



Sistemi di distribuzione e modalità attualmente in uso

Carlo Bisaglia, Massimo Brambilla



04/02/2026

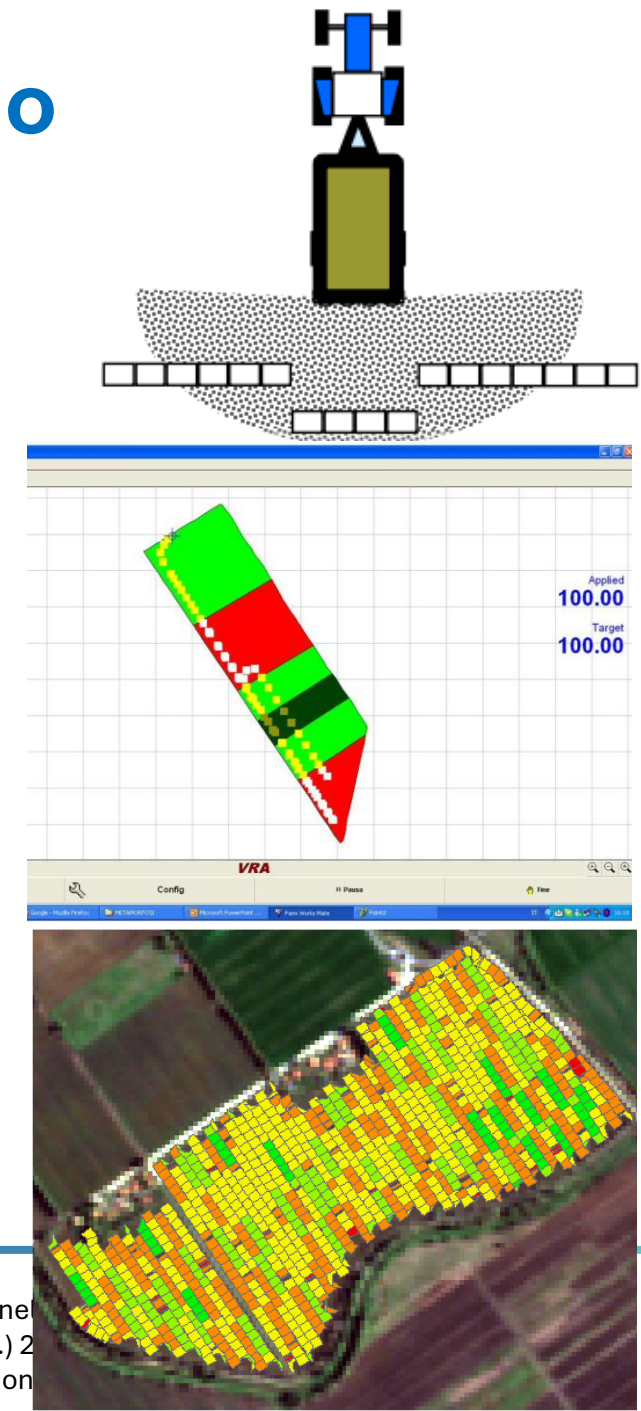
La scelta dei sistemi di distribuzione

- La distribuzione in campo è l'**ultima fase** nella gestione dei concimi organici (sia liquidi sia solidi-palabili).
- Rappresenta una fase cruciale per **mantenere i benefici** delle tecniche applicate a monte per il controllo delle emissioni.
- La conoscenza del **contenuto di nutrienti** è un elemento cruciale (ad es.: vedi possibile ruolo dei sensori NIR).
- Le **macchine** devono essere scelte, calibrate e regolate correttamente.
- L'**epoca** di applicazione è un elemento di precisione oltre che dettato dalle normative ed è importante quanto le attrezzature o le tecnologie usate per la distribuzione.
- Tutte le **tecnologie di precisione** (sensori, attuatori, elettronica, ecc.) sono da considerare attentamente al momento della scelta o dell'investimento (es.: PSR, PAN, Agricoltura 4.0, Agricoltura 5.0).
- I **criteri applicativi** (come distribuire) devono quindi riguardare sia lo **spazio** (dove e quanto distribuire) sia il **tempo** (quando distribuire)



Criteri applicativi per la distribuzione **nello spazio**

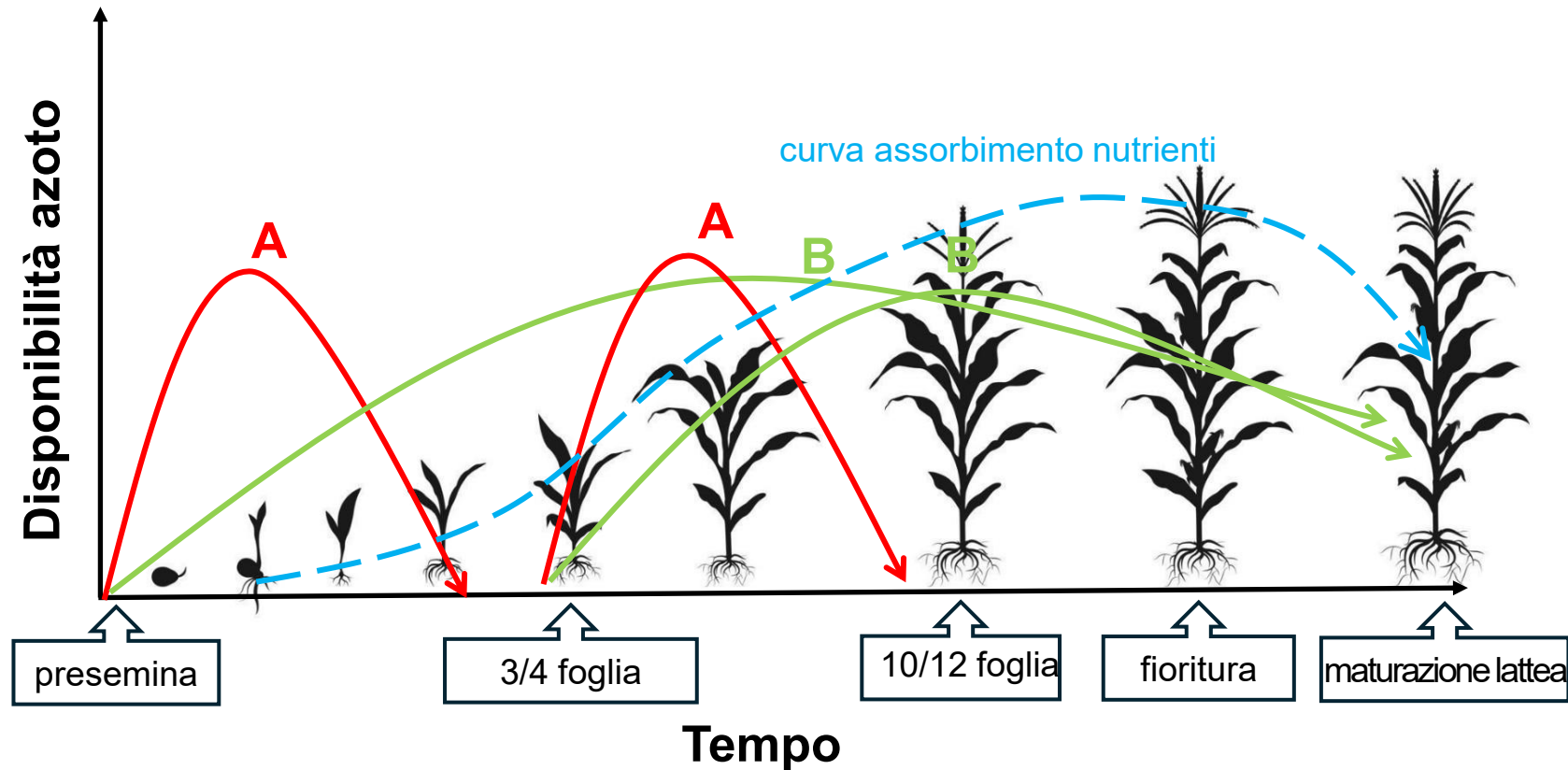
- Distribuzione **uniforme**: rappresenta la modalità più diffusa. Deve tenere conto della velocità di avanzamento e di eventuali sovrapposizioni delle passate
- Distribuzione **sito-specifica**: l'appezzamento è trattato secondo sotto-aree omogenee al cui interno le diverse dosi di prodotto sono applicate uniformemente.
- **Distribuzione a rateo variabile**: variando in continuo la dose per ciascun punto dell'appezzamento in funzione delle esigenze rilevate (*i.* sensori on-the-go installati sul trattore o *ii.* mappe realizzate con diverse fonti di dati).



Aspetti da considerare nella scelta del criterio **spaziale**

| Criterio applicativo | Vantaggi | Svantaggi |
|----------------------|--|---|
| Uniforme | <ul style="list-style-type: none"> ■ Tecnologie convenzionali già esistenti | <ul style="list-style-type: none"> ■ Sovra- o sotto-dosaggi indesiderati ■ Tempi e costi di distribuzione |
| Sito-specifico | <ul style="list-style-type: none"> ■ Distribuzione uniforme all'interno della sotto-area omogenea, potenzialmente realizzabile con macchine convenzionali | <ul style="list-style-type: none"> ■ E' necessario individuare le sotto-aree omogenee. Non esiste un metodo universalmente valido. ■ Le informazioni per individuare le sotto-aree dovrebbero essere pluriennali ■ Con che criterio si stabiliscono le diverse dosi da distribuire? |
| Rateo variabile | <ul style="list-style-type: none"> ■ Considera l'effettiva variabilità delle caratteristiche del suolo o della coltura ■ Con sensori on-the-go non servono mappe e GPS | <ul style="list-style-type: none"> ■ Senza sensori on-the-go servono mappe di prescrizione: non esiste un metodo universalmente valido ■ E' difficile determinare la dose da apportare in base alle informazioni di un solo tipo di sensore (suolo? produzione? vigore?) ■ Necessarie macchine con VRT e sensori specifici |

Criteri applicativi per la distribuzione **nel tempo**



A. Pronto effetto: subito disponibili, ma non «accompagnano» la coltura

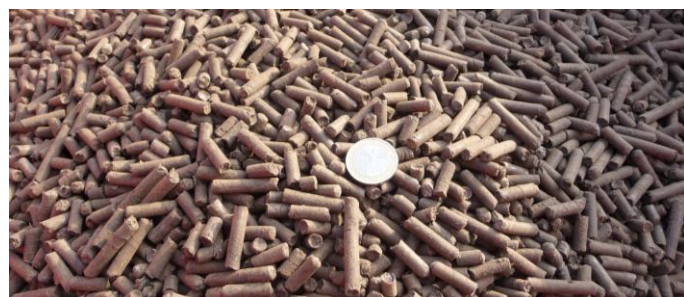
B. Lunga cessione: disponibili gradualmente in considerazione delle esigenze della coltura e delle possibilità logistiche

Importanza della logistica

- Carico (in azienda, in campo)
- Trasporto
- **Distribuzione**
- **Interramento**

Criteri di scelta

- Caratteristiche fisiche del materiale
- Cicli di lavoro
- Organizzazione del cantiere
- Distanze da percorrere
- Vincoli legislativi



Fonte: ManuRobo, 2025



Modalità in uso per i reflui liquidi

In bande
superficiali



In bande con
deflettori



Interramento



Piatto deviatore



Interramento in
copertura su
mais



Fonte: Maschio

Schema: Lukehurst *et al.*

| | In bande superficiali | In bande con deflettori | Interramento | Piatto deviatore |
|---|---------------------------|----------------------------|---------------|------------------|
| Distribuzione refluo | uniforme | uniforme | uniforme | non uniforme |
| Rischio volatilizzazione NH4⁺ | medio | basso | basso o nullo | alto |
| Rischio deriva con vento | minimo dopo distribuzione | minimo dopo distribuzione | nullo | alto |
| Produzione odori | medio | basso | molto basso | alto |
| Capacità di lavoro | alto | basso | basso | alto |
| Larghezza di lavoro | 12-28 m | 6-12 m | 6-12 m | 6-10 m |
| Costo distribuzione | medio | medio | alto | basso |
| Refluo visibile | poco | poco | molto poco | molto |

Modalità in uso per i reflui solidi-palabili

La tecnologia: **carri spandiletame** con rotori e fondo (o paratia) mobili per lo scarico del prodotto. Dotazioni AdP: sistema ISOBUS, sistema di pesatura (da fermo), determinazione area di lavoro, controllo TIM (Tractor-Implement-Management).



Fonte: Digi Device Srl

Gli effetti: uso con prodotti a prevalente effetto ammendante (compost, letami). Precisione non strettamente necessaria (accettabili CV <30%). Possibile applicazione del **criterio sito-specifico**.

Gli obblighi: interrimento differito (aratura, discatura) entro alcune ore dalla distribuzione superficiale di effluenti **solidi** o **liquidi**

Distribuzione di materiali solidi pellettati

La tecnologia: l'effluente organico liquido può essere essiccato e successivamente pellettato raggiungendo densità e dimensioni compatibili per l'uso con spandiconcime centrifughi. Dotazioni AdP: guida semi-automatica GNSS + RTK, ISOBUS, rateo variabile, controllo delle sezioni, ripresa centimetrica del punto di interruzione, compensazione bordi e pendenze.



Gli effetti: l'effluente può essere gestito come un normale fertilizzante minerale.

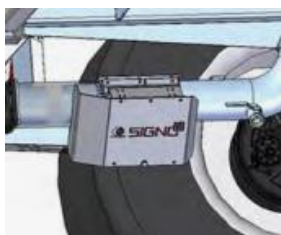
Dose variabile basata su sensori di vigore *on-the-go*



| Produttore/Sensore | Tecnologia |
|----------------------------------|-----------------------|
| Claas, Fritzmeier «Isaria» | Indici di vegetazione |
| Yara «N-Sensor» | Indici di vegetazione |
| Trimble «GreenSeeker» | Indici di vegetazione |
| Topcon «CropSpec» | Indici di vegetazione |
| AgLeader «OptRx» | Indici di vegetazione |
| Holland Scientific «Crop Circle» | Indici di vegetazione |

Fonti: siti web dei costruttori

La variabilità dei reflui: sensori NIR



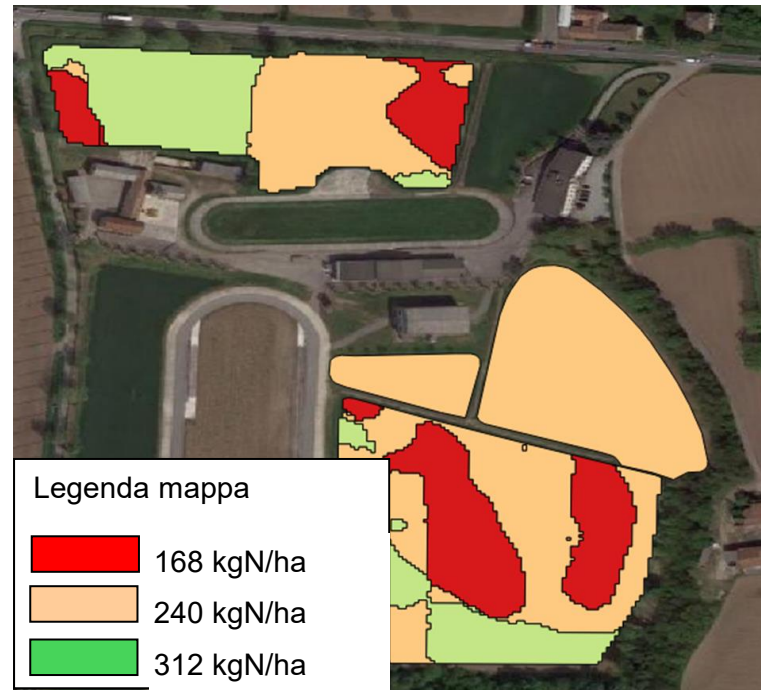
| Produttore/Sensore | Tecnologia |
|--|--|
| Zunhammer «VAN Control 2.0» | NIR imbarcato, in continuo |
| John Deere «HarvestLab» | NIR imbarcato, in continuo |
| Garant/Kotte «NCL-Mobile» | NIR su laboratorio mobile, in continuo |
| D-Tec NIR | NIR imbarcato, a campione |
| New Holland e Dinamica Generale «Evo NIR» | NIR imbarcato, in continuo |
| Veenhuis «Nutriflow/Nutriject» | NIR imbarcato, in continuo |
| Gruppo Bauer (Bauer, Eckart, BSA) «Signo ID» | NIR imbarcato, in continuo |

Fonti: siti web dei costruttori

Dose variabile basata su mappa di prescrizione

| Q1 | | | | |
|----|----------|----------|-----------|------------|
| | A | B | C | D |
| 1 | LON | LAT | Vol mc/ha | Ntot kg/ha |
| 2 | 9,564014 | 45,52301 | 53,49 | 160,47 |
| 3 | 9,564011 | 45,52301 | 52,08 | 156,24 |
| 4 | 9,564008 | 45,52301 | 51,01 | 153,03 |
| 5 | 9,564005 | 45,52301 | 51,22 | 153,66 |
| 6 | 9,564002 | 45,52301 | 49,73 | 149,19 |
| 7 | 9,563999 | 45,52301 | 48,56 | 145,68 |
| 8 | 9,563996 | 45,52301 | 48,28 | 144,84 |
| 9 | 9,563993 | 45,52301 | 48,28 | 144,84 |
| 10 | 9,563989 | 45,52301 | 48,06 | 144,18 |
| 11 | 9,563986 | 45,52301 | 46,08 | 138,24 |
| 12 | 9,563983 | 45,52301 | 44,66 | 133,98 |
| 13 | 9,563979 | 45,52301 | 43,79 | 131,37 |
| 14 | 9,563976 | 45,52301 | 43,31 | 129,93 |
| 15 | 9,563973 | 45,52301 | 43,5 | 130,5 |
| 16 | 9,563969 | 45,52301 | 43,22 | 129,66 |
| 17 | 9,563966 | 45,52301 | 41,51 | 124,53 |
| 18 | 9,563962 | 45,52301 | 41,42 | 124,26 |
| 19 | 9,563959 | 45,52301 | 40,23 | 120,69 |
| 20 | 9,563955 | 45,52302 | 41,07 | 123,21 |
| 21 | 9,563951 | 45,52302 | 39,78 | 119,34 |
| 22 | 9,563948 | 45,52302 | 39,48 | 118,44 |
| 23 | 9,563944 | 45,52302 | 39,32 | 117,96 |
| 24 | 9,56394 | 45,52302 | 39,48 | 118,44 |
| 25 | 9,563936 | 45,52302 | 39,25 | 117,75 |
| 26 | 9,563933 | 45,52302 | 38,51 | 115,53 |
| 27 | 9,563929 | 45,52302 | 41,01 | 123,03 |
| 28 | 9,563925 | 45,52302 | 41,01 | 123,03 |
| 29 | 9,563921 | 45,52302 | 41,32 | 123,96 |

Un esempio con prodotti liquidi



Spandiliquame semovente a RV, con interruttore



- Pompa volumetrica a regime variabile
- Larghezza di lavoro dell'interruttore: 4,5 m
- Uniforme distribuzione delle masse su tre ruote
- Controllo *on-the-go* della pressione degli pneumatici
- Analizzatore NIR imbarcato, in continuo

La navigazione

- Guida automatica
- Correzione RTK

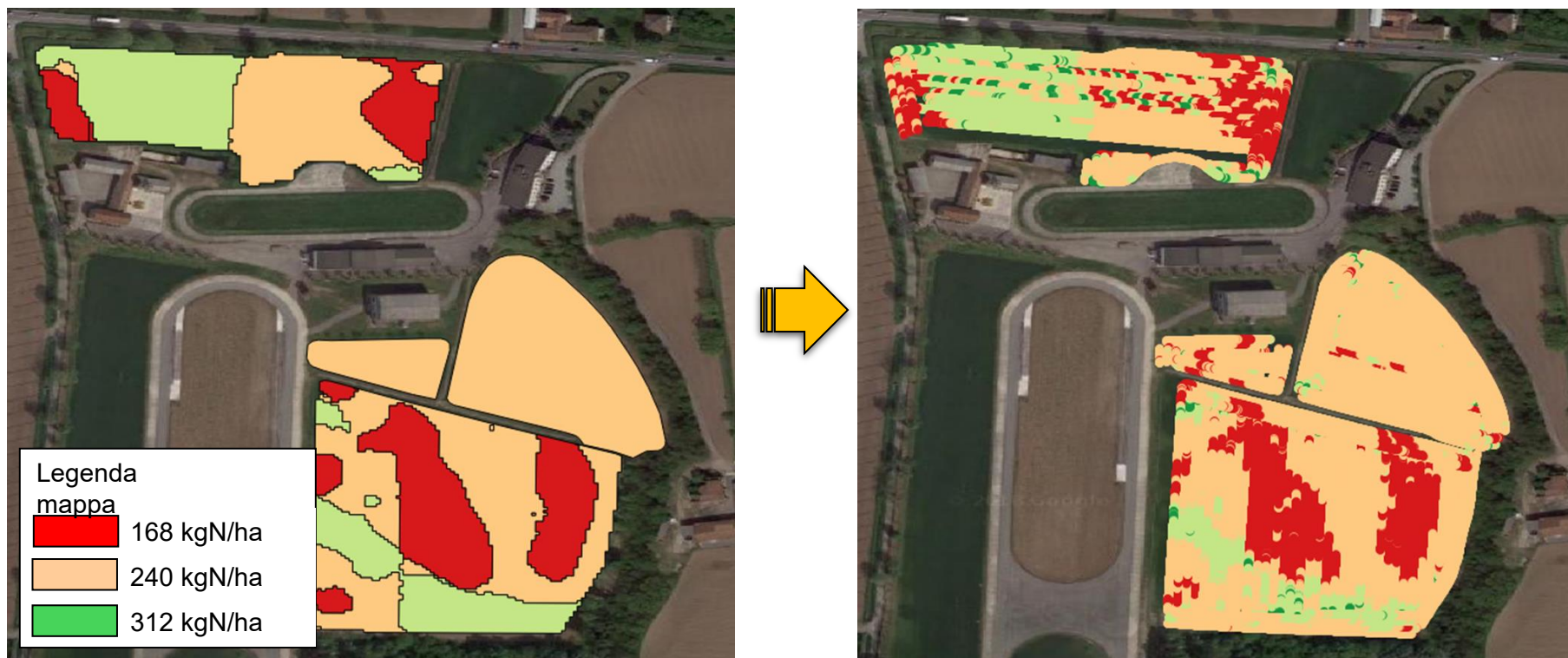


Minima sovrapposizione delle passate

La mappa di distribuzione realizzata

A partire dalla mappa di prescrizione si ottiene la mappa di distribuzione che consente di:

- disporre di **informazioni sito-specifiche**;
- realizzare una **mappa sufficientemente «gestibile»** (es.: zone omogenee ampie e rappresentative, con differenze significative);
- disporre di un **cantiere** in grado di **ricevere** e di **eseguire** le istruzioni contenute nella mappa.





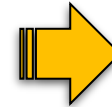
Dose variabile basata su mappa di prescrizione

Un esempio con prodotti solidi-palabili

| | A | B | C | D | E |
|----|----------|----------|-----------|------------|---|
| 1 | LON | LAT | Vol mc/ha | Ntot kg/ha | |
| 2 | 9,564014 | 45,52301 | 53,49 | 160,47 | |
| 3 | 9,564011 | 45,52301 | 52,08 | 156,24 | |
| 4 | 9,564008 | 45,52301 | 51,01 | 153,03 | |
| 5 | 9,564005 | 45,52301 | 51,22 | 153,66 | |
| 6 | 9,564002 | 45,52301 | 49,73 | 149,19 | |
| 7 | 9,563999 | 45,52301 | 48,56 | 145,68 | |
| 8 | 9,563996 | 45,52301 | 48,28 | 144,84 | |
| 9 | 9,563993 | 45,52301 | 48,28 | 144,84 | |
| 10 | 9,563989 | 45,52301 | 48,06 | 144,18 | |
| 11 | 9,563986 | 45,52301 | 46,08 | 138,24 | |
| 12 | 9,563983 | 45,52301 | 44,66 | 133,98 | |
| 13 | 9,563979 | 45,52301 | 43,79 | 131,37 | |
| 14 | 9,563976 | 45,52301 | 43,31 | 129,93 | |
| 15 | 9,563973 | 45,52301 | 43,5 | 130,5 | |
| 16 | 9,563969 | 45,52301 | 43,22 | 129,66 | |
| 17 | 9,563966 | 45,52301 | 41,51 | 124,53 | |
| 18 | 9,563962 | 45,52301 | 41,42 | 124,26 | |
| 19 | 9,563959 | 45,52301 | 40,23 | 120,69 | |
| 20 | 9,563955 | 45,52302 | 41,07 | 123,21 | |
| 21 | 9,563951 | 45,52302 | 39,78 | 119,34 | |
| 22 | 9,563948 | 45,52302 | 39,48 | 118,44 | |
| 23 | 9,563944 | 45,52302 | 39,32 | 117,96 | |
| 24 | 9,56394 | 45,52302 | 39,48 | 118,44 | |
| 25 | 9,563936 | 45,52302 | 39,25 | 117,75 | |
| 26 | 9,563933 | 45,52302 | 38,51 | 115,53 | |
| 27 | 9,563929 | 45,52302 | 41,01 | 123,03 | |
| 28 | 9,563925 | 45,52302 | 41,01 | 123,03 | |
| 29 | 9,563921 | 45,52302 | 41,32 | 123,96 | |



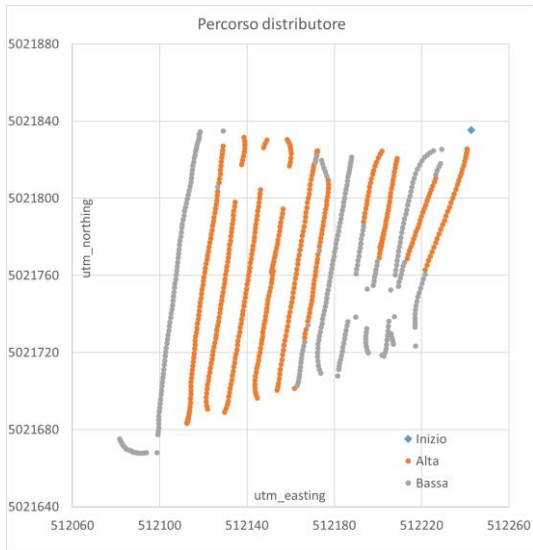
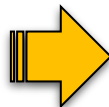
 204 kgN ha⁻¹(25.4 t ha⁻¹)
 276 kgN ha⁻¹(34.3 t ha⁻¹)



Carro spandiliquame a RV



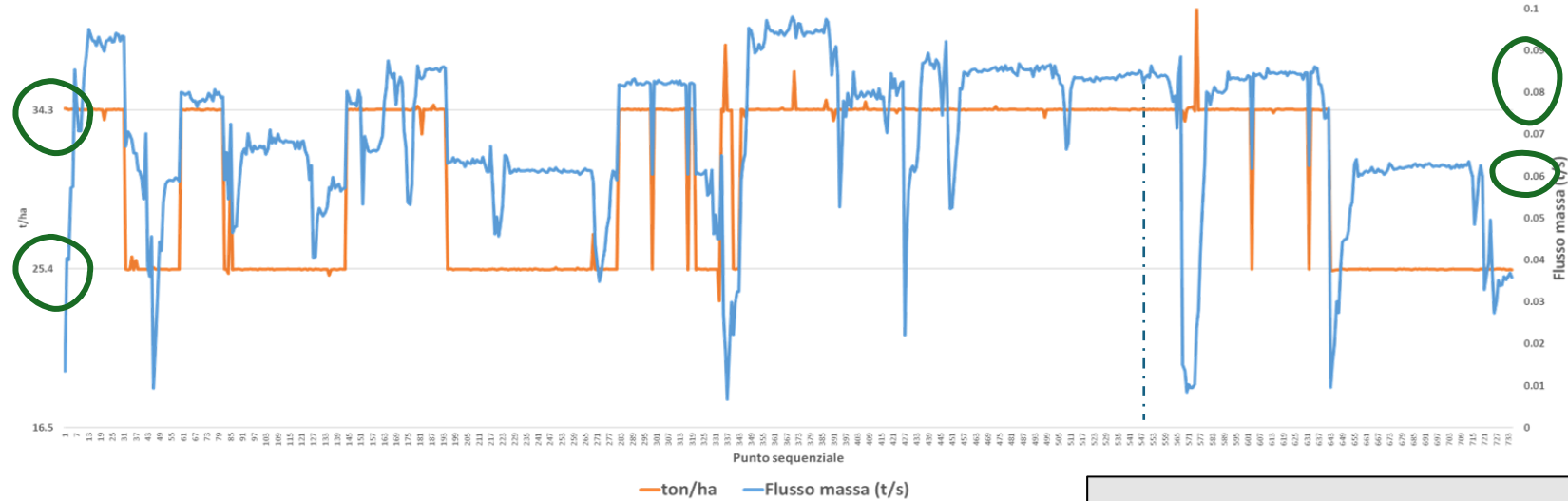
La distribuzione in campo



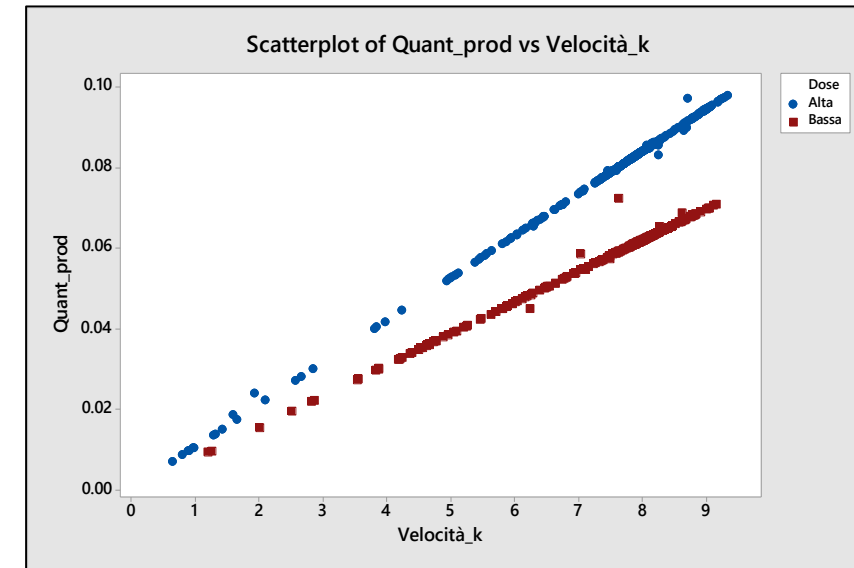
| Dose | KgN/ha | t/ha |
|-------|--------|------|
| alta | 276 | 34.3 |
| bassa | 204 | 25.4 |

Larghezza di lavoro: 11 m

Valutazione dei flussi di prodotto



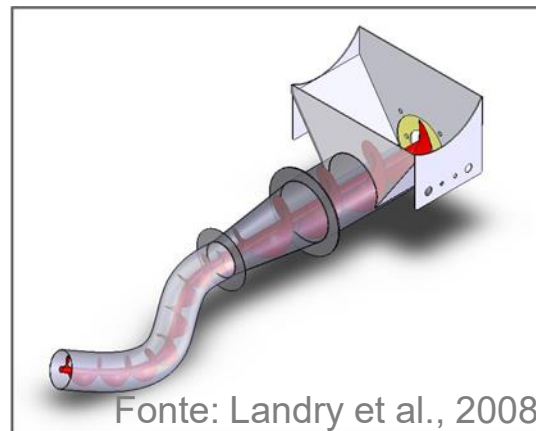
- Il flusso di massa (t/s) delle biomasse distribuite segue abbastanza bene il passaggio da zone di bassa a zone di alta dose
- Inerzia nella transizione da zone di alta dose a zone di bassa dose



Azioni di mitigazione: l'interramento **diretto**



Interramento in **solco chiuso**: bene per i liquidi



Interramento in **solco chiuso**: per i palabili solo a livello di prototipo (problemi: energia e intasamenti)

Azioni di mitigazione: l'interramento **deferito**



1. Spandimento superficiale (a bassa pressione per i liquidi)

2. interramento differito (di poche ore)

Per i palabili: limitazioni nello stoccaggio temporaneo a bordo campo



Azioni di mitigazione: lo spandimento radente con **scarificazione**



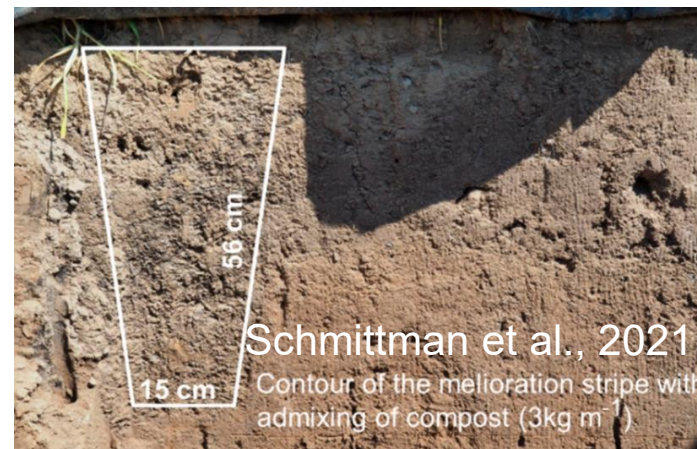
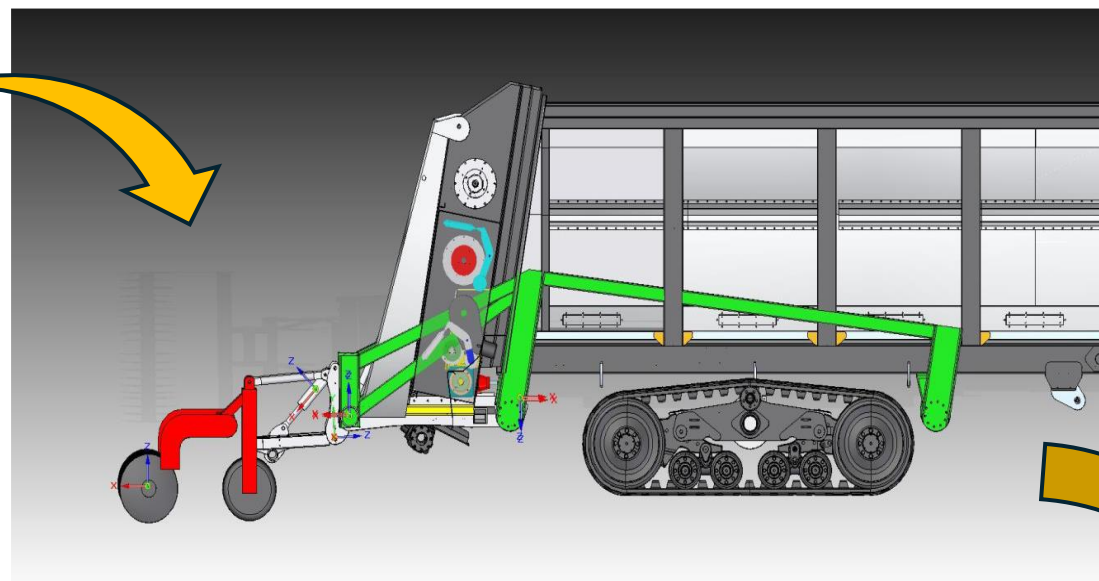
Interramento in **solco aperto**: per i liquidi



Ripuntatore associato: per i palabili

Il prototipo GreenMais

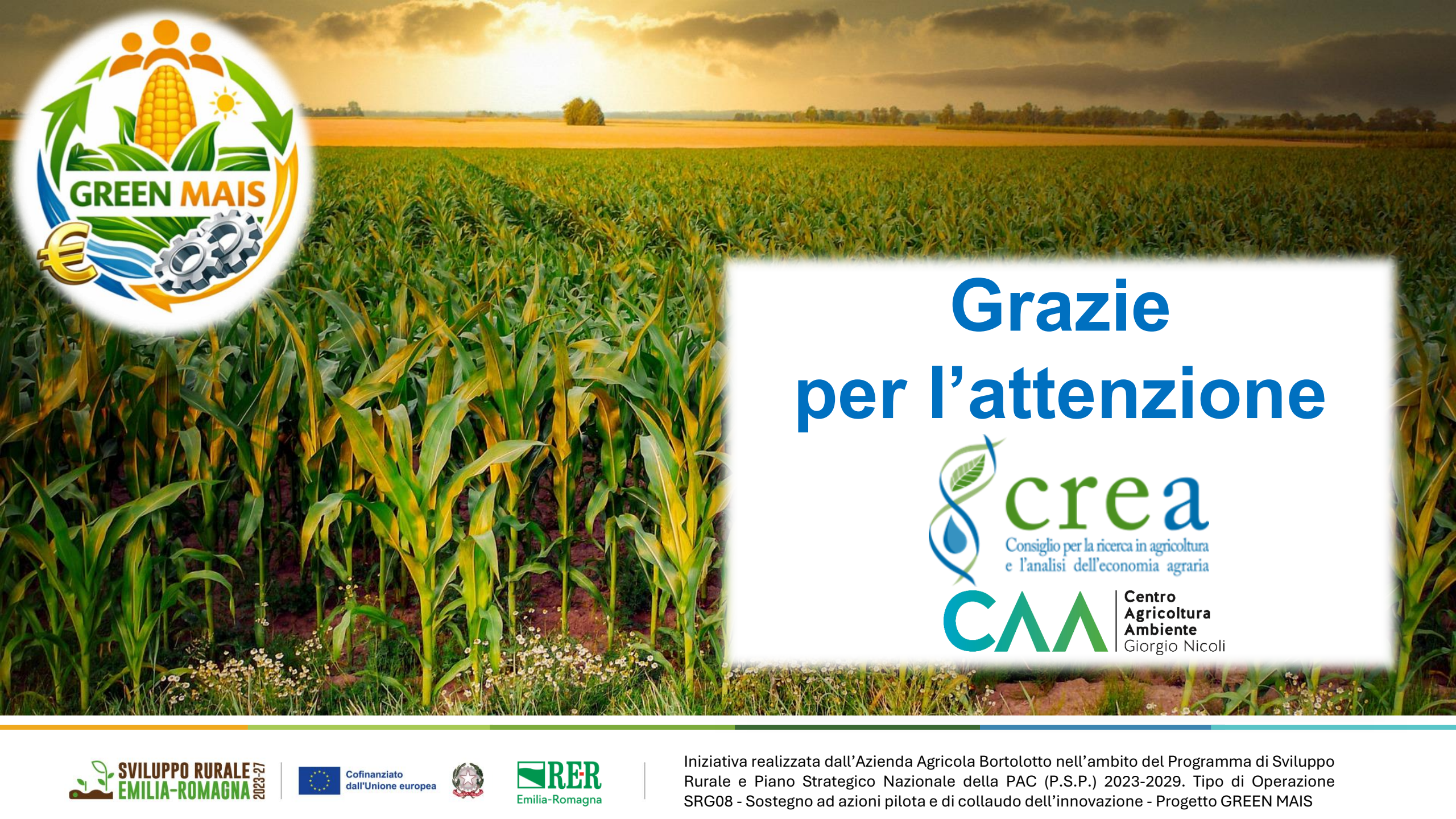
1. Incorporazione volumetrica di materiale organico palabile



In collaborazione con la Ditta Franzosi Snc,
Cà D'Andrea (Cremona)

Alcune considerazioni

- Le tecnologia digitali attuali permettono di adeguare la **dose di prodotto** da distribuire alle esigenze/condizioni del suolo/coltura secondo mappe di prescrizione o grazie a sensori.
- Non sono sempre disponibili tecnologie per la **mitigazione di alcuni effetti** (volatilizzazione, odori, ecc.).
- I sistemi digitali potrebbero agire come elemento di **tracciabilità** (es.: blockchain).
- La valutazione della **variabilità delle biomasse** è un ulteriore elemento da considerare.



Grazie per l'attenzione

