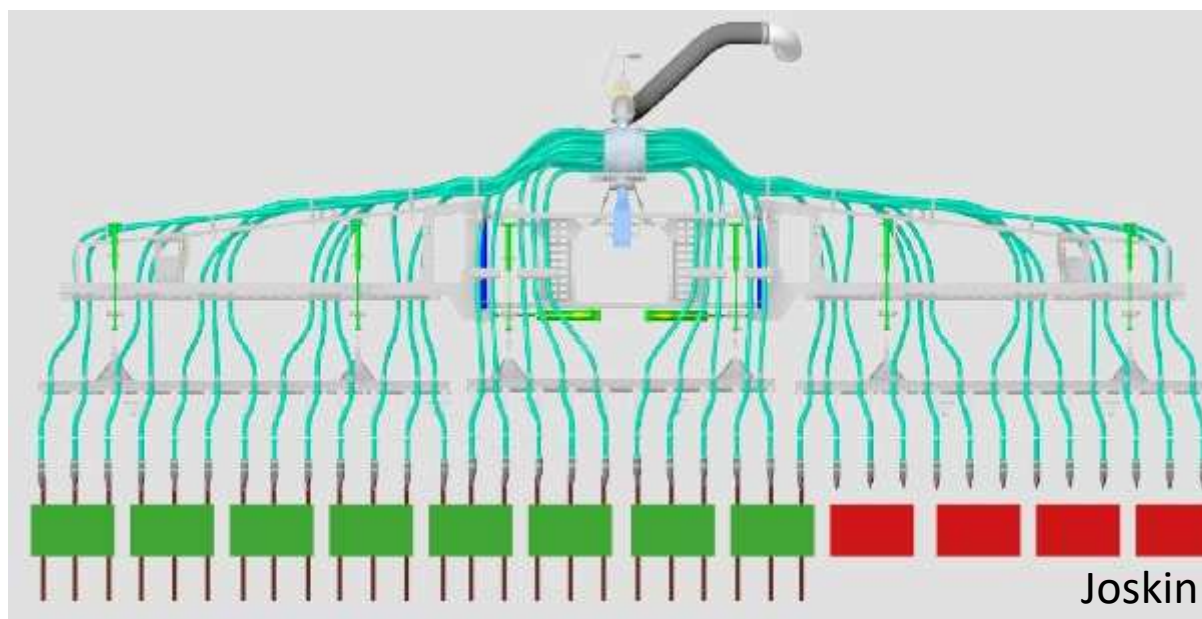
**Decimetrica**  
Egnos; SF1

**Sub-decimetrica**  
SF2; HP

**Centimetrica**  
RTK (radio/GSM)

## Agricoltura di Precisione – Sistemi di Guida e Controllo Sezioni

Il dato di posizione (GPS) in spandiliquami ISOBUS può inoltre consentire un attivo «**controllo delle sezioni**» di distribuzione (Section Control Standard), gestendo l'apertura/chiusura dell'erogazione di effluente in sezioni che si vengono a trovare in corrispondenza di aree già concimate.



## Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

*ma è «solo» l'utilizzo di un GPS ?*



# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

Condizione essenziale per poter parlare di  
Agricoltura di Precisione ?



**La variabilità!**



## Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

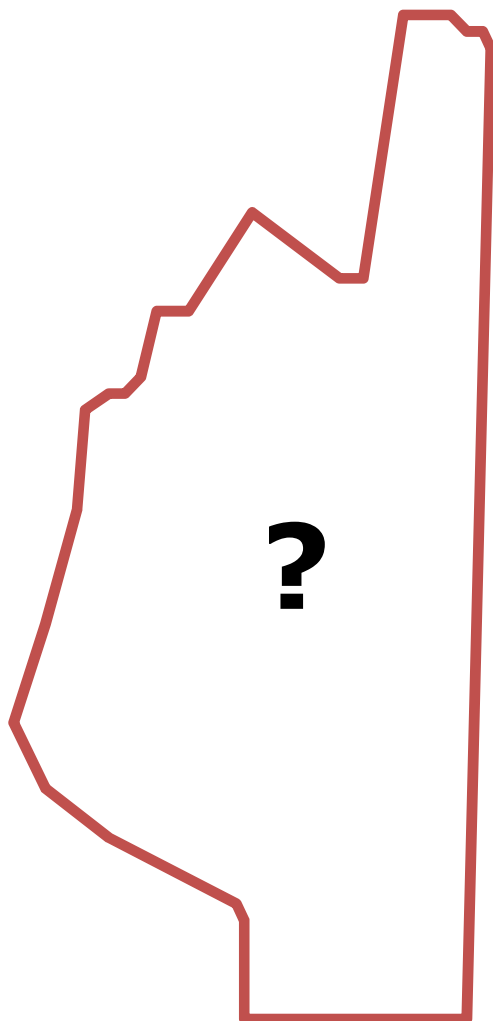


... è l'applicazione di **strategie di gestione** (*in primis*) e **tecnologie** per massimizzare l'efficienza dei fattori produttivi.

### ***PIU' AMBITI OPERATIVI ...***

- Impiego di "sistemi ausiliari" in grado di ottimizzare l'esecuzione delle operazioni colturali (SISTEMI DI GUIDA ASSISTITA).
- Gestione della variabilità dei nostri campi allo scopo di dosare i fattori produttivi in base alle «reali» necessità (**STUDIO VARIABILITA'**).
- Impiego di macchine «intelligenti» in grado di modificare la loro operatività all'interno dell'appezzamento (**RATEO VARIABILE**).
- Registrare, archiviare, consultare e utilizzare i dati relativi a tutte le attività di campo (MAPPATURE, TELEMETRIA, TRACCIABILITA' ...).

## Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità



L'introduzione dell'Agricoltura di Precisione in azienda prevede generalmente le seguenti fasi:

- 1 - Studio della variabilità di campo;**
- 2 - Definizione delle zone omogenee;**
- 3 – Definire obiettivi/gestione delle singole zone;**
- 4 – Predisporre delle mappe di prescrizione;**
- 5 – Applicare agrotecniche a rateo variabile.**

## Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità



**... Come posso studiare  
la mia variabilità di  
campo ... ???**

Qualsiasi dato o osservazione può essere utile ma deve essere:

- **Misurabile**
- **Georeferenziato**

### Utilizzo di sensori remoti

- Foto satellitari
- Telerilevamento
- Telerilevamento aziendale (drone)

### Utilizzo di sensori prossimi

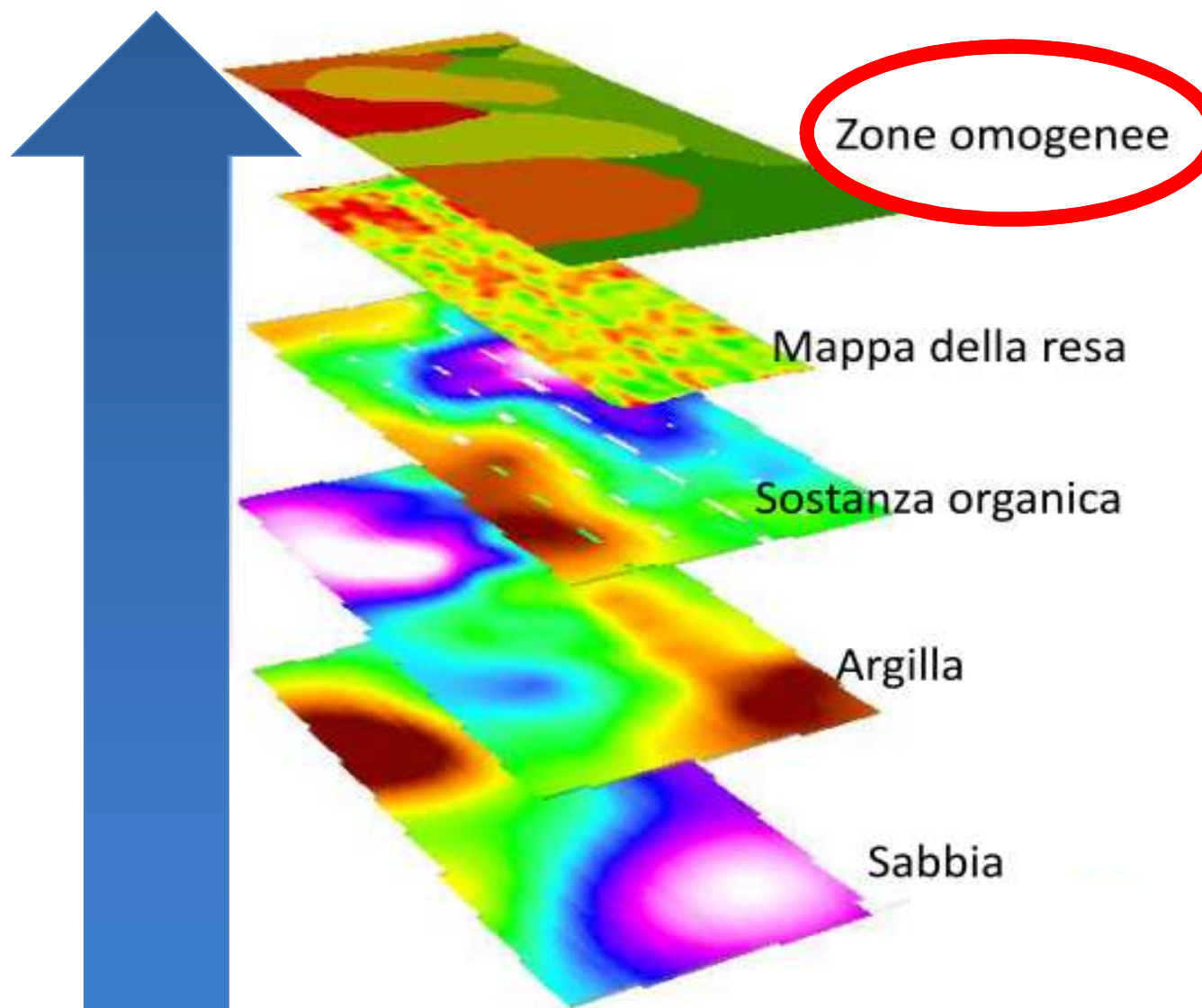
- Mappatura delle produzioni (mappe di resa)
- Monitoraggio suolo/pianta
- Monitoraggio attrezzature

### Campionamenti georeferenziati

- Analisi terreno
- Scouting



# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità



## Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

**Individuare e quantificare le differenze produttive all'interno del campo anziché ragionare con valori di "resa assoluta"**



Sensore di portata e di umidità posto sull'elevatore

**(QUANTIFICA)**

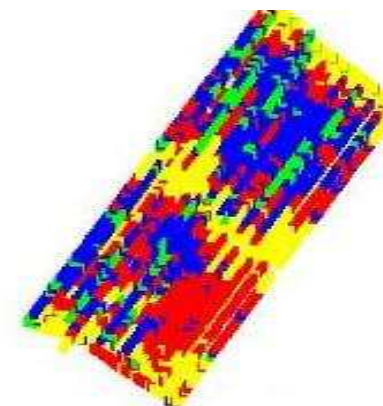


Computer di bordo **(ELABORA E SALVA I DATI)**



Ricevitore satellitare

**(POSIZIONE IN CAMPO)**

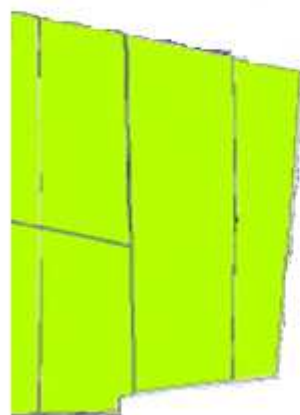


**Mapa di produzione  
(grezza)**

## Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

**Individuare e quantificare le differenze produttive all'interno del campo anziché ragionare con valori di "resa assoluta"**

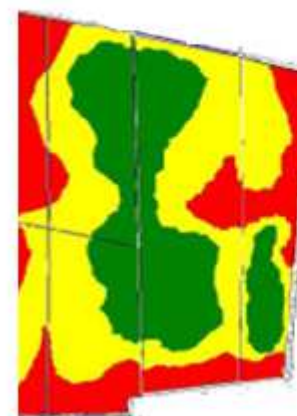
**Gestione "ordinaria"**  
(Produzione/superficie)



**Prod. Media**  
70 q.li/ha



**Gestione "precisa"**



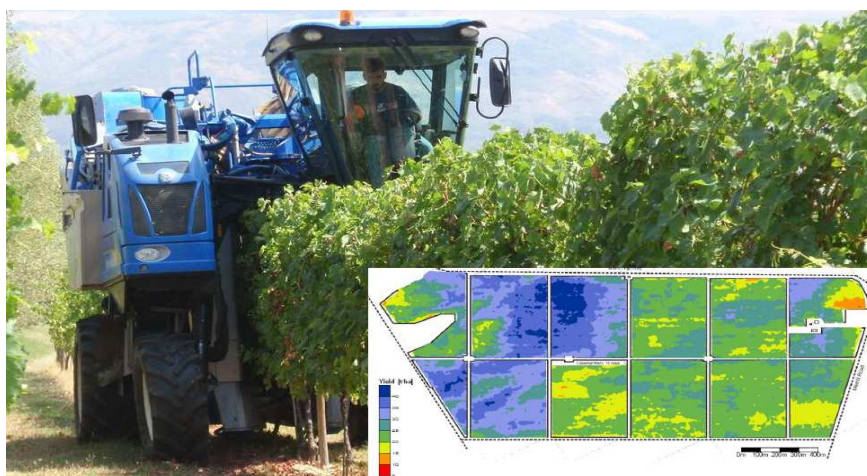
- Importante dotazione su macchine da raccolta già dal 2006
- Dati sono relativamente facili da gestire (USB) e non richiedono un'immediata elaborazione (posso iniziare a registrare un archivio storico aziendale che mi potrà essere utile in futuro).

# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

La tecnologia applicativa può essere trasferita anche ad altri comparti ...

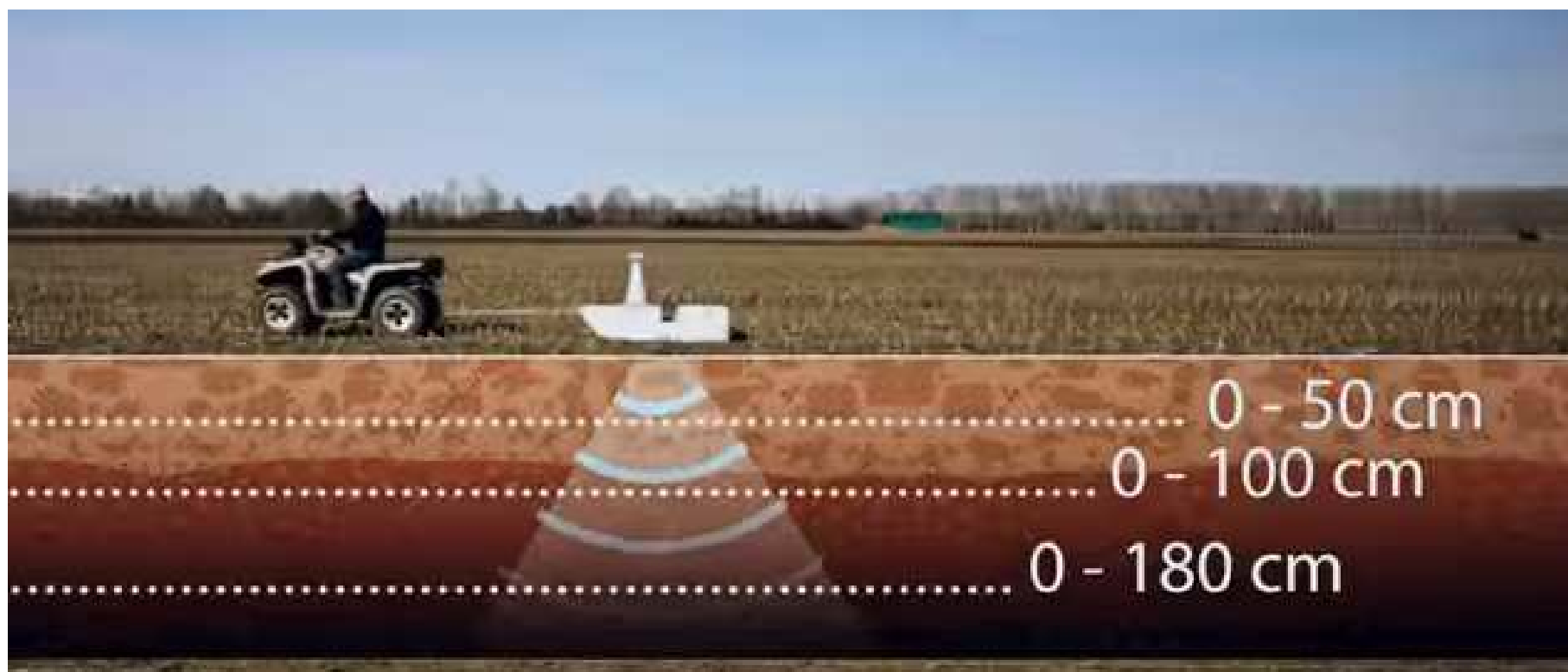


30% delle FTC vendute presenta sensoristica per monitorare la resa, l'umidità e qualità del prodotto trinciato (amido, proteine, NDF, ...).



# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

## Analisi del suolo - Resistività elettrica



# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

## Analisi del suolo - Resistività elettrica

### Cosa fa ?

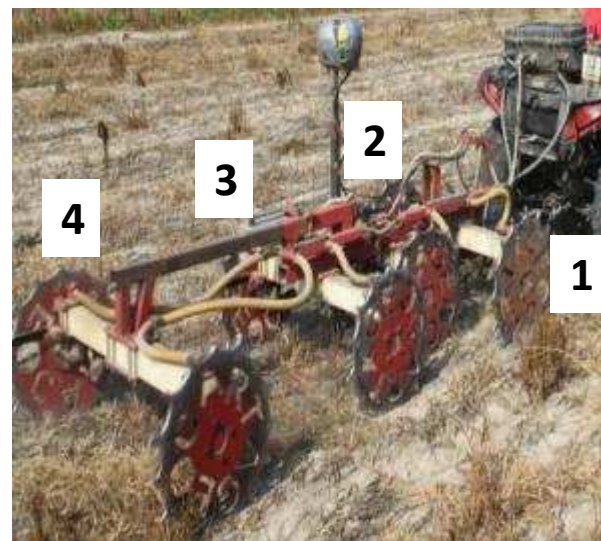
Rileva la variazione di resistività elettrica del suolo (Ohm/m) che è legata principalmente alle variazioni di tessitura.

### Come lavora?

- 1° asse immette una corrente debolmente alternata
- 2° asse misura differenza di potenziale nello strato 0-50 cm
- 3° asse misura differenza di potenziale nello strato 0-100 cm
- 4° asse misura differenza di potenziale nello strato 0-180 cm

### Risultato?

La georeferenziazione dei dati (DGPS) permette di ottenere una mappatura ad alta risoluzione delle 3 profondità indagate (0-50; 0-100; 0-180).



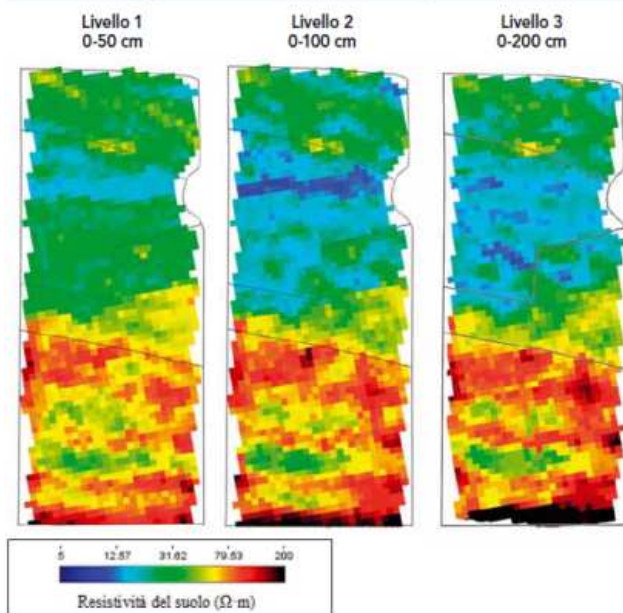
# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

## Analisi del suolo - Resistività elettrica



- ✓ Delinea la variabilità spaziale dell'appezzamento.
- ✓ Ottimizzo il numero di analisi chimico-fisiche (campionamento selettivo)

FIGURA 2 - Mappatura del terreno con tecnologia ARP



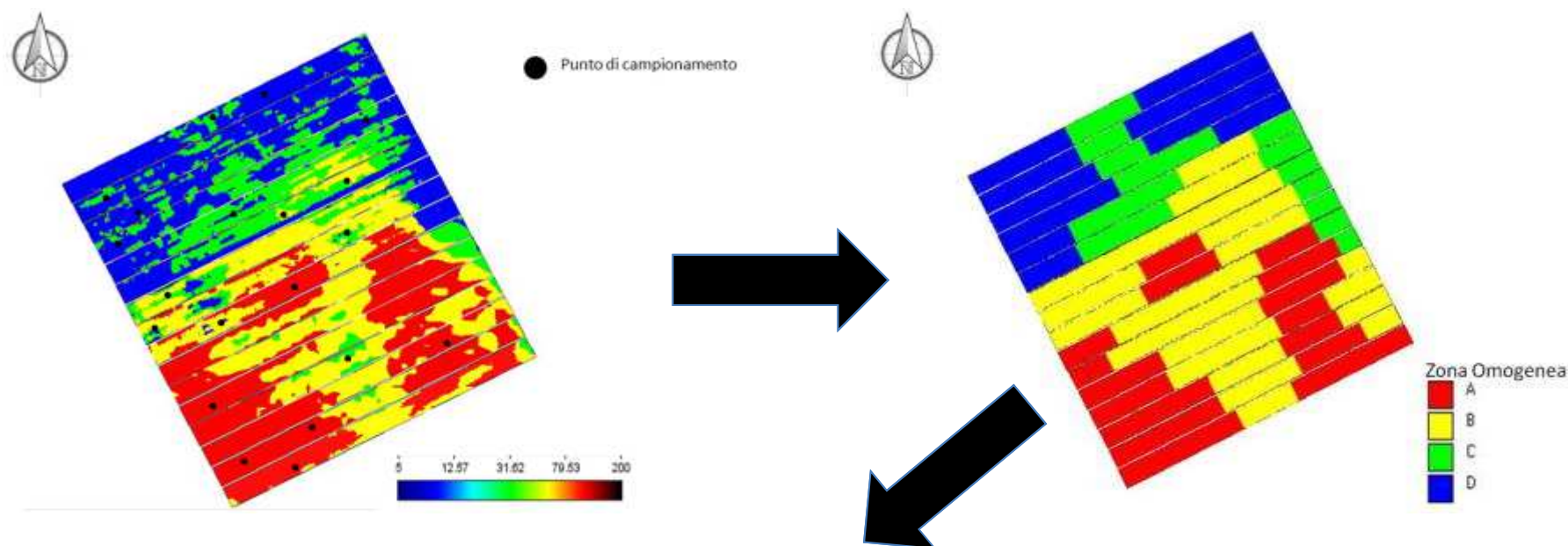
Valori di resistività bassi (colorazione blu - azzurro) definiscono tessiture con un maggiore contenuto di argilla, mentre alti livelli di resistività (colorazione rosso- rosso scuro) indicano la presenza di tessiture con alto contenuto di sabbia. Valori intermedi indicano una tessitura franca.



- *Tessitura*
- *Macro/meso elementi*
- *Carbonio organico*
- *pH*
- *Capacità di scambio cationico (C.S.C)*
- *Salinità*
- *... Altro...*

# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

## Definizione delle ZONE OMOGENEE



“... parte dell’appezzamento con un livello di resa diverso che può essere gestita in maniera uniforme ma differente rispetto ad altre zone

... Purchè la variabilità presenti una struttura spaziale ed un’intensità tale da renderne possibile una gestione differenziata in termini tecnici ed economici ...”



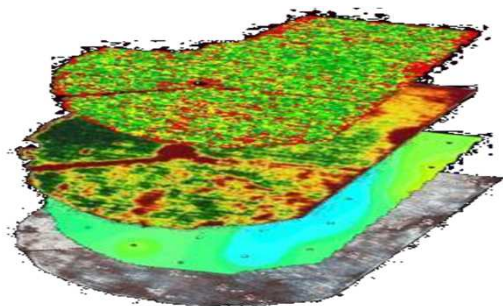
# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

## Utili nella DEFINIZIONE delle ZO

### Sistemi Informativi Geografici (GIS)

Localizzano i nostri dati in un sistema di coordinate su mappe in formato digitale;

In tale processo gli elementi possono essere raggruppati in diversi strati informativi (LAYER)



## Utili nella GESTIONE delle ZO (FASE 3)

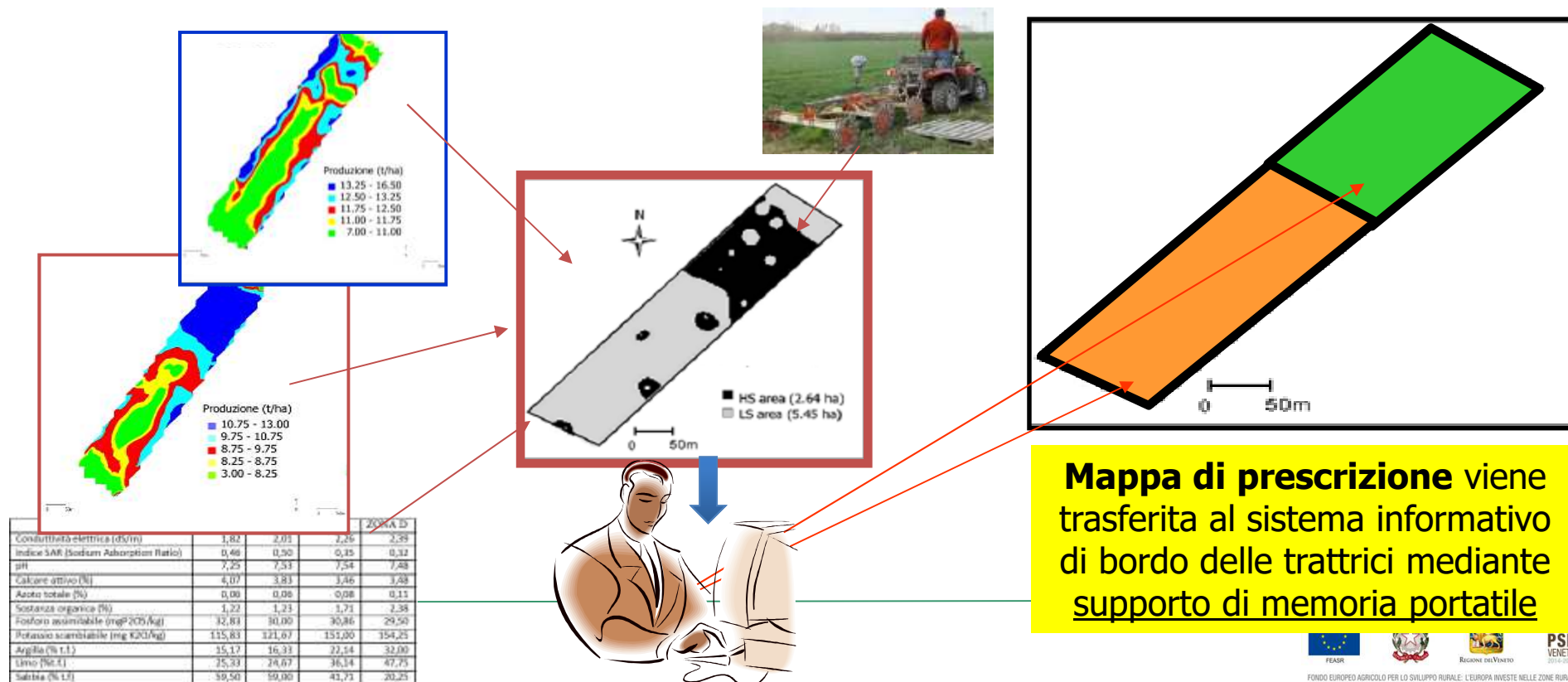
### Modellistica/Servizi di consulenza

- Esperienza dell'agricoltore
- Modelli che simulano lo sviluppo della coltura e gli scambi idrico-nutrizionali sulla base di specifiche condizioni pedoclimatiche e gestionali impartite
- Assistenza tecnica

# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

## PREDISPOSIZIONE DELLE MAPPE DI PRESCRIZIONE

- Definizione di **ZONE OMOGENEE** (stabili) all'interno della appezzamento.
- Definire **OBIETTIVI** e gestione agronomica di queste zone.
- Predisporre **MAPPE DI PRESCRIZIONE**.
- Applicare le nostre prescrizioni attraverso agrotecniche a **RATEO VARIABILE**



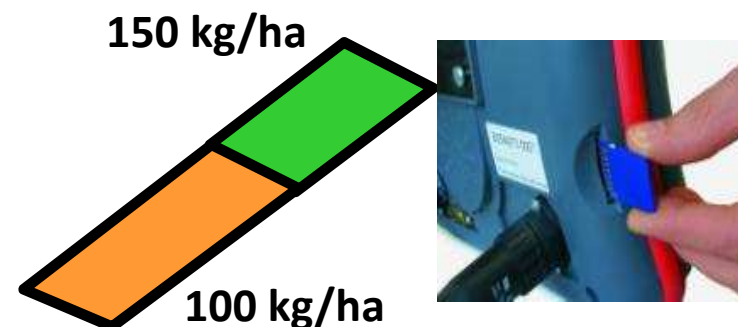
**Mappa di prescrizione** viene trasferita al sistema informativo di bordo delle trattrici mediante supporto di memoria portatile

# Agricoltura di Precisione – Studio della variabilità

## DISTRIBUZIONE DEGLI EFFLUENTI A RATEO VARIABILE

### *VRA basata su mappe*

Spandiliquame modifica la dose da distribuire sulla base delle informazioni contenute nella mappa di prescrizione.



Il ricevitore satellitare **(a)** riceve i segnali di posizione e li trasmette al gestionale di bordo **(b)** che provvederà ad integrarli con le informazioni presenti nella prescrizione. I connettori ISOBUS **(c)** permettono il trasferimento di tali informazioni allo spandiliquame, il quale, mediante un attuatore elettro-idraulico **(d)** modificherà il settaggio del sistema di distribuzione permettendo così l'erogazione di dosaggi differenziati.

## Agricoltura di Precisione - Tracciabilità



... è l'applicazione di **strategie di gestione** (*in primis*) e **tecnologie** per massimizzare l'efficienza dei fattori produttivi.

### ***PIU' AMBITI OPERATIVI ...***

- Impiego di "sistemi ausiliari" in grado di ottimizzare l'esecuzione delle operazioni colturali (SISTEMI DI GUIDA ASSISTITA).
- Gestione della variabilità dei nostri campi allo scopo di dosare i fattori produttivi in base alle «reali» necessità (STUDIO VARIABILITA').
- Impiego di macchine «intelligenti» in grado di modificare la loro operatività all'interno dell'appezzamento (RATEO VARIABILE).
- Registrare, archiviare, consultare e utilizzare i dati relativi a tutte le attività di campo (**MAPPATURE, TELEMETRIA, TRACCIABILITA' ...**).

# Agricoltura di Precisione - Tracciabilità

## LE INFORMAZIONI COME PRODOTTO – TRACCIABILITA' DEGLI EFFLUENTI

- Si realizza tramite installazione di sistemi di raccolta e registrazione dati su spandiliquame e vasca di stoccaggio.
- Permette di rilevare quantitativi movimentati, percorsi seguiti (integrazione con dato GPS) e i periodi di movimentazione/distribuzione.

## IMPIEGO DATI AZIENDALE

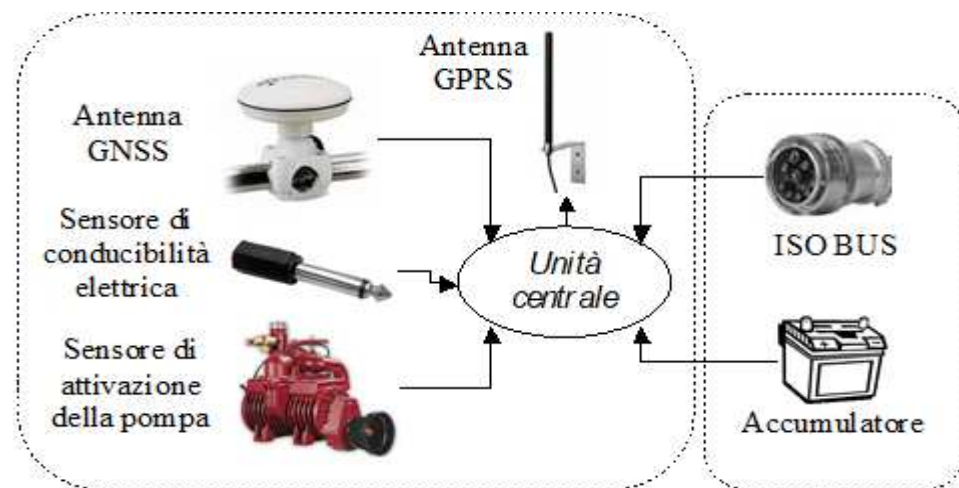
- ✓ Ottimizzare l'organizzazione e la programmazione lavori,
- ✓ Conoscenza delle quantità di effluente realmente distribuiti

## IMPIEGO DATI EXTRA-AZIENDALE

- ✓ Monitoraggio dei cantieri di lavoro
- ✓ Supporto dati per compilazione di quaderni di campagna.
- ✓ Documentazione della reale attività svolta e dei quantitativi gestiti (agromeccanici)

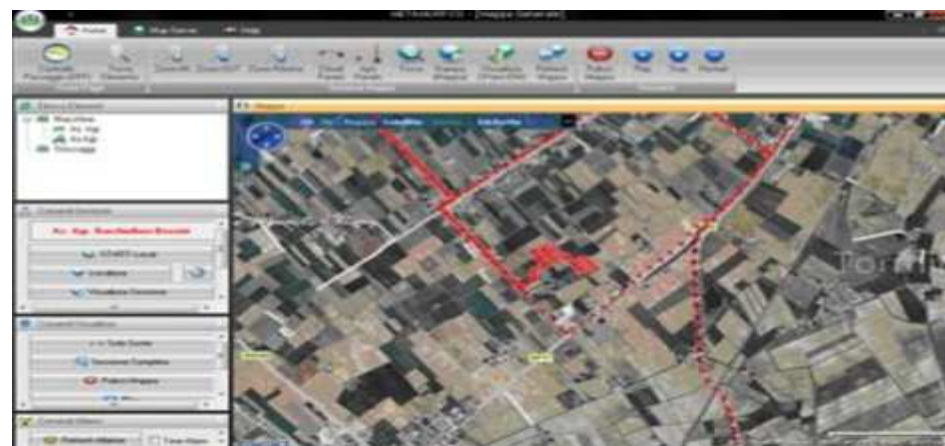
# Agricoltura di Precisione - Tracciabilità

## LE INFORMAZIONI COME PRODOTTO – TRACCIABILITA' DEGLI EFFLUENTI



SPANDILQUAME

TRATTORE



## Conclusioni

- La distribuzione è l'ultimo passo della gestione degli effluenti e rappresenta una fase cruciale per mantenere i benefici delle tecniche applicate per il controllo delle emissioni  
→ necessario quindi un approccio integrato ed efficiente tra le varie «fasi».
- Le tecniche di distribuzione «virtuose» sono sempre più considerate dal legislatore, ormai non più solo come semplici «best practices»
- La velocità di interrimento per garantire il controllo delle emissioni ma anche per massimizzare la potenzialità fertilizzante per l'agricoltore/allevatore.
- La conoscenza del carico di nutrienti contenuto negli effluenti è un altro fattore cruciale  
→ le tecnologie ci consentono di arrivare a gestire un effluente come un fertilizzante di sintesi.

***Grazie per l'attenzione!***

**[andrea.pezzuolo@unipd.it](mailto:andrea.pezzuolo@unipd.it)**