



Sistemi di distribuzione e modalità attualmente in uso

Carlo Bisaglia, Massimo Brambilla



04/02/2026

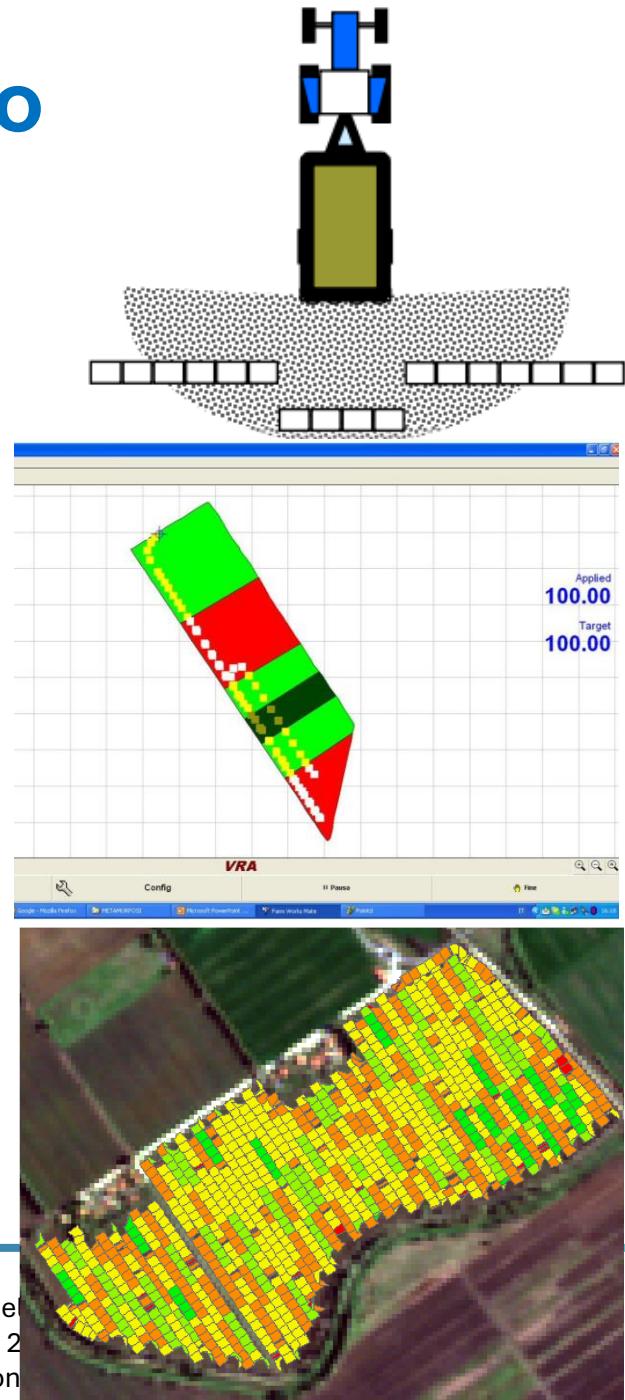
La scelta dei sistemi di distribuzione

- 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 **tecniche 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

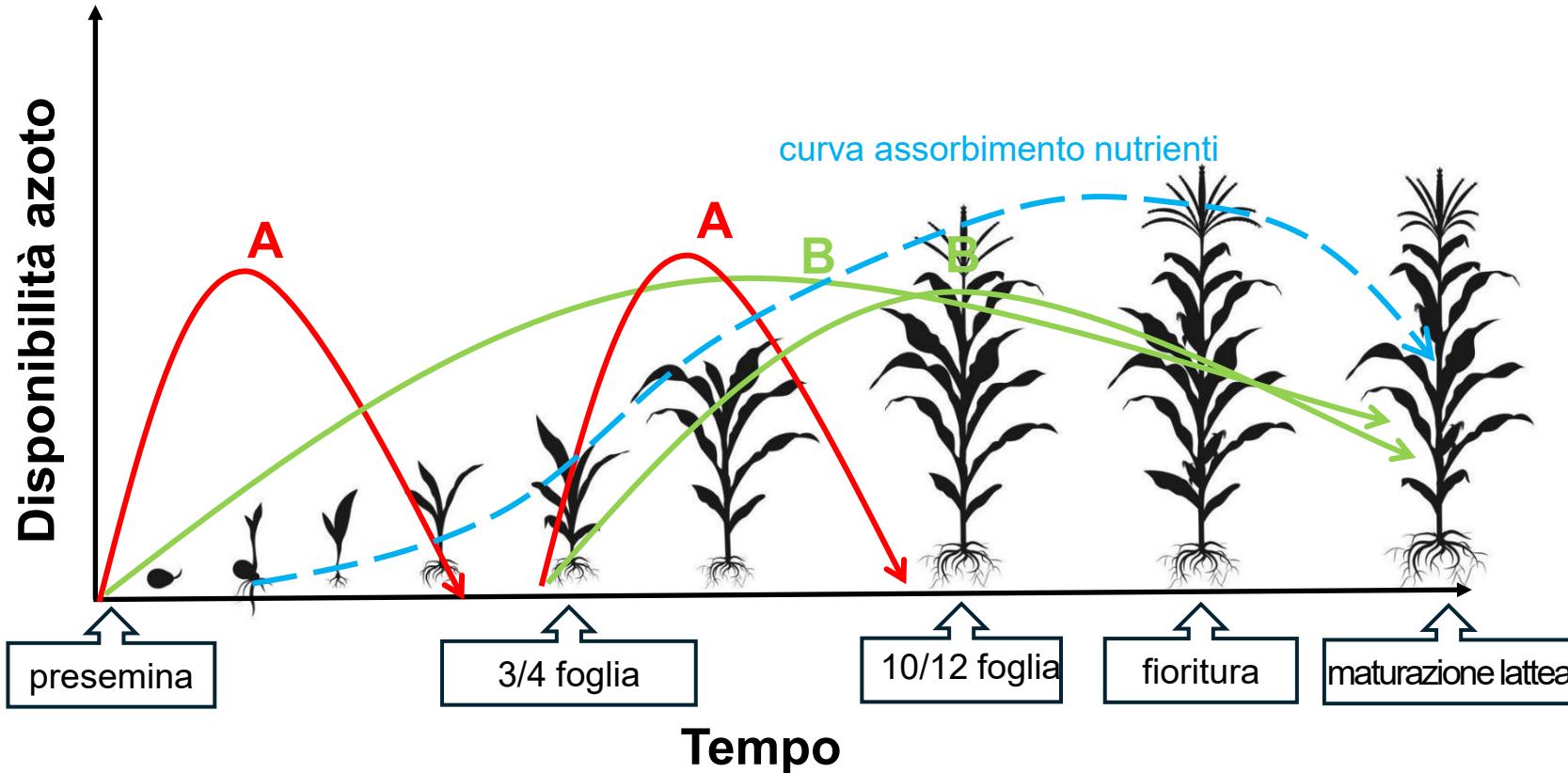
- Distribuzione **uniforme**: rappresenta la modalità più diffusa. Deve tenere conto della velocità di avanzamento e di eventuali sovrapposizioni delle passate
- Distribuzione **sito-specifica**: l'apezzamento è trattato secondo sotto-aree omogenee al cui interno le diverse dosi di prodotto sono applicate uniformemente.
- **Distribuzione a rateo variabile**: variando in continuo la dose per ciascun punto dell'apezzamento 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

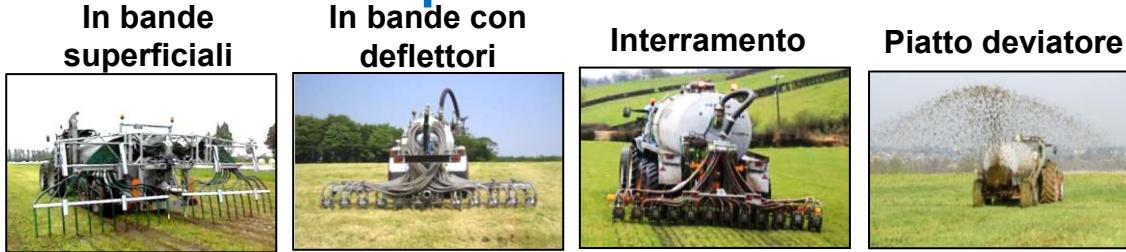
Criteri di scelta

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



Modalità in uso per i reflui liquidi

Schema: Lukehurst et al.



Distribuzione reflujo	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

Interramento in copertura su mais



Fonte: Maschio

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: interramento 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.

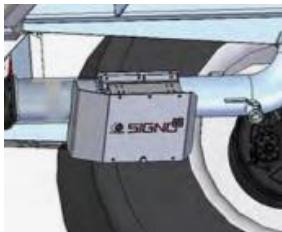
Dose variabile basata su sensori di vigore on-the-go



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

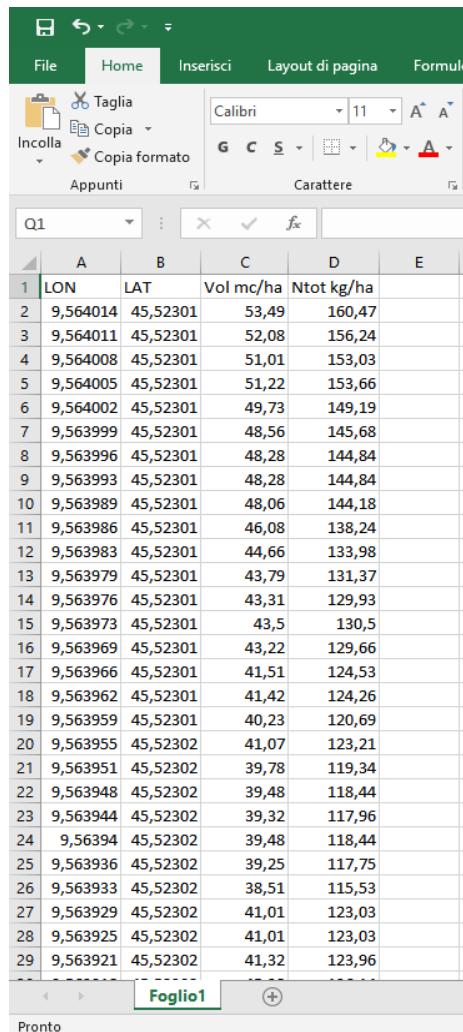
La variabilità dei reflui: sensori NIR



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

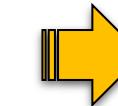
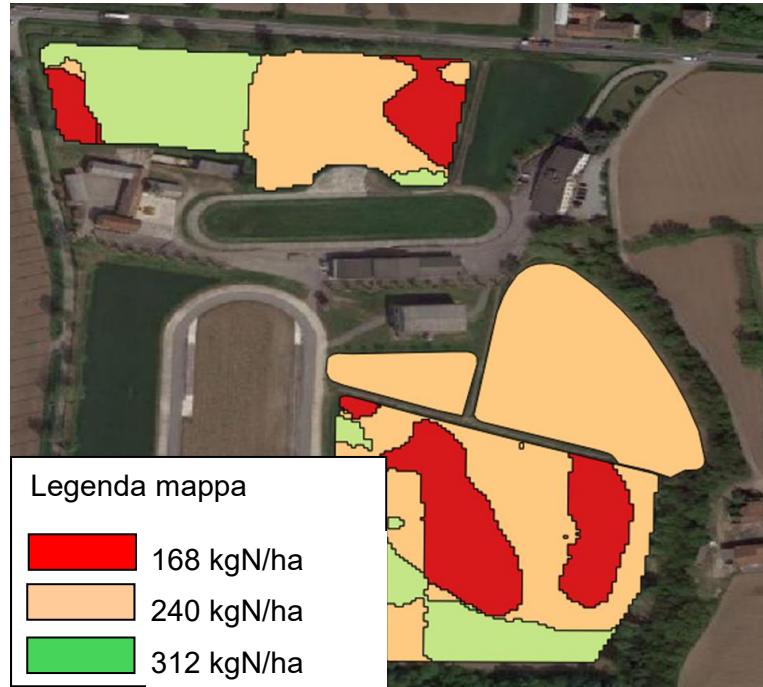
Fonti: siti web dei costruttori

Dose variabile basata su mappa di prescrizione



	LON	LAT	Vol mc/ha	Ntot kg/ha
1	9,564014	45,52301	53,49	160,47
2	9,564011	45,52301	52,08	156,24
3	9,564008	45,52301	51,01	153,03
4	9,564005	45,52301	51,22	153,66
5	9,564002	45,52301	49,73	149,19
6	9,563999	45,52301	48,56	145,68
7	9,563996	45,52301	48,28	144,84
8	9,563993	45,52301	48,28	144,84
9	9,563989	45,52301	48,06	144,18
10	9,563986	45,52301	46,08	138,24
11	9,563983	45,52301	44,66	133,98
12	9,563979	45,52301	43,79	131,37
13	9,563976	45,52301	43,31	129,93
14	9,563973	45,52301	43,5	130,5
15	9,563969	45,52301	43,22	129,66
16	9,563966	45,52301	41,51	124,53
17	9,563962	45,52301	41,42	124,26
18	9,563959	45,52301	40,23	120,69
19	9,563955	45,52302	41,07	123,21
20	9,563951	45,52302	39,78	119,34
21	9,563948	45,52302	39,48	118,44
22	9,563944	45,52302	39,32	117,96
23	9,563934	45,52302	39,48	118,44
24	9,563936	45,52302	39,25	117,75
25	9,563933	45,52302	38,51	115,53
26	9,563929	45,52302	41,01	123,03
27	9,563925	45,52302	41,01	123,03
28	9,563921	45,52302	41,32	123,96

Un esempio con prodotti liquidi



Spandiliquame semovente a RV, con interratore



- Pompa volumetrica a regime variabile
- Larghezza di lavoro dell'interratore: 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

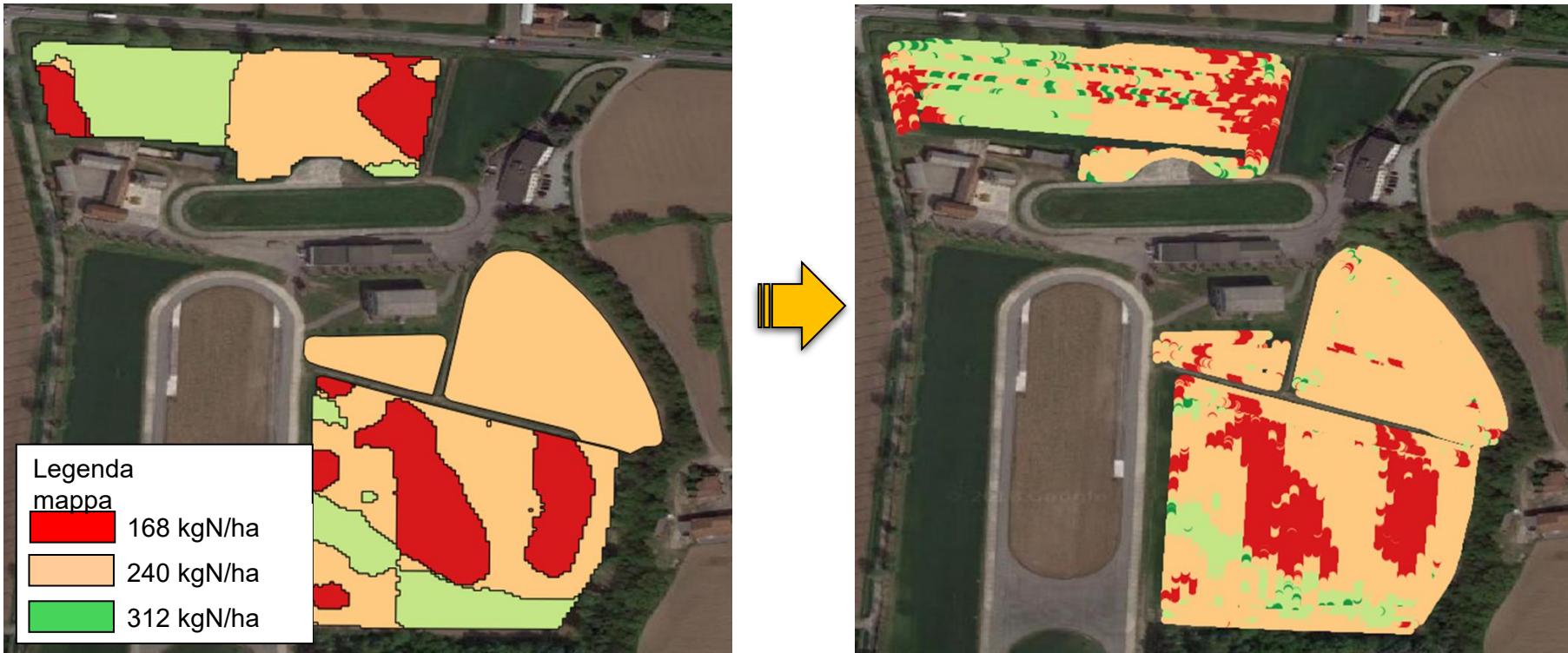


Minima sovrapposizione delle passate

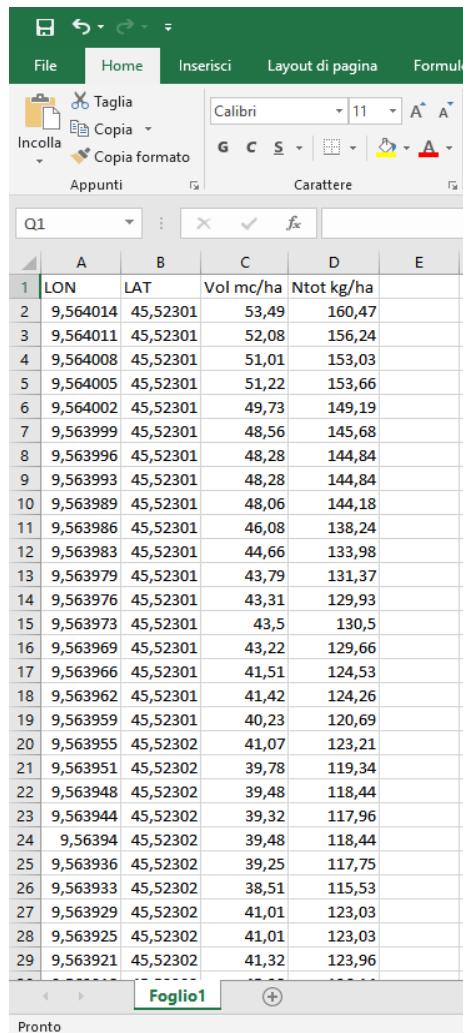
La mappa di distribuzione realizzata

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

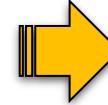
- disporre di **informazioni sito-specifiche**;
- realizzare una **mappa sufficientemente «gestibile»** (es.: zone omogenee ampie e rappresentative, con differenze significative);
- disporre di un **cantiere** in grado di **ricevere** e di **eseguire** le istruzioni contenute nella mappa.



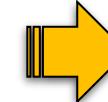
Dose variabile basata su mappa di prescrizione



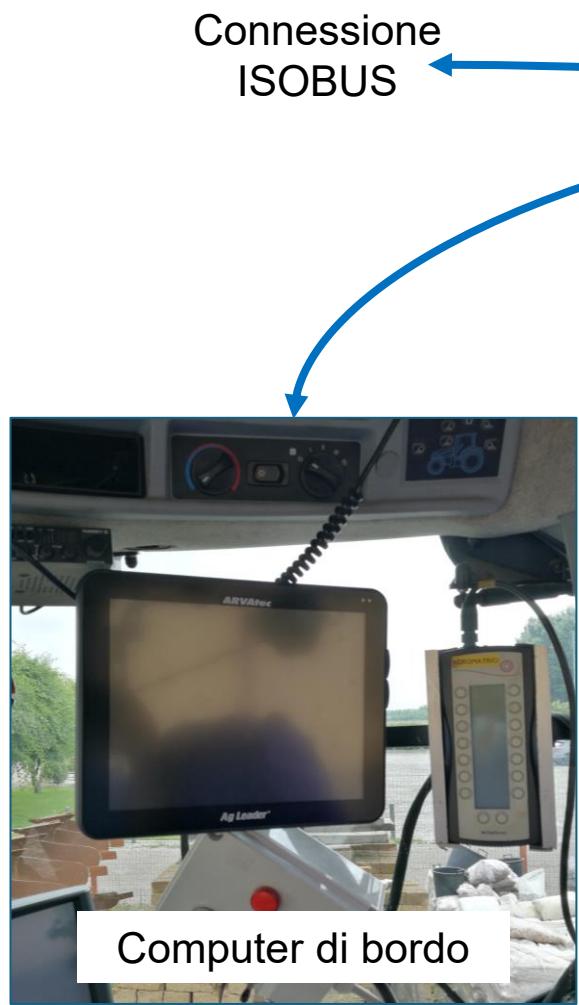
		A	B	C	D	E
1		LON	LAT	Vol mc/ha	Ntot kg/ha	
2		9,564014	45,52301	53,49	160,47	
3		9,564011	45,52301	52,08	156,24	
4		9,564008	45,52301	51,01	153,03	
5		9,564005	45,52301	51,22	153,66	
6		9,564002	45,52301	49,73	149,19	
7		9,563999	45,52301	48,56	145,68	
8		9,563996	45,52301	48,28	144,84	
9		9,563993	45,52301	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	



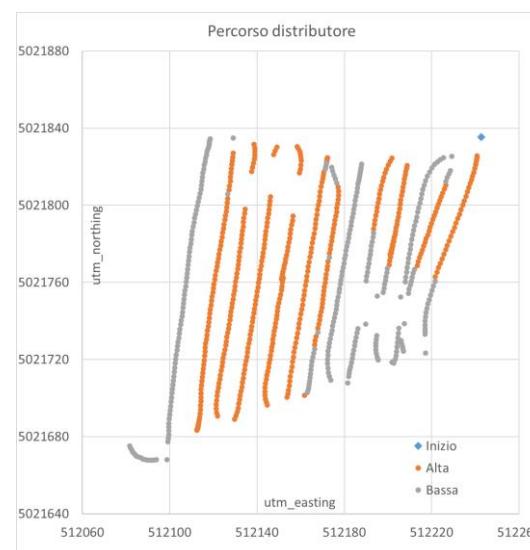
Un esempio con prodotti solidi-palabili



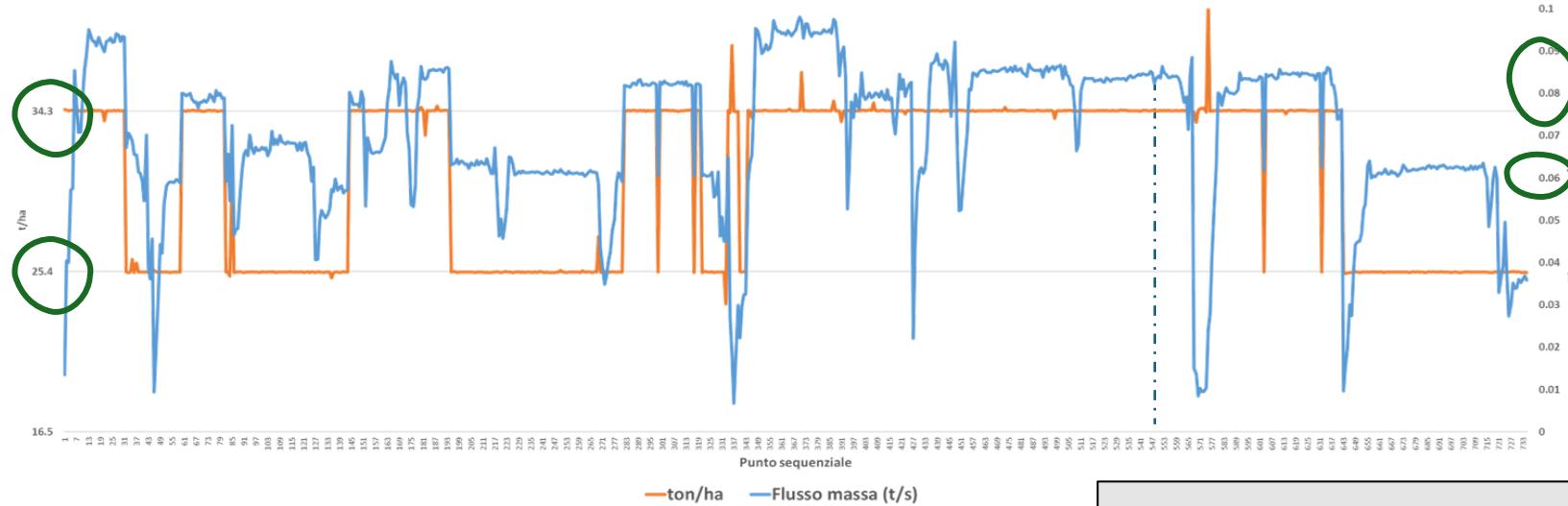
Carro spandiliquame a RV



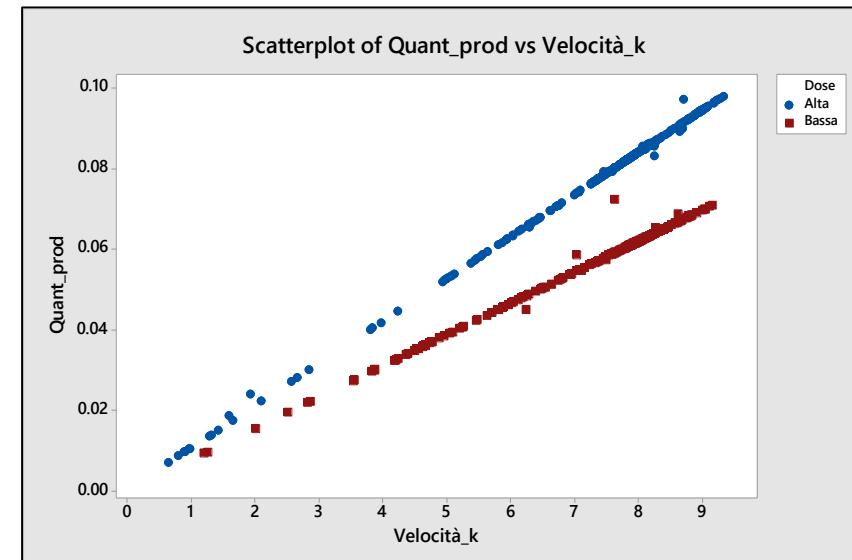
La distribuzione in campo



Valutazione dei flussi di prodotto



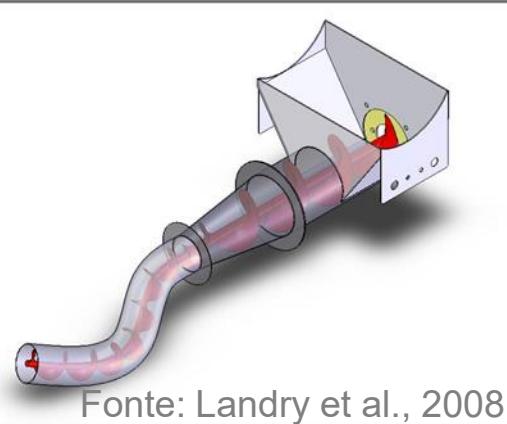
- Il flusso di massa (t/s) delle biomasse distribuite segue abbastanza bene il passaggio da zone di bassa a zone di alta dose
- Inerzia nella transizione da zone di alta dose a zone di bassa dose



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 differito



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)

Schmittman et al., 2021
Contour of the melioration stripe with
admixing of compost (3kg m^{-2})

Alcune considerazioni

- Le tecnologia digitali attuali permettono di adeguare la **dose di prodotto** da distribuire alle esigenze/condizioni del suolo/cultura 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

