



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# Università degli Studi di Padova

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Scuola di dottorato in  
Territorio, Ambiente, Risorse e Salute

Indirizzo in  
Tecnologie meccaniche dei processi agricoli e forestali

XXIV° Ciclo

## ***Tecnologie di agricoltura di precisione: studio e realizzazione di macchine e attrezzature agricole per la distribuzione variabile dei fertilizzanti organici e inorganici***

***Direttore della Scuola:*** Ch.mo Prof. Mario Aristide Lenzi

***Coordinatore d'indirizzo:*** Ch.mo Prof. Luigi Sartori

***Supervisore:*** Ch.mo Prof. Luigi Sartori

***Dottorando:*** Dott. Franco Gasparini



## RIASSUNTO

L'obiettivo del presente elaborato è studiare delle soluzioni in grado di migliorare l'attuale gestione della distribuzione in campo dei fertilizzanti. In uno scenario, dove la parola d'ordine è aumento dell'efficienza e diminuzione dei costi, si è cercato di inquadrare la situazione attuale, definirne dei potenziali punti di miglioramento e fornire delle possibili soluzioni. Proprio in quest'ottica, la Regione Veneto, tramite il Fondo Sociale Europeo, ha finanziato il presente progetto di dottorato di ricerca.

Si è potuto osservare che la logistica di tutto il processo è uno degli elementi chiave per la risoluzione del problema dei reflui.

Nel caso dei materiali palabili, con macchine spanditrici di piccole dimensioni a cantieri riuniti, non conviene superare distanze di 4-5 km dal centro di stoccaggio, mentre per la pollina si può arrivare a 20 km di distanza con cassoni di maggiori dimensioni. Situazioni intermedie si hanno per separato solido e compost.

Per i materiali liquidi, al variare delle distanze, i cantieri più economici per unità di prodotto distribuito sono quelli a maggiore volume di carico (24 m<sup>3</sup>).

Le distanze massime di convenienza si riducono all'aumentare della dose distribuita: il cantiere riunito a 24 m<sup>3</sup> è conveniente fino a distanze di 25 km e per dosi superiori a 75 m<sup>3</sup>/ha. Per distanze superiori e con dosi più basse conviene utilizzare i cantieri separati a elevate capacità di carico sia trainati che semoventi.

La messa in opera di un sistema di tubazioni costituisce un'interessante alternativa ai vettori su ruote.

La fase di distribuzione prevede la deposizione del liquame in superficie, leggermente in profondità o in profondità e ad ogni modalità corrisponde una serie di attrezzature specifiche. Se la coltura è presente (prato o in copertura), l'applicazione rasoterra e l'incorporazione sottosuperficiale sono considerate buone tecniche di distribuzione. In assenza di coltura (terreno nudo) l'incorporazione può essere abbinata con le lavorazioni del terreno, oppure effettuata in contemporanea attraverso la distribuzione sottosuperficiale o in profondità.

Le perdite di ammoniaca nello spandimento con piatto deviatore portano alla volatilizzazione della quasi totalità del gas contenuto nel liquame. La somministrazione rasoterra determina perdite di NH<sub>3</sub> oscillanti tra il 40 e il 60%; minori del 20% sono le perdite in caso di interrimento.

Per quanto riguarda il compattamento, lo stress di compressione è tanto più elevato quanto più il terreno è cedevole e umido e i valori di pressione raggiunti nei primi strati di terreno sono doppi rispetto a suoli più portanti.

La necessità di effettuare distribuzioni razionali di reflui ha spinto allo studio e alla progettazione di nuove attrezzature, tra le quali una è giunta in fase di prototipo. Si tratta di macchine per distribuire il liquame in copertura, su colture erbacee, arboree, prati e FTB. In fase di realizzazione è anche un sistema di tracciabilità tramite un apparato di raccolta e registrazione di dati relativi ai quantitativi di reflui movimentati, ai percorsi seguiti e ai periodi di movimentazione, a costo contenuto e di facile installazione. Allo studio, inoltre, c'è un'attrezzatura in grado di distribuire reflui zootecnici liquidi in copertura su colture sarchiate come il mais. Tali realizzazioni sono state concepite seguendo tutte le tecniche applicative dell'agricoltura di precisione.





## ABSTRACT

The aim of these work is to investigate solutions to improve the current management of the distribution of fertilizers in the field. In a scenery, where the watchword is increased efficiency and lower costs, we have tried to frame the current situation, define the potential improvement and give possible solutions. With this in mind, the Regione Veneto, through the European Social Fund, has funded this PhD project.

The logistic of the whole process is one of the key to solving the manure problem.

For solid manure, small united yard are not profitable over distances from 4-5 km from the centre of storage, up to 20 km for chicken droppings with larger bins. Intermediate situations are for separate manure and compost. About slurry, to varying distances, the cheapest yards for unit of product are those with more cargo volume distributed ( $24 \text{ m}^3$ ). The maximum convenience distances are reduced with increasing rate distributed: the  $24 \text{ m}^3$  united yard is convenient up to distances of 25 km and for rate greater than  $75 \text{ m}^3/\text{ha}$ . For longer distances and with lower doses is necessary to keep transport separate.

The installation of a piping system is an attractive alternative to on-wheels carriers.

The distribution phase involves the deposition of slurry over the surface, shallowly or with more depth, and for each mode corresponds a specific equipment. If the crop is present (grass or cover crop), good distribution techniques are the band application and the shallow incorporation. In absence of crop (bare soil), the incorporation can be combined with tillage, or carried out simultaneously with the subsurface distribution or deep injection.

The distribution with splash plate leads to the ammonia volatilization of all the gas contained in the manure.  $\text{NH}_3$  losses in band application oscillate between 40 and 60%; 20% lower are the losses in case of injection.

For what concerns the soil compaction, compressive stress increases as the soil is soft and moist and the pressure values achieved in the first layers of soil are twice as bearing soils.

The need to rationalize wastes distributions has led to the design of new equipment, one of which came in the prototype stage. These machines are able to spread slurry during the growing season in herbaceous crops, vineyards, orchards, grassland and SRF. Under construction is a system of traceability through a system of collecting and recording data on the quantities of waste distributed, the routes followed and periods of handling, cheap and with an easy installation. A new research it is implementing about an equipment capable of distributing liquid manure of root crops such as corn. These achievements were all designed according to application techniques of precision agriculture.



## INDICE ANALITICO

1.	INTRODUZIONE .....	1
1.1	La situazione nel Veneto .....	2
1.2	Le problematiche relative alla distribuzione dei reflui .....	8
1.2.1	La riduzione dei costi .....	8
1.2.2	Le caratteristiche degli effluenti solidi .....	9
1.2.3	Le caratteristiche degli effluenti liquidi .....	10
1.3	Qualità del refluo e qualità della distribuzione (ovvero l'accettabilità degli effluenti come fertilizzanti).....	13
1.3.1	Fornitura di materiali omogenei, con caratteristiche fisiche e chimiche note e costanti.....	13
1.3.2	Distribuire in maniera uniforme e nelle quantità previste .....	14
1.3.3	Compattamento .....	14
1.3.4	Possibilità di intervenire con coltura in atto, su frutteti, vigneti e fasce boscate.....	15
1.4	L'agricoltura di precisione e le nuove tecnologie nella gestione dei reflui zootecnici.....	18
2.	OBIETTIVI .....	21
3.	TECNICHE DI DISTRIBUZIONE DEI REFLUI ZOOTECCNICI .....	23
3.1	Macchine e cantieri per la distribuzione dei materiali palabili .....	23
3.1.1	Introduzione .....	23
3.1.2	Il sistema di distribuzione .....	24
3.1.3	Il sistema di alimentazione.....	27
3.1.4	Macchine aziendali e comprensoriali .....	27
3.1.5	I cantieri di carico .....	28
3.1.6	I cantieri di trasporto extra-aziendali .....	30
3.2	Macchine e cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi .....	32
3.2.1	Sistemi di trasporto extra-aziendali dei reflui liquidi .....	32
3.2.2	Logistica dei trasporti extra-aziendali: le navette .....	39
3.2.3	Sistemi di trasporto aziendale e all'interno del campo, dei reflui liquidi.....	40
3.2.4	La fase di distribuzione in campo.....	50
3.3	Considerazioni sulle diverse soluzioni per la distribuzione di effluenti liquidi.....	59
4.	DISTRIBUZIONE VARIABILE DEI REFLUI.....	61
4.1	Definizione e finalità dell'agricoltura di precisione .....	61
4.2	I sistemi di posizionamento e navigazione satellitare .....	61

---

4.2.1	Il sistema NAVSTAR-GPS.....	62
4.3	La variabilità.....	65
4.3.1	La variabilità spaziale .....	65
4.3.2	La variabilità temporale.....	66
4.3.3	La stabilità temporale della variabilità spaziale.....	66
4.4	Le fasi dell’Agricoltura di Precisione .....	67
4.4.1	Raccolta dati.....	67
4.4.2	Mappatura delle produzioni .....	68
4.4.3	Campionamento del terreno .....	69
4.4.4	Elaborazione dei dati raccolti.....	70
4.4.5	Definizione di aree omogenee .....	74
4.4.6	Adozione di interventi ad intensità variabile.....	74
4.4.7	Esempi di interventi a dosaggio variabile.....	76
4.4.8	Concimazione a dosaggio variabile basata su sensori .....	76
4.4.9	Lavorazione ad intensità variabile del terreno .....	78
4.5	I benefici raggiungibili con l’adozione dell’Agricoltura di Precisione.....	81
4.5.1	Aspetti economici .....	81
4.5.2	Aspetti ambientali .....	82
4.6	L’Agricoltura di Precisione in Italia .....	85
4.7	Liquami e Agricoltura di Precisione.....	85
4.7.1	Alcune realizzazioni.....	87
4.7.2	Il primo prototipo “Vendrame” .....	89
4.7.3	Situazione attuale .....	93
4.8	La tracciabilità .....	95
4.8.1	Componenti da installare sui trasporti .....	96
4.8.2	Architetture possibili per l’installazione di sistemi integrati per il monitoraggio di trasporti costituiti da motrice e rimorchio .....	97
4.8.3	Considerazioni sulla rilevazione dei parametri operativi del motore.....	99
4.8.4	Considerazioni sulla rilevazione del quantitativo di carico trasportato.....	99
4.8.5	Considerazioni sui sistemi per la rilevazione della composizione chimica degli effluenti .....	100
4.8.6	Problemi e criticità dei sistemi satellitari di tracciabilità.....	101
4.8.7	Possibilità di introduzione di un sistema di tracciabilità dei reflui zootecnici a livello politico.....	102

5. ANALISI FUNZIONALE, ECONOMICA ED ENERGETICA DELLA DISTRIBUZIONE .....	105
5.1 Metodologia.....	105
5.1.1 Analisi funzionale .....	105
5.1.2 Analisi economica .....	106
5.1.3 Analisi energetica.....	110
5.1.4 Analisi delle emissioni di Anidride Carbonica.....	110
5.2 Analisi funzionale dei cantieri per la distribuzione dei materiali palabili.....	112
5.2.1 Distribuzione a cantieri separati .....	112
5.2.2 Distribuzione a cantieri riuniti .....	114
5.3 Analisi economica dei cantieri per la distribuzione dei materiali palabili.....	116
5.3.1 Cantiere di solo trasporto .....	116
5.3.2 Cantiere di sola distribuzione .....	117
5.3.3 Cantiere separato .....	117
5.3.4 Cantiere riunito.....	118
5.3.5 Confronto tra cantiere separato e riunito.....	119
5.4 Analisi funzionale dei cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi.....	121
5.4.1 Aspetti funzionali dello spandimento con tubazioni.....	125
5.5 Analisi economica dei cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi.....	127
5.5.1 Costi orari .....	128
5.5.2 Costi unitari.....	130
5.5.3 Costi per unità fertilizzante.....	132
5.6 Analisi economica della distribuzione con tubazioni.....	134
5.7 Analisi energetica e del Carbonio nei cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi.....	136
6. QUALITA' NELLA DISTRIBUZIONE DEI REFLUI SOLIDI E LIQUIDI.....	139
6.1 Il rispetto della dose .....	139
6.2 Regolarità di distribuzione.....	140
6.2.1 La regolarità di distribuzione longitudinale .....	140
6.2.2 Regolarità di distribuzione trasversale .....	141
6.3 Le esperienze effettuate.....	146
6.3.1 Uniformità di distribuzione dei materiali solidi .....	146
6.3.2 Qualità di distribuzione dei materiali liquidi .....	151

---

7.	GLI UTENSILI PER L'INTERRAMENTO SUPERFICIALE.....	157
7.1	Gli interratori profondi .....	158
7.2	Gli interratori superficiali .....	160
7.3	La situazione italiana oggi.....	167
7.4	Le esperienze analizzate .....	167
7.4.1	Obiettivi.....	167
7.4.2	Metodologia di prova .....	168
7.4.3	Risultati.....	172
7.4.4	Considerazioni conclusive .....	179
8.	QUANTIFICAZIONE E CONTROLLO DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA NELLA FASE DI DISTRIBUZIONE DEI LIQUAMI .....	181
8.1	Le emissioni di ammoniaca nella distribuzione .....	181
8.1.1	Spandimento superficiale .....	181
8.1.2	Spandimento rasoterra in banda .....	182
8.1.3	Incorporazione differita del liquame distribuito.....	183
8.1.4	Spandimento rasoterra in banda con deflettore.....	183
8.1.5	Spandimento sotto-superficiale a solco aperto .....	184
8.1.6	Spandimento sotto-superficiale a solco chiuso.....	184
8.1.7	Iniezione profonda .....	185
8.2	I parametri esterni che influenzano la volatilizzazione .....	185
8.2.1	Fattori meteorologici .....	186
8.2.2	Caratteristiche del refluo.....	187
8.2.3	Suolo e coltura.....	187
8.3	Le prove sperimentali.....	188
8.3.1	Distribuzione rasoterra vs distribuzione interrata.....	189
8.3.2	Distribuzione superficiale con piatto deviatore vs distribuzione rasoterra.....	194
8.3.3	Considerazioni conclusive .....	197
9.	IL COMPATTAMENTO DEL TERRENO .....	199
9.1	Suscettibilità dei suoli al fenomeno .....	200
9.1.1	Contenuto idrico del terreno .....	200
9.1.2	Tipologia di suolo (tessitura).....	200
9.1.3	Contenuto di sostanza organica .....	202
9.1.4	Lo strato non lavorato .....	203
9.2	Compattamento nello strato lavorato .....	203
9.2.1	La massa applicata agli assali .....	203

---

9.2.2	Interazioni tra pneumatico e suolo .....	205
9.2.3	Il diametro del pneumatico .....	207
9.2.4	La sezione del pneumatico .....	207
9.2.5	La pressione di gonfiaggio .....	209
9.2.6	Sospensioni .....	209
9.2.7	Velocità di avanzamento .....	211
9.2.8	Gli slittamenti .....	211
9.2.9	Traffico dei mezzi.....	211
9.3	Compattamento dello strato non lavorato.....	213
9.4	Conseguenze del compattamento.....	214
9.4.1	La ritenzione idrica.....	214
9.4.2	Velocità di infiltrazione dell'acqua .....	214
9.4.3	La diffusione dei gas nel suolo.....	215
9.4.4	L'energia spesa per la lavorazione del terreno .....	215
9.4.5	Le produzioni .....	216
9.5	La stima del compattamento durante la distribuzione dei reflui....	217
9.6	I risultati ottenuti .....	219
9.6.1	La distribuzione dello stress di compressione utilizzando il modello TASC.....	219
9.6.2	Gli indici di traffico.....	223
9.7	La resistenza alla penetrazione.....	225
9.7.1	Carrobotte monoasse .....	225
9.7.2	Carrobotte a 3 assi.....	227
9.7.3	Carrobotte semovente .....	229
9.8	Considerazioni conclusive.....	232
10.	PROPOSTE PER UNA DISTRIBUZIONE RAZIONALE DEGLI EFFLUENTI.....	233
10.1	Inquadramento e definizione delle proposte .....	233
10.2	Realizzazione di una barra per la distribuzione lungo l'interfila su colture arboree .....	233
10.2.1	Metodologia operativa.....	234
10.2.2	Descrizione dell'attrezzatura .....	234
10.2.3	Considerazioni sulla funzionalità dell'attrezzatura.....	235
10.3	Proposta di prototipo per la distribuzione in copertura su mais.....	237
10.3.1	Presupposti per la progettazione.....	237
10.3.2	Proposta di macchina operatrice trainata.....	238

---

10.3.3	Proposta di macchina operatrice semi-portata.....	240
10.4	Prototipo di distributore per la dosatura del liquame.....	244
10.4.1	Descrizione del componente.....	244
10.5	Prototipo di dispositivo per la tracciabilità della distribuzione degli effluenti zootecnici.....	246
10.5.1	Descrizione della componentistica.....	246
10.5.2	Descrizione funzionale dell'intero apparato. ....	247
10.5.3	Tipologia di dati rilevabili.....	247
10.5.4	Versatilità del sistema. ....	248
10.6	Considerazioni conclusive .....	250



# 1. INTRODUZIONE

Il settore zootecnico, nei decenni passati, ha avuto una trasformazione ed uno sviluppo tali da favorire la diffusione di allevamenti di tipo intensivo, caratterizzati da un elevato numero di capi per unità produttiva; tale fenomeno è risultato favorito dalle dimensioni ridotte delle aziende agricole, le quali, per motivi di redditività, sono state costrette a puntare all'incremento del numero di capi presenti in azienda. Circa il 73% delle aziende agricole italiane infatti ha una dimensione non superiore ai 5 ettari, pari al 16% della superficie totale, mentre le aziende di maggiore estensione, presenti soprattutto nella Pianura Padana, coprono la maggior parte della restante superficie. Relativamente al settore zootecnico, le aziende agricole con allevamenti di bestiame sono circa 1 milione, delle quali 430.000 ospitano 8,1 milioni di bovini (2,5 milioni sono vacche da latte), 410.000 ospitano 8,5 milioni di suini e 160.000 ospitano 10,4 milioni di ovini. Per gli avicoli circa 850.000 aziende allevano 50 milioni di galline ovaiole e 74 milioni di polli da carne. A livello territoriale la produzione di carne è concentrata per circa 2/3 in Italia Settentrionale, con prevalenza delle carni bovine e suine nell'Italia Nord-Occidentale, e delle carni avicole nell'Italia Nord-Orientale. Le carni equine ed ovi-caprine sono prevalentemente prodotte nell'Italia Meridionale. Il latte è prodotto per oltre il 75% nell'Italia Settentrionale, con una certa prevalenza nell'Italia Nord-Occidentale. Non discostandosi da altri paesi mediterranei comunitari, e a differenza dei partner Centro e Nord europei, l'Italia ha, sia per la produzione della carne bovina e suina, sia per la produzione del latte, una gamma di aziende che va dalle piccole, presenti prevalentemente in collina e in montagna, alle medie e alle grandi presenti, soprattutto queste ultime, nelle pianure dell'Italia settentrionale (Codice di buona pratica agricola).

In Italia, i reflui prodotti dal settore zootecnico ammontano a circa 150 milioni di t all'anno, che contengono circa 600.000 t di Azoto, 160.000 t di Fosforo e 380.000 t di Potassio. Purtroppo, essi sono percepiti più come aggravio economico e gestionale dagli allevatori che come risorsa, originando atteggiamenti che portano a squilibri nel flusso dei nutrienti con conseguenze negative sui comparti ambientali. Il problema non è nuovo, né solo tipico delle realtà agrozootecniche italiane, al punto che ancora nel 1991 è stata emanata dalla UE la Direttiva 676 nota come "Direttiva Nitrati". Da allora, la normativa ambientale a livello Europeo, Nazionale e Regionale, e in particolare quella riguardante la prevenzione dell'inquinamento ambientale di origine agricola e zootecnica, si sta evolvendo in maniera sempre più integrata, estendendosi a considerare tutte le emissioni di elementi potenzialmente inquinanti, ed in particolar modo azoto, fosforo e metalli pesanti, nei diversi corpi recettori ovvero acqua, aria e suolo. L'Italia è in ritardo nell'applicazione di varie direttive e, tra le molteplici e complesse ragioni di questo ritardo non va sottovalutata la difficoltà di tradurre le informazioni della ricerca scientifica in normative efficaci.

## 1.1 La situazione nel Veneto

Secondo l'ultimo censimento (2000) nel Veneto vi erano quasi 85 mila aziende zootecniche (Tabella 1.1) pari al 44,2% delle aziende agricole totali. L'incidenza di aziende zootecniche è massima nella provincia di Belluno (58,8%) e minima nella provincia di Verona (26,4%).

Sempre secondo il Censimento, nella Regione Veneto sono allevati quasi 53 milioni di capi, 48 milioni dei quali sono avicoli ubicati, per lo più nella provincia di Verona (Tabella 1.2). La provincia di Treviso si distingue, invece, per la presenza dei conigli. L'allevamento bovino e suino è, invece, meglio distribuito nelle varie Province.

**Tabella 1.1** - Numero di aziende totali e con allevamento nella Regione Veneto. *Fonte: Istat, 2000.*

Provincia	Totale Aziende	Aziende con allevamento	
		totale	%
Belluno	7.783	4.579	58,8
Padova	41.683	19.611	47,0
Rovigo	10.787	4.884	45,3
Treviso	44.812	20.800	46,4
Venezia	24.951	13.662	54,8
Vicenza	34.617	13.998	40,4
Verona	26.452	6.976	26,4
TOTALE	191.085	84.510	44

Sempre secondo il Censimento, nella Regione Veneto sono allevati quasi 53 milioni di capi, 48 milioni dei quali sono avicoli ubicati, per lo più nella provincia di Verona (Tabella 1.2). La provincia di Treviso si distingue, invece, per la presenza dei conigli. L'allevamento bovino e suino è, invece, meglio distribuito nelle varie Province.

**Tabella 1.2** - Numero di capi allevati nella Regione Veneto. *Fonte: Istat, 2000.*

Provincia	Bovini	Suini	Avicoli	Cunicoli	Ovi-caprini	Equini	Totale
Belluno	20.606	34.857	121.423	95.875	7.933	1.105	281.799
Padova	170.292	117.760	7.761.476	562.245	8.872	2.860	8.623.505
Rovigo	52.183	87.249	1.632.374	56.220	2.714	613	1.831.353
Treviso	215.835	142.831	7.067.781	1.249.095	5.725	2.982	8.684.249
Venezia	62.595	44.826	2.144.552	315.707	2.215	1.323	2.571.218
Vicenza	166.363	49.090	8.701.949	413.672	9.161	2.611	9.342.846
Verona	244.827	225.072	20.555.856	512.971	6.937	1.749	21.547.412
Totale	932.701	701.685	47.985.411	3.205.785	43.557	13.243	52.882.382

Più significativa ai fini del presente studio è la valutazione dell'allevamento in termini di peso vivo allevato. Da questo punto di vista la specie dominante è la bovina, seguita dagli avicoli e dai suini. La provincia di Verona spicca anche in questo caso con il 31,1% del peso vivo allevato.

I dati sulla consistenza degli allevamenti zootecnici, espressa in numero di capi, moltiplicati per le produzioni unitarie di azoto, espresse in kg/capo/anno, hanno consentito di stimare il quantitativo di N contenuto nei reflui prodotti annualmente dai diversi comparti zootecnici.

Nella tabella 1.3 vengono riportate, per provincia, le stime di produzione annua di N da effluenti zootecnici per i diversi comparti produttivi.

**Tabella 1.3** - La produzione di azoto di origine zootecnica nella Regione Veneto (kg N/anno).

Provincia	Censimento Agricoltura					Archivi UMA				
	Bovini	Suini	Avicoli	Altri	Totale	Bovini	Suini	Avicoli	Altri	Totale
Verona	9.723	1.886	6.951	235	18.796	10.476	2.823	10.332	208	23.838
Vicenza	8.048	505	2.317	244	11.116	7.424	590	1.530	134	9.678
Belluno	1.123	267	51	101	1.543	1.368	16	0	63	1.447
Treviso	7.426	1.190	2.143	465	11.224	4.989	855	1.095	312	7.251
Venezia	2.587	418	675	141	3.821	2.161	346	382	36	2.924
Padova	6.822	1.033	2.171	292	10.318	5.872	705	2.215	151	8.943
Rovigo	1.883	726	403	49	3.061	1.890	629	338	34	2.891
Totale	37.613	6.025	14.712	1.529	59.878	34.180	5.965	15.891	973	56.973

Le produzioni totali di N ammontano a 59.878 t/anno, a 56.973 t/anno rispettivamente utilizzando la consistenza del Censimento 2000 e dell'UMA.

Dall'analisi dei dati a livello regionale emerge che il comparto bovino produce le maggiori quantità di azoto, mediamente pari al 61% del totale. Queste, sommate a quelle prodotte dal comparto avicolo, costituiscono poco più dell'87% della produzione totale. La produzione di N del comparto suinicolo ammonta a circa il 10% della produzione totale, con una punta massima che supera il 20% in provincia di Rovigo.

La provincia con maggiore produzione di N da effluenti zootecnici è Verona, dovuta quasi esclusivamente alla presenza di bovini e avicoli; quest'ultimi, in particolare producono una frazione dell'azoto totale pari a circa il 40% .

La quantità di azoto contenuta negli effluenti zootecnici e non impiegabile razionalmente in agricoltura costituisce le quantità di azoto in eccesso; la sua stima, elaborata su base comunale si ottiene sottraendo alla quantità di N di origine zootecnica prodotto la quantità di N impiegato sulla SAU disponibile allo spandimento

Le stime effettuate a partire dai dati censuari evidenziano un surplus pari a quasi 31 mila tonnellate (Tabella 1.4) generato per il 62% dal comparto "non avicolo".

Le province dove più è concentrato l'azoto in eccesso sono Verona (39%) e Treviso (22%). Seguono Padova (16%) e Vicenza (14%). Modesto risulta, infine, il contributo delle province di Rovigo, Venezia e Belluno.

Se si ammette la possibilità di impiegare reflui nelle superfici acquisite con atti d'assenso nella misura prevista (20% SAU non zootecnica) il surplus si riduce sostanzialmente e si attesta attorno alle 18,9 mila tonnellate (Tabella 1.5). Quindi, quasi il 40% dell'azoto in eccesso potrebbe trovare un utile impiego in superfici extra-aziendali.

La tabella 1.6 riporta le riduzioni percentuali nel surplus ottenibili nel comparto “avicolo” e “non avicolo” e nelle varie province. Innanzitutto va notato come le contrazioni maggiori si realizzano nelle province dove il surplus è più basso e dove maggiore è la superficie agricola utile non zootecnica: Rovigo e Venezia. Inoltre, la riduzione è maggiore per l’azoto di origine “avicola”. In sostanza, il confronto sembra dimostrare che per le province dove è maggiormente concentrato il surplus le superfici in assenso non possono costituire una soluzione definitiva al problema.

**Tabella 1.4 – Il surplus di azoto (kg) (uso su SAU zootecnica).** *Fonte: Istat, 2000.*

Provincia	Avicoli	Non avicoli	Totale
Verona	5.655.405	6.527.370	12.182.775
Vicenza	1.858.034	2.411.262	4.269.296
Belluno	48.876	172.258	221.135
Treviso	2.010.250	4.970.865	6.981.115
Venezia	583.668	744.603	1.328.271
Padova	1.459.648	3.658.914	5.118.561
Rovigo	285.435	952.119	1.237.554
Totale	11.901.316	19.437.390	31.338.706

**Tabella 1.5 - Il surplus di azoto (kg) (uso su SAU zootecnica e assenso).** *Fonte: Istat, 2000.*

Provincia	Avicoli	Non avicoli	Totale
Verona	3.794.283	4.875.713	8.669.996
Vicenza	818.111	1.538.118	2.356.228
Belluno	28.837	139.568	168.406
Treviso	1.283.595	3.037.160	4.320.754
Venezia	92.752	247.743	340.468
Padova	572.770	2.325.069	2.897.839
Rovigo	20.393	139.730	160.123
Totale	6.610.714	123.003.100	18.913.815

**Tabella 1.6 – La riduzione (%) del surplus di N mediante lo spandimento su superfici in assenso.**

Provincia	Avicoli	Non avicoli	Totale
Verona	33	25	29
Vicenza	56	36	45
Belluno	41	19	24
Treviso	36	39	38
Venezia	84	67	74
Padova	61	36	43
Rovigo	93	85	87
Totale	44	37	40

Le figure che seguono illustrano la distribuzione dei surplus stimati a livello comunale. Tale analisi è utile per individuare le aree più critiche che il dettaglio provinciale adottato finora non è capace di cogliere. L'analisi a livello comunale è stata eseguita per tutte le ipotesi (fonti di dati e uso SAU in assenso) illustrate precedentemente. La valutazione geografica della distribuzione del surplus è stata effettuata con riferimento a due sole categorie: avicoli (ovaiole, broiler, tacchini, eccetera) e non avicoli (bovini, suini, equini, cunicoli e ovicapri). Tale aggregazione è conseguente al diverso tipo di refluo prodotto (liquame o pollina) e, quindi, alla diversa tipologia di impianto di trattamento (digestione anaerobica o combustione).

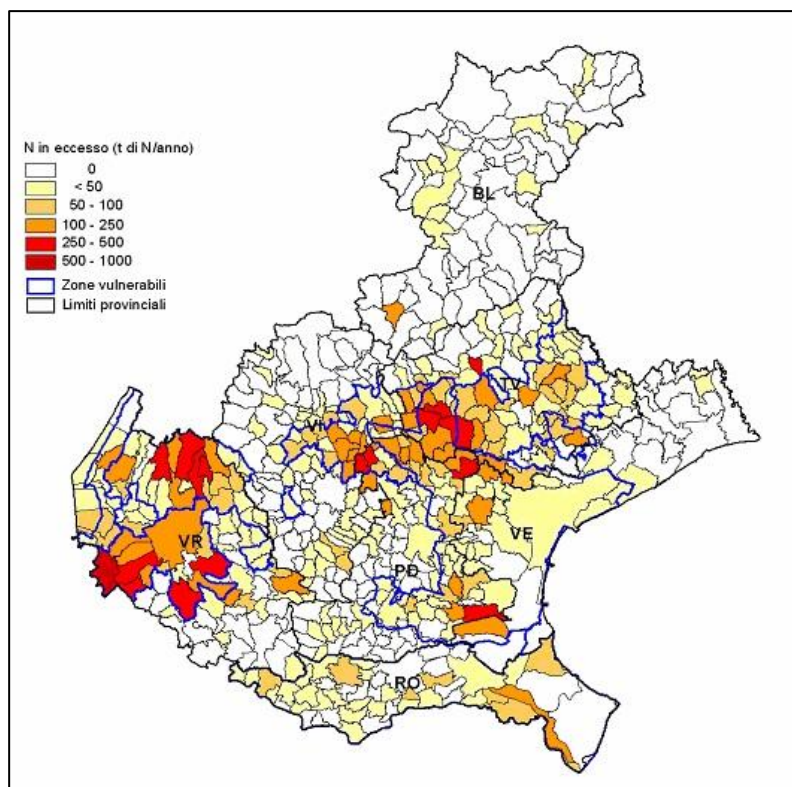
Innanzitutto va rilevato che, indipendentemente dalle ipotesi simulate, la fotografia della situazione che emerge dal dettaglio comunale è un po' diversa da quella risultante dall'analisi a livello aggregato provinciale.

Infatti, se la provincia di Verona si conferma come un'area ad elevato surplus di azoto zootecnico, sia "avicolo" che "non avicolo", nelle altre province la situazione è più articolata.

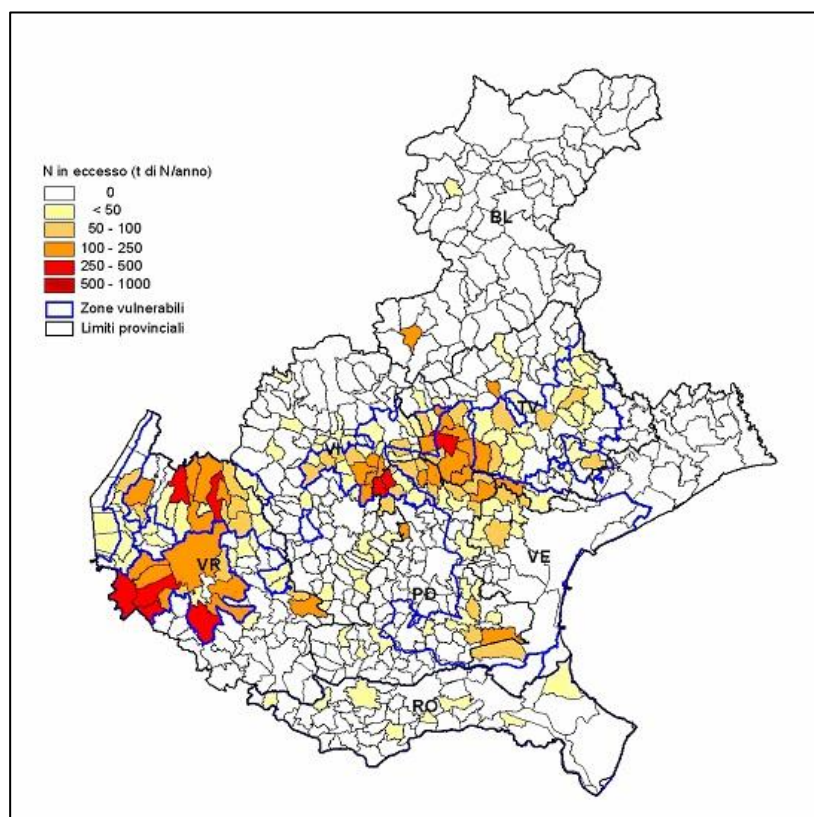
Per quanto riguarda il surplus di origine "non avicola" emerge chiaramente un'area a cavallo delle province di Vicenza, Padova e Treviso dove vi sono numerosi comuni con più di 250-500 tonnellate in surplus (Figura 1.1). Tale surplus a causa della struttura del comparto agricolo, permane seppur ridotto anche estendendo ai terreni acquisiti in assenso l'impiego dei reflui zootecnici (Figura 1.2).

Vi è poi un'area situata nella bassa provincia veneziana dove la possibilità di utilizzare il liquame un suoli acquisiti con atti d'assenso sembra ridurre notevolmente il surplus, peraltro di entità contenuta.

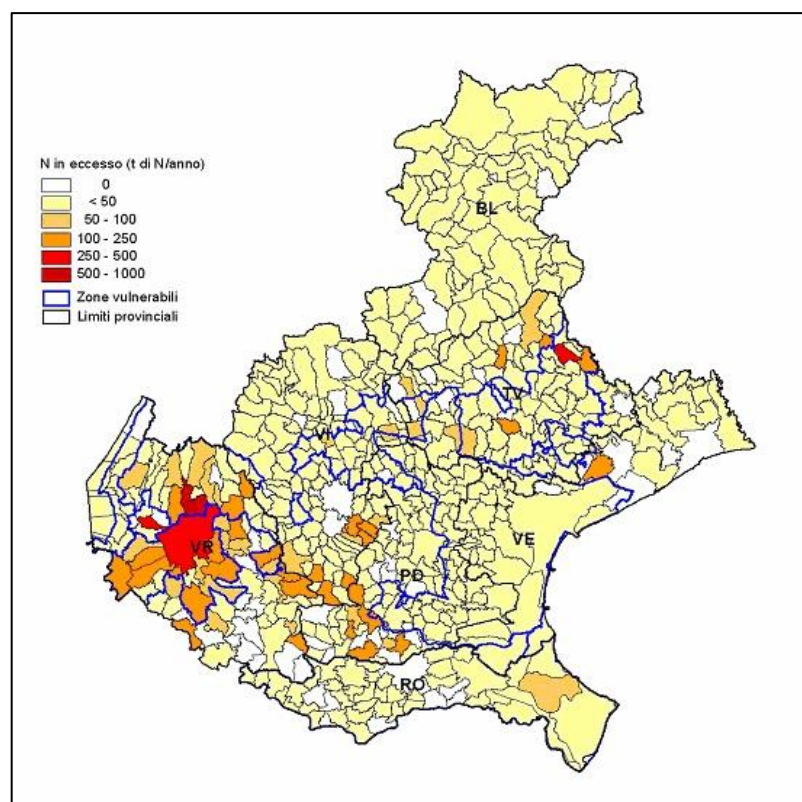
Per quanto riguarda il comparto avicolo (Figure 1.3 e 1.4) la situazione è sensibilmente diversa; i comuni della media ed alta provincia di Verona si confermano come aree critiche, mentre nella restante regione non emergono ambiti particolarmente gravati dall'eccesso di azoto; da segnalare comunque una certa concentrazione nella bassa pianura padovana e nell'alta pianura orientale delle provincia di Treviso.



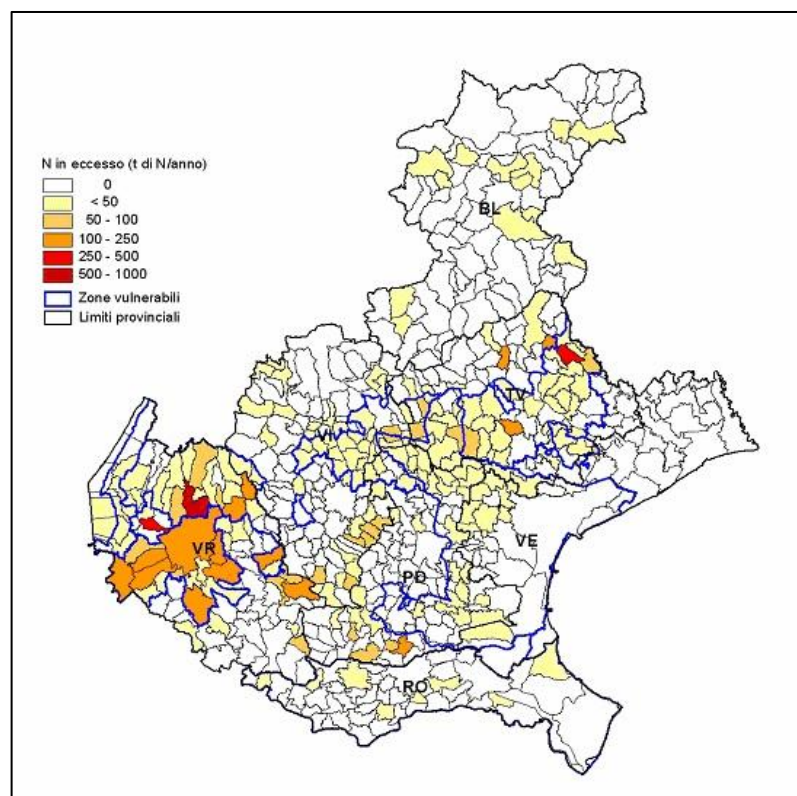
**Figura 1.1** – Surplus di Azoto generato dal comparto “non avicolo” e con utilizzazione della sola SAU zootecnica. *Fonte: Censimento, 2000.*



**Figura 1.2** – Surplus di Azoto generato dal comparto “non avicolo” e con utilizzazione della SAU zootecnica e in assenso. *Fonte: Censimento, 2000.*



**Figura 1.3** – Surplus di Azoto generato dal comparto “avicolo” e con utilizzazione della sola SAU zootecnica. *Fonte: Censimento, 2000.*



**Figura 1.4** – Surplus di Azoto generato dal comparto “avicolo” e con utilizzazione della SAU zootecnica e in assenza. *Fonte: Censimento, 2000.*

## **1.2 Le problematiche relative alla distribuzione dei reflui**

Che sia digestato, trattato o tal quale, impoverito o arricchito di elementi nutritivi, il refluo zootecnico deve essere distribuito in campo non tanto per svuotare le vasche di accumulo, ma per chiudere il ciclo dei nutrienti e della sostanza organica che vengono restituiti alla dotazione naturale del suolo. Non quindi una massa da smaltire, quanto una risorsa agronomica vera e propria alternativa ai fertilizzanti chimici.

La mancata valorizzazione agronomica dei reflui si è accompagnata a problematiche ambientali sempre più vincolanti, quali, la contaminazione da nitrati delle acque superficiali e sotterranee, l'eccessivo accumulo di fosforo e metalli pesanti nei terreni, le emissioni di ammoniaca e altre sostanze maleodoranti in atmosfera.

La distribuzione in campo in questo senso è importante in quanto da essa dipende la completa utilizzazione e la massimizzazione dell'efficienza degli elementi nutritivi da parte della coltura e la possibilità di generare fenomeni di inquinamento.

Una attrezzatura idonea per la distribuzione deve rispondere ad una serie di esigenze che poi corrispondono a precise soluzioni tecniche. Esse sono: il corretto apporto di elementi nutritivi al terreno, il contenimento delle perdite di azoto, l'allargamento del periodo di distribuzione, la riduzione del compattamento del suolo, l'emissione di odori; tutto questo condiziona la scelta delle attrezzature e i loro sistemi di dosatura e distribuzione.

### **1.2.1 La riduzione dei costi**

La riduzione dei costi per trasporto e distribuzione sembra essere uno dei punti nodali della corretta gestione dei reflui. Le strade da seguire sono diverse: ridurre i volumi, arricchire o concentrare il prodotto e migliorare i cantieri di trasporto e distribuzione.

La riduzione dei volumi interessa essenzialmente la tipologia di stabulazione dell'allevamento e la relativa impiantistica, come pure il processo di concentrazione si può attuare nelle fasi di allevamento e soprattutto di trattamento successivo. Entrambi consentono di ridurre i costi di movimentazione e aumentare il valore fertilizzante del prodotto.

La possibilità di contenere i costi logistici dipende dalla scelta del sistema di trasporto da utilizzare, che deve essere dimensionato sulla base delle distanze da percorrere per raggiungere i terreni adibiti allo spandimento e delle quantità movimentate.

Innanzitutto la localizzazione dei nuovi centri di trattamento oppure il posizionamento di punti di accumulo temporanei e mobili devono essere quanto più possibile vicini sia ai produttori di deiezioni zootecniche, sia ai fruitori, collegati e magari adiacenti alla rete stradale e quanto più possibile distanti dai centri abitati (per problemi di traffico dovuto ai mezzi di trasporto e di rilascio di odori molesti nell'atmosfera).

A seconda poi delle caratteristiche del refluo (materiale liquido tal quale o trattato e materiale palabile come letame, pollina, compost o separato) i cantieri cambiano, ma fondamentalmente le configurazioni possono prevedere la



distribuzione congiunta con il trasporto e quella separata da questo. Nel primo caso (cantieri riuniti) la macchina distributrice funge anche da trasportatore del materiale, mentre nel secondo (cantieri separati) le due funzioni sono svolte da due macchine distinte. Nella distribuzione a cantieri separati la sequenza delle operazioni prevede, dopo il trasporto, la ripresa del materiale deposto in cumuli o in cisterne mobili di accumulo nei pressi degli appezzamenti con le varie soluzioni previste per il carico e successivamente la distribuzione in campo.

Nella determinazione delle distanze massime dominate da un cantiere, occorre infine ricordare che questo valore dipende anche dalla dose distribuita, il valore fertilizzante del refluo, il prezzo dei concimi minerali che verrebbero sostituiti dai reflui e della loro distribuzione, il costo sostenuto per l'asservimento di nuovi terreni su cui effettuare lo spandimento, ecc.

## **1.2.2 Le caratteristiche degli effluenti solidi**

### **Letame**

Il letame è il materiale organico più usato in agricoltura per la fertilizzazione; la sua composizione varia molto in funzione del tipo di animale, dalla lettiera impiegata, e dai processi che lo portano a maturazione, ma può essere descritto come una miscelanza di deiezioni animali solide e liquide e materiali vegetali (paglia, segatura di legno, stocchi di mais) che costituiscono la lettiera.

Viene distribuito sul terreno prima dell'aratura ed interrato il più presto possibile per limitare le perdite di azoto e il prolungarsi di odori molesti; si impiega in quantità che vanno dalle 40 alle 60 t/ha utilizzando carri spandiletame, che provvedono al trasporto del materiale dal cumulo al campo, alla rottura e allo spargimento sul terreno.

### **Pollina**

La pollina si può dividere in due tipi differenti in base alla modalità di allevamento: negli impianti cosiddetti "in batteria" è composta dalle sole deiezioni prodotte dagli avicoli in questione, mentre in quelli a "tappeto" è composta dalle deiezioni mescolate a piume perse dagli animali e dalla lettiera che è formata da paglia trinciata o segatura.

Il contenuto in elementi fertilizzanti è assai maggiore di quello del letame maturo e il suo contenuto di umidità si aggira attorno al 50% (anche 30% negli allevamenti con lettiera), tanto da renderne conveniente la disidratazione (fino al 10% di umidità) e la pellettatura per essere distribuita con spandiconcimi comuni.

### **Compost**

Il compost è il prodotto della decomposizione aerobica di materiale organico di qualsiasi provenienza, purché rispetti alcuni parametri base, affinché avvengano le giuste reazioni.

Il compostaggio viene fatto per ridurre i volumi di materiale organico che sarebbe destinato alla discarica, e trovare un impiego come ammendante per i terreni, o terriccio nelle attività vivaistiche. A prima vista si presenta come un terriccio scuro, con un'umidità compresa tra il 30 e il 40% con un gradevole odore di sottobosco; la composizione e le caratteristiche variano secondo il materiale di

provenienza, così pure le problematiche riguardanti il suo utilizzo, e si giudica necessario trattarle in un capitolo a parte.

### **Separato solido**

Deriva dalla separazione di liquami zootecnici e da quelli digeriti in impianti di digestione anaerobica. Tal quale può essere utilizzato direttamente su colture o essere destinato alla produzione di compost. Ha scarso potere fertilizzante perché contiene N sottoforma organica, ma è caratterizzato da elevata concentrazione di solidi totali e di sostanza organica e quindi è considerato un buon ammendante.

**Tabella 1.7** – Principali caratteristiche chimiche dei materiali solidi palabili.

<b>Materiale</b>	<b>Umidità %</b>	<b>N %</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	<b>K<sub>2</sub>O %</b>	<b>CaO %</b>	<b>MgO %</b>	<b>Sostanza organica (% t.q.)</b>
Letame	75 – 85	0,4 – 0,6	0,2 – 0,3	0,6 – 0,8	0,5 – 0,6	0,15 – 0,25	17-23
Pollina	30 – 40	3,0	2,0	1,6	2,0	0,3	28-37
Compost	30 – 40	0,8 -2,2	0,3 – 2,1	0,4 – 1,4	5 – 15	0,8 – 2,2	23-46
Separato solido	70-80	0,5-1	2-4	2-4			

### **1.2.3 Le caratteristiche degli effluenti liquidi**

I liquami zootecnici sono caratterizzati da una composizione chimico-fisica che varia in relazione alla specie animale e, nell'ambito della specie, allo stadio fisiologico, a quello di crescita, alle modalità di stabulazione, di pulizia dei ricoveri, alla presenza, al tipo, alla quantità di materiali di lettiera e al regime alimentare a cui sono sottoposti (somministrazione a volontà o razionata, in forma asciutta o bagnata, rapporto acqua/mangime).

Essenzialmente, i liquami contengono fattori di fertilità quali azoto, fosforo, potassio e sostanza organica in diverse concentrazioni che è utile conoscere singolarmente per sapere come meglio utilizzarli agronomicamente. Nella tabella 1.8 vengono riportate le principali caratteristiche chimiche dei liquami per le più diffuse specie allevate.

**Tabella 1.8** – Caratteristiche chimiche dei liquami.

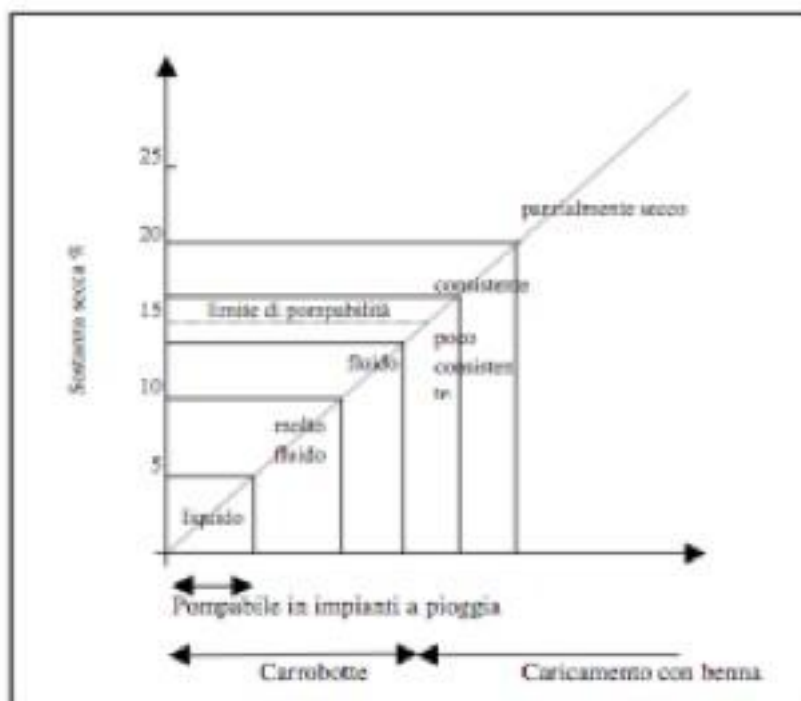
<b>Provenienza</b>	<b>Sostanza secca (ss)</b>	<b>Solidi volatili (sv)</b>	<b>Azoto totale</b>	<b>Fosforo totale</b>	<b>Potassio totale</b>
	<b>% t.q.</b>	<b>% s.s.</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> t.q.</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> t.q.</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> t.q.</b>
Bovini da latte	7-10	75-85	2,5-3,5	0,8-1,5	3,5-7,0
Bovini da carne	10-16	75-85	3,5-4,0	0,8-1,5	4,5-7,0
Vitelli carne bianca	0,6-2,9	60-75	1,2-3,0	0,6-2,5	1,8-4,5
Suini	1,5-6,0	65-80	1,5-3,5	1,1-2,7	1,3-3,0
Avicunicoli	19-25	70-75	1,8-14	1,5-11	1,2-6,0

**Sostanza secca (s.s.):** nei liquami zootecnici sono presenti solidi sospesi e non, di varia granulometria, che si possono ripartire, approssimativamente, in particelle grossolane (dimensioni > 0,1 mm) e in particelle fini (dimensioni < 0,1 mm); il contenuto di sostanza secca determina la forma fisica dei reflui zootecnici e la loro natura di prodotto solido, semisolido, fluido o liquido (Figura 1.5).

La percentuale di sostanza secca è comunemente utilizzata anche come indice per avere una prima caratterizzazione del prodotto. La s.s. determina la densità e quindi la pompabilità del liquame e dà un'indicazione sul valore di trasportabilità e sulle caratteristiche fluidodinamiche del refluo.

Viene indicato come limite di pompabilità, con le normali tipologie di pompe in uso, il contenuto del 15 % di s.s.; oltre a tale valore è consigliato introdurre sistemi di separazione solido-liquido. Il valore di trasportabilità del liquame deriva empiricamente dalla quantità di elementi fertilizzanti trasportati per unità di volume ed è, quindi, strettamente legato al contenuto di s.s. del liquame. Per elevate distanze di trasporto è consigliato l'utilizzo di reflui con alto valore di trasportabilità, cioè di s.s., anche per ridurre i costi di spandimento.

Le caratteristiche fluidodinamiche del refluo sono anch'esse legate al contenuto di s.s. ma soprattutto alla percentuale di solidi grossolani presenti. Questi solidi condizionano il funzionamento delle attrezzature per la gestione del liquame (es. pompe, tubazioni ecc.) creando notevoli problemi se non si predispongono idonei sistemi di triturazione e omogeneizzazione del liquame.



**Figura 1.5** - Consistenza delle deiezioni animali in funzione del contenuto di s.s. e relative attrezzature per la loro movimentazione.

**Azoto:** È presente nei liquami sia nei composti organici, sia in forma minerale e si caratterizza per il diverso comportamento agronomico e gestionale.

L'azoto presente nei reflui zootecnici si può suddividere in base alla prontezza di mineralizzazione in tre frazioni:

- l'azoto organico residuale, di più difficile degradabilità da parte della microflora terricola, perdura nel terreno e si rende disponibile alle colture in tempi superiori all'anno;
- l'azoto organico facilmente mineralizzabile, è la restante parte della quota organica ed è più degradabile del precedente rendendosi disponibile nell'anno di coltura;
- l'azoto minerale è presente in forma solubile, per la maggior parte in forma ammoniacale, presenta una mobilità pari a quella dei concimi minerali, quindi subito disponibile per le colture.

Anche i trattamenti ai quali i reflui vengono normalmente sottoposti nelle aziende agricole (stoccaggio prolungato con stabilizzazione in condizioni di anaerobiosi), comportano la parziale mineralizzazione dell'azoto organico e di conseguenza l'incremento, rispetto al refluo fresco, della forma ammoniacale.

In relazione alle frazione minerale, i liquami suini e avicoli, presentano percentuali di azoto ammoniacale mediamente comprese nell'intervallo fra 60 e 70% dell'azoto totale e risultano, quindi, essere prodotti concimanti a pronto effetto. Durante la conservazione del liquame in vasche scoperte, subito dopo lo spandimento in campo e nel periodo che intercorre tra la distribuzione e l'utilizzazione da parte delle colture, una parte anche molto rilevante di ammoniaca si perde per volatilizzazione. L'azoto organico del liquame e la quota di ammoniaca non volatilizzatasi giunti nel terreno possono avere i seguenti destini:

- essere trasportati nelle acque di scolo superficiali in seguito a piogge molto abbondanti (ruscellamento);
- raggiungere le acque di falda per percolazione, fenomeno che si accentua nel caso di terreni a granulometria grossolana (molto ricchi di scheletro);
- venire interessati dal processo di mineralizzazione con formazione di nitrati.

Quest'ultimo processo costituisce la norma perché è solo nella forma nitrica che l'azoto diventa solubile e può muoversi facilmente nel terreno e percolare (processo di lisciviazione).

**Fosforo:** è presente nei liquami in forma inorganica, come fosfato di calcio in percentuale di circa l'85 % del totale ed in forma organica per la parte restante. Ha una bassa solubilità ed è prevalentemente legato alla frazione solida dei liquami. La disponibilità di fosforo per le piante è intorno al 50-60% del P tot (in maggior misura per i liquami suini che per quelli bovini).

**Potassio:** è presente in forma solubile. La disponibilità per le colture del potassio fornito con i liquami è pari a quella dei concimi minerali (80-90%).

**Microelementi:** i reflui zootecnici contengono metalli pesanti, in particolare rame e zinco. Questi elementi, somministrati agli animali (soprattutto suini) sia come promotori della crescita sia per i loro effetti farmacologici, risultano in gran

parte eliminati con le deiezioni. Nel caso dei suini, ad esempio, il rame somministrato viene eliminato con le deiezioni in percentuale che varia tra il 72 e l'80%, mentre lo zinco viene eliminato in percentuale che giunge fino al 92-96%. Il rischio di contaminazione dei suoli con metalli pesanti presenti nei reflui è comunque contenuto. Gli apporti risultano infatti conformi a quelli consentiti dalla legislazione vigente in materia di prevenzione dall'inquinamento, se si rispettano le dosi di impiego nell'alimentazione e le dosi agronomiche di spandimento liquami nella fertilizzazione (Bonazzi et al., 1994).

**Sostanza organica:** gli apporti di sostanza organica, che si realizzano con i liquami dosati sulle esigenze di nutrienti delle colture, possono consentire il mantenimento del preesistente livello di sostanza organica del suolo. Ai fini, di ottenere incrementi rilevabili di sostanza organica nei suoli sono richiesti buoni apporti di letame bovino oppure di altro materiale organico che abbia subito un processo di umificazione della sostanza organica presente (es. compost).

Quindi, come si può notare dalla seppur breve analisi della loro composizione, i liquami zootecnici utilizzati in agricoltura non possono essere considerati rifiuti "nocivi" ma, anzi, una vera e propria risorsa; spetta soprattutto all'agricoltore avveduto adottare comportamenti tali da minimizzare l'impatto ambientale negativo connesso con un andamento meteorologico non favorevole o con pratiche agronomiche non corrette.

### **1.3 Qualità del refluo e qualità della distribuzione (ovvero l'accettabilità degli effluenti come fertilizzanti)**

Perché il refluo zootecnico sia accettato e appetibile da parte dell'azienda agricola utilizzatrice occorre che abbia caratteristiche fisiche e chimiche omogenee, costanti e conosciute, sia distribuito in modo razionale e in ampi periodi con minimi impatti sul terreno, sulla coltura e sull'ambiente. Inoltre occorre considerare che la variabilità climatica, pedologia e colturale non consente l'utilizzo dei reflui in tutte le situazioni e che alcune zone o terreni sono più recettivi di altri.

#### **1.3.1 Fornitura di materiali omogenei, con caratteristiche fisiche e chimiche note e costanti**

La necessità di rispettare i limiti di legge relativi alle dosi di Azoto distribuibili in campo provenienti da effluenti zootecnici (170 kg/ha/anno nelle zone vulnerabili e 340 in quelle non vulnerabili) presuppone che si conoscano i contenuti di questo elemento nei reflui al momento della loro distribuzione. Tuttavia, questi contenuti sono molto variabili in funzione dei vari processi che hanno preceduto questa fase a partire dalle modalità di alimentazione e di allevamento degli animali. La situazione di incertezza sulle caratteristiche dei reflui al momento della distribuzione ha conseguenze importanti non solo sulla loro accettabilità come fertilizzanti rispetto ai concimi chimici da parte degli agricoltori (che accanto al costo desiderano conoscere il contenuto di unità fertilizzanti dei prodotti che distribuiscono), ma anche sulla difficoltà di calibrare accuratamente gli apporti di

nutrienti alle colture. Inoltre, l'applicazione di coefficienti inadeguati per il calcolo del contenuto di azoto delle deiezioni ha inevitabili conseguenze (sia in senso positivo che negativo) sulla consistenza e sul numero di allevamenti che operano in una data zona, con riflessi che si estendono su tutta la filiera agro-alimentare.

La conoscenza da parte dell'agricoltore delle caratteristiche qualitative dei liquami prodotti in allevamento è un elemento fondamentale per poter determinare la giusta quantità da distribuire. È pertanto consigliabile ricorrere ad un'analisi del liquame al fine di determinare al momento della distribuzione in modo preciso e puntuale il suo contenuto di azoto.

Sempre più utili saranno quindi quegli strumenti in grado di agevolare nella determinazione della quantità e della composizione del refluo in tempo reale, magari abbinati a sistemi elettronici di bordo che regolino il flusso di prodotto distribuito in funzione della velocità e della larghezza di lavoro per somministrare sempre la dose di fertilizzante prefissata. Se questi strumenti vengono affiancati a un ricevitore satellitare e a un sistema informatico di raccolta e registrazione di dati relativi ai quantitativi di reflui movimentati, ai percorsi seguiti e ai periodi di movimentazione, si persegue la tracciabilità.

### **1.3.2 Distribuire in maniera uniforme e nelle quantità previste**

Per uniformità di distribuzione, si intende la regolarità di spandimento nel terreno sia in senso trasversale sia in senso longitudinale.

L'uniformità permette una omogenea distribuzione in campo, la riduzione delle sovrapposizioni, un aumento della larghezza di lavoro e una più regolare risposta della coltura. Essa dipende dalle caratteristiche costruttive del carro spandiliquame o spandiletame e specialmente dalla presenza di una barra di distribuzione (anche per i materiali palabili), dal sistema di alimentazione (pompe, coclee, nastri trasportatori, ecc.) e da efficaci elementi ripartitori. Per i materiali palabili le migliori soluzioni sono quelle che prevedono efficaci sistemi di alimentazione (a coclee o a catena con paratie) e sistemi di distribuzione posteriore combinati con rotori verticali e doppio disco oppure con barre distributrici a coclea. Per le frazioni liquide o semi-solidi l'uso di pompe volumetriche garantisce meglio l'uniformità longitudinale, mentre la presenza di ripartitori quella trasversale.

I sistemi di guida semi-automatica o assistita dai ricevitori satellitari, tramite i computer di bordo, riescono ad individuare le zone già trattate e quindi provvedere a non sovrapporre nuovamente il prodotto distribuito. Inoltre, secondo le tecniche di agricoltura di precisione, è possibile dosare il liquame sulla base di mappe di prescrizione precedentemente definite.

### **1.3.3 Compattamento**

Le moderne macchine per la distribuzione dei liquami in linea generale presentano a pieno carico una massa elevata, soprattutto a seguito della tendenza seguita dalle case costruttrici di aumentare la capacità dei serbatoi, passando dai comuni spandiliquame monoasse, agli attuali sempre più diffusi spandiliquami a tre assi, in grado di raggiungere capacità di carico prossime o superiori a 30 t. Tali aspetti inevitabilmente si ripercuotono sul terreno con problemi di compattamento

e transitabilità variabili in funzione dell'epoca di intervento, dell'andamento della stagione e delle lavorazioni successive (Balsari e Airoidi, 1993).

Tra le soluzioni proposte per ovviare a questo problema, si possono considerare le seguenti.

- **Disassamento posteriore:** esso prevede per le semoventi, lo sfasamento degli assali in modo tale che venga omogeneamente compattata l'intera zona interessata dalla carreggiata del mezzo. Il particolare assetto riduce le disformità del terreno e rende più omogeneo l'interramento del liquame.
- **Aumento della larghezza di lavoro.** Da diverse prove è emerso che con una larghezza di lavoro pari a 12 m, la superficie interessata dal passaggio della macchina è pari al 6,6 % della superficie totale coltivata, mentre con larghezze di lavoro di 8 m tale percentuale risulta prossima a 10% (Balsari e Airoidi, 1993).
- **Adozione di pneumatici a larga sezione e controllo della pressione:** consentono di aumentare la superficie di contatto riducendo la pressione sul terreno. Le pressioni di gonfiaggio in questi casi è bene che non superi 1,5 bar durante il transito in campo, mentre su strada le pressioni vanno aumentate per evitare usure del battistrada. E' per questo che frequenti ormai sono gli impianti di gonfiaggio/sgonfiaggio a corredo delle macchine più pesanti. Rimane comunque il problema dell'ingombro della macchina che può uscire dalla sagoma ammessa dal codice della strada (Guidetti e Veneri, 2000).
- **Separazione della fase di trasporto e della fase di distribuzione:** la separazione delle due fasi consente l'uso di sole operatrici idonee rispettivamente per le operazioni in campo e quelle di solo trasporto. Un ipotetico cantiere potrebbe prevedere l'impiego di cisterne di grosse dimensioni non in pressione e adattate alla circolazione su strada, in modo tale da effettuare in tempi brevi il trasporto del liquame dal centro di stoccaggio alla macchina operatrice adibita alla distribuzione in campo. In alternativa, se si riscontrano elevati tempi di attesa, si può pensare ad un punto di stoccaggio temporaneo a bordo campo con vascone scarrabile.

#### **1.3.4 Possibilità di intervenire con coltura in atto, su frutteti, vigneti e fasce boscate**

Da un punto di vista agronomico le applicazioni prossime alla semina e in copertura, quando vi sia un'intensa attività vegetativa, forniscono i migliori risultati produttivi in quanto la coltura stessa sfrutta al meglio gli elementi che gli vengono messi a disposizione. Bene allora le applicazioni con colture in atto, con dosi frequenti ma non eccessive attuate con speciali carribotte, con sistemi di fertirrigazione più o meno localizzata; svantaggiose invece le applicazioni nel periodo invernale in quanto, oltre ad esserci uno scarso utilizzo da parte delle colture, si verificano grossi problemi di ruscellamento e di percolazione con un conseguente inquinamento delle acque superficiali e sotterranee.

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

La distribuzione di reflui può essere auspicata quindi anche nelle colture arboree e nelle fasce tampone, ambienti particolari e spesso difficili. A questo proposito le attrezzature ottimali sono provviste di barre distributrici rasoterra localizzate di ridotto ingombro, adattabili a carri di piccole dimensioni e richiedenti bassa potenza. Il sistema viene alimentato da pompe volumetriche, che mantengono costante la quantità distribuita in funzione della velocità di avanzamento.

### **Evitare odori e perdite fertilizzanti.**

Le migliori tecniche di distribuzione per massimizzare la capacità fertilizzante e per controllare i processi di volatilizzazione dell'ammoniaca e di lisciviazione dei nitrati sono quelle che limitano il tempo di esposizione e le superfici di contatto tra il liquame e l'atmosfera.

La scelta deve seguire differenti approcci in relazione al fatto che la coltura sia presente (prato o in copertura) o meno (terreno nudo) durante l'applicazione stessa. Nel primo caso, anche se la presenza della vegetazione ostacola sempre la distribuzione, l'applicazione rasoterra e l'incorporazione sottosuperficiale sono considerate buone tecniche di distribuzione dal momento che riducono le emissioni e allargano il periodo anche in epoche primaverili ed estive. In assenza di coltura, l'aspetto fondamentale è l'incorporazione che può essere differita dalla distribuzione e abbinata con le lavorazioni del terreno, oppure effettuata in contemporanea attraverso una distribuzione sottosuperficiale o iniezione profonda.

Il fenomeno della lisciviazione interessa le acque superficiali e profonde. Per le prime, la causa di inquinamento è da attribuire a fenomeni di ruscellamento tant'è che nei terreni dove la pendenza supera il 5% è bene ridurre le dosi e distribuire il prodotto limitatamente al periodo di deficit idrico. Per le acque profonde l'inquinamento è da attribuire a fenomeni di percolazione legati al movimento delle acque gravitazionali ed è tanto più evidente quanto minore è la profondità della falda e maggiore è la permeabilità del suolo; il tutto può essere aggravato da forti piogge che seguono il momento della distribuzione e da una scarsa attività vegetativa che non è in grado di assorbire tutto l'azoto nitrico presente nel terreno.

Il fenomeno della lisciviazione sembra non interessare soltanto l'azoto, ma anche, con entità inferiore, per il fosforo che può essere responsabile di accentuati problemi di contaminazione delle acque (Smith. et al., 2001; Isermann, 1990).

### **Allargamento del periodo di applicazione**

Da un punto di vista agronomico le applicazioni prossime alla semina e in copertura, quando vi sia un'intensa attività delle colture, forniscono i migliori risultati produttivi in quanto la coltura stessa sfrutta al meglio gli elementi che gli vengono messi a disposizione. Bene allora le applicazioni nella stagione vegetativa, con dosi frequenti ma non eccessive; svantaggiose invece le massicce applicazioni nel periodo invernale in quanto, oltre ad esserci uno scarso utilizzo da parte delle radici, si verificano grossi problemi di ruscellamento e di percolazione



con un conseguente inquinamento delle acque superficiali e sotterranee. In merito al periodo di applicazione va comunque sottolineata la differente efficienza del trattamento di distribuzione in base alle diverse esigenze delle colture, essendo queste caratterizzate non solo da differenti esigenze nutritive ma anche da diverse dinamiche di utilizzo degli elementi apportati mediante la distribuzione dei reflui zootecnici.

Da un punto di vista agronomico le applicazioni prossime alla semina e in copertura, quando vi sia un'intensa attività vegetativa, forniscono i migliori risultati produttivi in quanto la coltura stessa sfrutta al meglio gli elementi che gli vengono messi a disposizione. Svantaggiose invece risultano le applicazioni effettuate nel periodo invernale in quanto, oltre ad esserci uno scarso utilizzo da parte delle colture, si verificano grossi problemi di ruscellamento e di percolazione con un conseguente inquinamento delle acque superficiali e sotterranee. In merito al periodo di applicazione va comunque sottolineata la differente efficienza del trattamento di distribuzione in base alle diverse esigenze delle colture in questione (Tabella 1.9), essendo queste caratterizzate non solo da differenti esigenze nutritive ma anche da diverse dinamiche di utilizzo degli elementi apportati mediante la distribuzione dei reflui zootecnici.

Il periodo di applicazione è comunque un parametro di rilievo anche per quanto riguarda l'interazione con altri aspetti legati alla distribuzione: ad esempio durante l'estate i terreni hanno una temperatura superficiale tale da favorire la volatilizzazione nel caso in cui si effettui una distribuzione superficiale del liquame, giustificando a maggior ragione il loro interrimento (Sangiorgi et al., 1986).

**Tabella 1.9** - Possibilità della distribuzione dei liquami zootecnici in funzione della coltura e del momento di distribuzione.

Colture	Prearatura/post-raccolta	Presemina	In copertura
<b>Cereali autunno-vernini</b>	Distribuzione superficiale Interramento superficiale Interramento profondo	Distribuzione superficiale Interramento superficiale (close slot)	Distribuzione superficiale Distribuzione rasoterra Interramento superficiale (open slot)
<b>Mais</b>	Distribuzione superficiale Interramento superficiale Interramento profondo	Distribuzione superficiale Interramento superficiale (close slot)	Distribuzione superficiale Distribuzione rasoterra Interramento superficiale (close slot)
<b>Prati</b>	Distribuzione superficiale Interramento superficiale Interramento profondo	Distribuzione superficiale Interramento superficiale (close slot o open slot)	Distribuzione superficiale Interramento superficiale (open slot)

### **Scelta del metodo di distribuzione**

Idealmente l'operazione di spandimento può essere distinta in due fasi: la fase di trasporto del prodotto dal luogo di stoccaggio a quello di utilizzazione e la fase di distribuzione vera e propria. Ciascuna viene realizzata con diverse metodologie. Se le fasi vengono attuate da un solo mezzo si parla di cantiere riunito, mentre se le due fasi sono prerogative di mezzi distinti si parla di cantieri separati. Classico esempio di cantiere riunito è il tradizionale carrobotte che è

provvisto di impianti per il carico e lo scarico e la distribuzione del liquame. Considerati i lunghi tempi morti di trasferimento e di carico, la sua sostenibilità economica si ha solamente per distanze di qualche chilometro dal luogo di prelievo e quindi i mezzi sono aziendali e di non elevate dimensioni. I cantieri separati, invece, sono prerogativa delle grandi attrezzature e delle semoventi che, per il loro elevato investimento iniziale, necessitano di lunghi periodi di utilizzazione annua.

Le tecniche adottabili come le migliori disponibili sono quelle che prevedono l'interramento del refluo contemporaneo alla distribuzione, a bassa profondità, ma completo. In alternativa occorre utilizzare sistemi di spandimento superficiale che limitino al massimo la polverizzazione del liquido e il contatto con l'atmosfera (spandimento rasoterra in banda o superficiale a bassa pressione) seguito, dopo un ritardo massimo di 4 ore, dall'incorporazione con aratri polivomeri superficiali ad ampia larghezza di lavoro. In questo caso però il periodo utile di distribuzione viene ridotto drasticamente nei soli momenti concessi dalla rotazione agraria in cui il terreno è privo di coltura.

Sono da evitare, per motivazioni opposte, i sistemi di distribuzione ad alta pressione per gli elevati rischi di volatilizzazione, e l'iniezione profonda che causa perdite di azoto per lisciviazione.

Il sistema di spandimento sottosuperficiale a solco chiuso si presta, oltre che su terreno non coltivato, anche all'utilizzazione su colture sarchiate, contribuendo all'aumento del periodo utile per la distribuzione in campo nel periodo primaverile-estivo. La distribuzione su terreno non lavorato funge anche da minima lavorazione conservativa e alcune realizzazioni prevedono la localizzazione del liquame contemporaneo con la semina su sodo; la distribuzione in copertura, frazionando gli interventi, aumenta l'efficienza delle colture nei riguardi dell'azoto con minori perdite per lisciviazione (Fezzi et al., 2007).

Per le colture prative i sistemi migliori dal punto di vista ambientale sono lo spandimento in banda con deflettore o sottosuperficiale a solco aperto. In questo caso il numero degli interventi e l'entità della dose saranno tarati in funzione dello sviluppo vegetativo e delle caratteristiche operative dell'attrezzatura (larghezza di lavoro, numero di assolcatori, profondità di lavoro).

#### **1.4 L'agricoltura di precisione e le nuove tecnologie nella gestione dei reflui zootecnici**

Le deiezioni animali, più che un sottoprodotto da smaltire, devono essere considerate un importante fertilizzante naturale e, con la stessa attenzione dei fertilizzanti chimici, trattate durante la distribuzione. Per contro possono inquinare l'ambiente se utilizzate in modo non appropriato, ad esempio con distribuzioni superficiali con i quali viene perso gran parte dell'azoto ammoniacale.

In quest'ottica la gestione "precisa" dei liquami rappresenta una ottima soluzione dal momento che l'obiettivo da perseguire è quello di distribuire il fluido secondo i fabbisogni agronomici usando il liquame come un fertilizzante, senza impatti sull'atmosfera e sulla falda.

La gestione sito-specifica dei reflui zootecnici (liquidi o solidi) non è una pratica comune, nemmeno nei paesi più progrediti in questo settore, soprattutto per la grandissima variabilità indotta nel materiale dalle modalità di produzione,

trattamento e stoccaggio. Una distribuzione variabile di un prodotto variabile in un suolo variabile sembra essere un compito piuttosto difficile.

Tuttavia alcune soluzioni sono prospettate, soprattutto nell'utilizzo delle nuove tecnologie informatiche rese disponibili dall'applicazione dell'agricoltura di precisione ossia nel capo della logistica e della tracciabilità.

La logistica applicata alla gestione dei reflui di allevamento porta a considerare aspetti essenzialmente legati al flusso del materiale in entrata agli impianti di trattamento e a quello in uscita da questi verso la fase della distribuzione in campo. Il trasporto extra-aziendale può essere eseguito con veicoli a ruote oppure con infrastrutture fisse come le tubazioni.

Il trasporto intra-aziendale viene realizzato con veicoli o tubazioni, ma è connesso anche con la fase di distribuzione. Questa prevede sempre la presenza di unità primarie addette alla distribuzione vera e propria e, per i cantieri separati, anche di unità di servizi nel caso di trasporto su strada o da impianti di alimentazione nel caso di trasporto con tubazioni.

Si prospettano quindi due problematiche distinte relative al trasporto. La prima riguarda il VRP (Vehicle Routing Problem) che ha l'obiettivo di minimizzare i percorsi e razionalizzare i mezzi di trasporto in modo da ridurre i costi e l'impatto ambientale; la seconda invece prevede l'individuazione della rete più corta che colleghi tutti i punti di prelievo dell'effluente con il punto di conferimento.

Si intende con *tracciabilità* l'insieme dei procedimenti prestabiliti e autosufficienti che permettono di conoscere, in un dato istante, le caratteristiche, l'ubicazione, le trasformazioni e il percorso seguito da un dato prodotto lungo la catena di produzione e distribuzione.

L'organizzazione che implementa la tracciabilità (azienda o ente pubblico) acquisisce quindi una serie di informazioni sul prodotto più o meno dettagliate a seconda delle esigenze interne o esterne che devono essere soddisfatte.

Il concetto di tracciabilità può quindi essere definito come la capacità di un'organizzazione di:

- lasciare delle tracce dei flussi materiali da essa gestiti lungo i percorsi produttivi e distributivi che le competono,
- acquisire dette informazioni in maniera efficace ed efficiente<sup>1</sup>,
- governare il flusso d'informazioni che accompagnano il flusso fisico del prodotto al fine di metterle a disposizione di chi ne fa richiesta.

La tracciabilità della filiera di movimentazione e distribuzione dei reflui si realizza prima di tutto all'interno delle singole aziende agro-zootecniche tramite installazione di sistemi di raccolta e registrazione di dati relativi ai quantitativi di reflui movimentati, ai percorsi seguiti e ai periodi di movimentazione.

A partire quindi dai singoli Sistemi Informativi Aziendali, capaci di gestire e documentare le attività di distribuzione, mettendo inoltre i dati raccolti a disposizione dell'Autorità di Sorveglianza, è possibile in un secondo momento porre in essere a livello regionale un sistema integrato di tracciabilità degli effluenti di allevamento (ad avere quindi un *Sistema Informativo Territoriale* o SIT) in grado

<sup>1</sup> Con "efficacia" si intende la capacità di un sistema di raggiungere un obiettivo prefissato, mentre con "efficienza" la capacità di raggiungerlo con la minima allocazione possibile di risorse.

di integrare e gestire le informazioni derivanti dalle molteplici aziende agro-zootecniche.

L'implementazione pratica di questo sistema si realizza tramite l'installazione sui mezzi di trasporto di una serie di sistemi elettronici e sensori.

Per i trasporti costituiti da due unità fondamentali, la *motrice* (deputata a fornire la potenza necessaria alla trazione) e il *rimorchio* (preposto al trasporto del carico), tra le due possibili filosofie di installazione (*Tractor oriented* o *Implement oriented*) sembra essere migliore un'architettura del sistema di tipo *Implement oriented*, in cui la componentistica elettronica principale è montata sull'attrezzo (carrobotte). Il sistema non necessita infatti di alcun adattamento o installazione che coinvolga il trattore e quindi è possibile utilizzare differenti trattori con lo stesso attrezzo oppure utilizzare un trattore non di proprietà (es. di un contoterzista).

La rilevazione della composizione chimica degli effluenti deve essere effettuata con sonde che possiedano particolari requisiti: facilità di installazione e di manutenzione, robustezza ed affidabilità, velocità di misurazione, facilità d'uso, completa automazione, utilizzo in immersione diretta, nessun reagente e nessuna generazione di sostanze tossiche.

## 2. OBIETTIVI

Il Consiglio dell'Unione Europea ha adottato in data 11 luglio 2006 il Regolamento (CE) n. 1083/2006 sulla missione dei Fondi a finalità strutturale. Tra gli obiettivi fissati nel menzionato Regolamento per il periodo 2007/2013, particolare rilievo per il Veneto assume l'Ob. Competitività Regionale e Occupazione, che *“punta, al di fuori delle regioni in ritardo di sviluppo, a rafforzare la competitività e le attrattive delle regioni e l'occupazione anticipando i cambiamenti economici e sociali, inclusi quelli connessi all'apertura degli scambi, mediante l'incremento e il miglioramento della qualità degli investimenti nel capitale umano, l'innovazione e la promozione della società della conoscenza, l'imprenditorialità, la tutela e il miglioramento dell'ambiente e il miglioramento dell'accessibilità, dell'adattabilità dei lavoratori e delle imprese e lo sviluppo di mercati del lavoro inclusivi”*. Tale Obiettivo è stato finanziato attraverso gli interventi del Fondo Sociale Europeo, attivati nell'ambito del Programma Operativo approvato dalla Giunta Regionale con DGR n. 422 del 27/02/2007 e dalla Commissione Europea con Decisione C(2007) 5633 del 16 novembre 2007.

Il presente percorso dottorale è stato approvato con il DGR 1017 del 6/5/2008 e successivamente è proseguito con il DGR n. 722 del 24/03/2009

Nell'ambito della programmazione F.S.E 2007/2013, è stato accolto un progetto a valere sull'Asse *“Capitale Umano”*, nell'ambito del rafforzamento delle lauree attraverso moduli professionalizzanti extracurricolari, master di 1° e 2° livello, dottorati di ricerca. Più in generale, l'obiettivo è, da un lato quello di valorizzare le risorse umane attraverso percorsi di eccellenza, dall'altro favorire a livello territoriale lo sviluppo di reti e partenariati di raccordo tra i sistemi della formazione, del lavoro, dell'istruzione. L'attività si colloca in una dimensione di qualificazione dell'offerta formativa ai più alti livelli. E' inoltre frutto di una fattiva concertazione con i Rettori del sistema universitario Veneto, con i quali è stato avviato un permanente confronto per giungere alla programmazione di sempre più innovative ipotesi di lavoro.

Secondo il Bando FSE, la formazione del dottore di ricerca, comprensiva di eventuali periodi di studio all'estero e stage presso soggetti pubblici e privati, è finalizzata all'acquisizione delle competenze necessarie per esercitare attività di ricerca di alta qualificazione.

La struttura di questi percorsi dovrà tener conto della normativa vigente mentre l'ambito di ricerca dovrà rispondere al requisito dell'innovatività. Il percorso di formazione/ricerca, dovrà concretizzarsi con l'elaborazione di piani di fattibilità tecnica ed economica per l'implementazione di tecnologie evolute e soluzioni innovative, sviluppate all'interno del contesto formativo e di ricerca delle università venete e testate in collaborazione con le imprese del sistema produttivo veneto.

Il progetto finanziato ha per titolo *“Modelli innovativi per la sostenibilità economica, ambientale e nella salute delle imprese in agricoltura”* e comprende due tipologie di intervento. La prima ha per titolo *“Prevenzione attraverso l'attività motoria compensativa nei lavoratori a rischio di patologie muscolo-scheletriche”*, la seconda, oggetto del presente lavoro, ha per titolo *“Tecnologie di agricoltura di precisione: studio e realizzazione di macchine e attrezzature agricole per la distribuzione variabile dei fertilizzanti organici e inorganici”*.

L'agricoltura di precisione è un nuovo modo di fare agricoltura utilizzando i più moderni strumenti offerti dalle nuove tecnologie informatiche ed elettroniche con i seguenti obiettivi: sostenibilità ambientale (conservazione delle risorse terreno e acqua), sostenibilità economica (reddito dell'impresa agricola), sostenibilità etica (qualità delle produzioni, sicurezza e sanità alimentare). Essa consiste nel dosare tutti i fattori della produzione (terreno, acqua, fertilizzanti, prodotti antiparassitari, ecc.) in maniera consona con le caratteristiche del suolo, del clima e della coltura

Le macchine agricole devono essere quindi in grado di supportare queste tecnologie per poter operare o distribuire i mezzi produttivi in maniera differenziata rispettando la variabilità presente negli appezzamenti. In questo modo si aumenta l'efficienza nel loro uso riducendo i costi. Inoltre la massiccia presenza dell'informatica e della sensoristica consente il controllo delle caratteristiche qualitative dei prodotti e la registrazione dei dati per la tracciabilità.

L'applicazione variabile dei fertilizzanti è, assieme alla ricerca di soluzioni di distribuzione più razionali, uno strumento efficace per la gestione dei nitrati nelle aziende zootecniche. Se infatti il limite previsto di azoto organico per gran parte del territorio veneto è di 170 kg/ha, occorre evitare al massimo le perdite per volatilizzazione e, parallelamente, aumentare l'efficienza del concime frazionando le quantità in funzione delle reali esigenze del terreno e della pianta.

Gli obiettivi sono quindi quelli, da una parte, di ricercare i mezzi di distribuzione dei liquami solidi, liquidi o semiliquidi che limitino le perdite di ammoniaca attraverso sistemi di localizzazione e interrimento superficiale, magari da effettuarsi anche con la coltura in atto; dall'altra di studiare la possibilità di valutare la possibilità di dotare queste attrezzature di idonei sistemi elettronici di regolazione della dose per poter effettuare la distribuzione variabile.

Nel suo complesso il corso ha l'obiettivo formativo di fornire le competenze necessarie per esercitare presso aziende costruttrici di macchine agricole, attività di ricerca di alta qualificazione, anche a carattere interdisciplinare, nel settore dell'agricoltura di precisione. Inoltre la figura creata sarà utilizzata in ambito aziendale per la formazione e l'aggiornamento tecnico del personale e di tutta la catena distributiva fino ad arrivare all'utilizzatore finale (aziende zootecniche e contoterzisti). Tale compito si ritiene di strategica importanza dal momento che il livello di aggiornamento di tali figure è piuttosto basso e quindi poco favorevole all'introduzione delle moderne tecnologie.

## 3. TECNICHE DI DISTRIBUZIONE DEI REFLUI ZOOTECNICI

### 3.1 Macchine e cantieri per la distribuzione dei materiali palabili

#### 3.1.1 Introduzione

I materiali palabili vengono distribuiti sul terreno tramite apposite macchine spanditrici, la cui tipologia costruttiva deriva dagli spandiletame, ottenuta modificando il sistema di traslazione del prodotto verso l'organo di distribuzione e il sistema di distribuzione sul campo.

Il ruolo delle macchine distributrici è fondamentale, dato che chiudono il ciclo della sostanza organica. Le caratteristiche essenziali richieste sono l'efficienza e la precisione di distribuzione sia in ampiezza che per uniformità; in particolare viene valutata di ogni macchina l'omogeneità di distribuzione trasversale e longitudinale, e il rispetto della dose da distribuire, parametri che sono strettamente correlati tra loro al fine di ottenere precisione e velocità di intervento.

I sistemi di distribuzione modificano la loro efficienza in base anche alle caratteristiche chimico fisiche del prodotto. Se il contenuto d'acqua è basso, sia la distribuzione che i costi di trasporto sono collegati in maniera positiva, nel caso contrario, con elevata percentuale d'acqua si possono verificare problemi nella manipolazione del prodotto, di ingolfamenti e distribuzione non omogenea. Per quanto riguarda la consistenza polverulenta di certi prodotti, alcuni problemi si possono verificare in caso di distribuzioni in presenza di vento, che può provocare un effetto deriva e nel caso di carico sui carri con benne che non assicurano una tenuta perfetta, in quanto può cadere dalle aperture.

Spesso (ma non sempre) questi ammendanti organici non hanno ancora terminato il processo fermentativo e quindi possono causare cattivi odori in caso di stoccaggio temporaneo e durante la distribuzione.

Visti i grossi volumi che si distribuiscono, si pone il problema del compattamento del terreno: i numerosi passaggi possono essere diminuiti aumentando la larghezza di distribuzione e il volume di carico del cassone, così che non si giri a vuoto per il campo per i continui rifornimenti, anche se questo comporta un maggior peso complessivo della macchina; giocano un ruolo fondamentale in questo caso il numero e il tipo di pneumatici, da preferire a sezione larga e a bassa pressione.

Altri parametri che possono influenzare l'acquisto di una macchina sono la semplicità di manutenzione degli organi, l'automatizzazione di alcune componenti e la facilità di pulizia.

#### **Principali caratteristiche delle macchine distributrici**

**capacità di trasporto**, perché consente di ridurre i tempi di lavoro, incrementare l'autonomia e, per le macchine destinate ad effettuare anche lunghi percorsi stradali, ridurre sensibilmente i costi complessivi di distribuzione tramite una riduzione del numero di viaggi;

**capacità di lavoro sul campo**, ottenibile aumentando la larghezza di lavoro, indicativamente pari al 50% della larghezza di distribuzione, perché ciò consente di migliorare la produttività del lavoro, con effetti positivi sul costo. Inoltre contribuisce a ridurre il numero di passaggi sul campo limitando le aree soggette a calpestamento;

**precisione nella distribuzione**, oggi ancor più importante, dato che la distribuzione del materiale palabile quando omogenea, permette di ridurre in modo sensibile l'impiego di concimi chimici e minerali;

**galleggiabilità sul terreno**, importante per non determinare un compattamento del suolo e perseguibile adottando pneumatici idonei al transito sul campo (pneumatici agricoli e non stradali), caratterizzati da una larga sezione e bassa pressione per aumentare l'area di contatto, un profilo idoneo della carcassa per ridurre il compattamento, e scegliendo macchine dotate di elevata larghezza di lavoro e un numero di assi proporzionato alla capacità di trasporto.

### 3.1.2 Il sistema di distribuzione

Le macchine possono essere distinte in base al posizionamento del sistema di distribuzione. Sono presenti quindi attrezzature:

- **a spandimento posteriore**
  - **a disco singolo o doppio**: (Figura 3.1) sistema costituito di solito da due dischi controrotanti che lanciano il prodotto posteriormente e lateralmente in entrambe i lati. I dischi montati posteriormente, ad asse di rotazione verticale, sono muniti di palette che sfruttano la forza centrifuga per distribuire il prodotto, spesso anche questo sistema si avvale di un rullo orizzontale per omogeneizzare la massa che cade sui dischi;
  - **a rotori orizzontali**: il sistema presenta uno o due rulli orizzontali, posti posteriormente al carro e di pari larghezza, muniti di palette e vite senza fine che spargono il materiale su una fascia poco superiore alla larghezza del carro, ponendo così il limite di tale sistema;
  - **a rotori verticali**: (Figura 3.2) l'apparato è costituito da due o quattro rulli verticali di altezza pari alle sponde, muniti di denti o palette che lanciano il prodotto in una fascia posteriore di 6 ÷ 8 metri;
  - **a barra**: (Figura 3.3) prevede un sistema di regolazione della dose per gravità (nei casi più evoluti anche per estrazione forzata) e una coppia di coclee che scorrono all'interno di una tubazione provvista di aperture nella parte basale. La larghezza della barra è di 6-8 m e la distribuzione che si ottiene è piuttosto regolare.
- **a spandimento anteriore laterale**
  - **a disco singolo orizzontale**: formato da un grosso disco, disposto anteriormente di diametro di poco superiore a quello del pianale, su cui cade il prodotto da distribuire già disgregato da un rullo ad asse orizzontale che provvede anche a regolarizzare la massa. La distribuzione avviene lateralmente da un lato;
  - **a disco singolo verticale**: (Figura 3.4) è la tipologia tradizionale degli spandiletame, costituito da un disco di grosso diametro (200 ÷



- 220 cm) con asse di rotazione orizzontale, montato anteriormente, munito di palette che lanciano il materiale lateralmente in un solo lato
- **a rotore:** (Figura 3.5) costituito da una turbina rotante ad asse di rotazione orizzontale e di un boccaporto che indirizza il prodotto verso l'esterno. Nella parte interna è spesso presente una serie di coclee che garantiscono la corretta alimentazione.



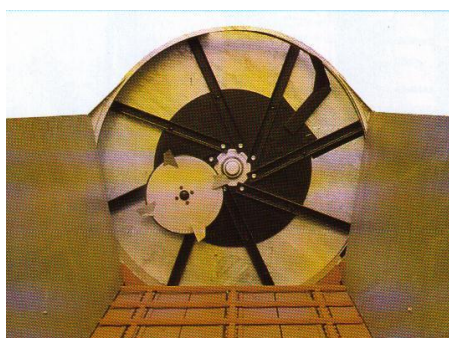
**Figura 3.1** – Sistema di distribuzione a dischi posteriori orizzontali e relativa macchina.



**Figura 3.2** – Sistema di distribuzione a rulli verticali e relativa macchina in lavoro.



**Figura 3.3** – Barra di distribuzione.



**Figura 3.4** – Sistema di distribuzione a disco anteriore verticale.



**Figura 3.5** – Sistema di distribuzione laterale a rotore.

### **3.1.3 Il sistema di alimentazione**

Provvede al trasporto del materiale verso il sistema di distribuzione, è formato nella maggioranza dei casi da 2 o 3 catenarie che scorrono sul fondo del cassone e collegate tra loro da sbarre (più vicine negli spandiletame); la velocità di avanzamento delle catenarie è regolata a seconda delle esigenze tramite un cambio, in caso di trasmissione meccanica (velocità compresa tra 0,3 e 3 m/min), o attraverso una valvola nel caso di trasmissione idraulica (velocità fino a 15 m/min).

La possibilità di intervenire sulla velocità di avanzamento del nastro trasportatore, solitamente mediante un apposito cambio meccanico (che permette di scegliere sino a 6 diverse velocità) o, in qualche caso, la regolazione continua permette la variazione della quantità distribuita. La presenza inoltre di un dispositivo che consente l'inversione del moto del nastro è utile in caso di intasamento del sistema distributore.

Con materiali semisolidi, privi di paglia o altro materiale a fibra lunga, quali i fanghi di depurazione e la pollina, il nastro trasportatore può presentare problemi di presa sul prodotto (avanza senza trascinare il materiale, creando una superficie liscia di scorrimento).

Per tale genere di materiale risulta più idoneo il sistema di convogliamento, denominato a sponda mobile, azionato idraulicamente o meccanicamente. Questo, scorrendo in senso longitudinale all'interno della tramoggia, spinge il prodotto verso gli organi distributori.

Un altro sistema di convogliamento presente nei modelli idonei per materiali semisolidi e quello a coclea (semplice o doppia). Questa, posizionata in senso longitudinale sul fondo del cassone, spinge il materiale verso il sistema di distribuzione, se doppia spesso migliora l'omogeneizzazione.

### **3.1.4 Macchine aziendali e comprensoriali**

Le macchine destinate ad effettuare ampi percorsi stradali devono essere munite di appositi dispositivi per evitare la dispersione di prodotto durante il trasporto (Figura 3.11, destra)

Gli spanditori destinati al trasporto stradale sono sostanzialmente dei rimorchi sui quali sono stati adeguati i diversi organi per garantire la gestione di un prodotto incoerente e in alcuni casi, tendenzialmente polverulento.

Le macchine destinate al servizio comprensoriale sono omologate per masse a pieno carico di 20 t (volume di carico compreso fra 20 e i 30 m<sup>3</sup>) e per questo devono essere dotate di tre assi.

Le macchine di tipo aziendale, ovviamente sempre omologate per il trasporto su strada, non dispongono di questi dispositivi che inciderebbero notevolmente, ma con poca utilità, sul costo di acquisto della macchina.

Le macchine destinate alle aziende agricole hanno capacità di carico inferiori e per questo sono equipaggiate con uno o due assi. Questa tipologia è adatta ad operare in cantieri nei quali il percorso stradale viene affidato a mezzi specializzati per questo scopo e quindi diversi da quelli destinati allo spandimento in campo. Sono però macchine poco diffuse perché in ogni caso più o meno



specializzate nella distribuzione di compost che mal si adattano allo spandimento di altri fertilizzanti organici.

Nell'ambito delle attrezzature aziendali sono da annoverare anche quelle che localizzano il materiale concentrato su filare o interrato (Figura 3.6).



**Figura 3.6** – Attrezzature aziendali per la distribuzione localizzata su vigneti e frutteti.

### 3.1.5 I cantieri di carico

La distribuzione del materiale palabile prevede un impegno organizzativo e logistico non di poco conto. Infatti, si devono prendere decisioni sui mezzi più adatti da utilizzare, creare una certa successione logica e temporale tra le varie fasi, analizzare lo stato del terreno per arrecarvi meno danno possibile e nel caso del ricorso al noleggio concordare sulle disponibilità dell'operatore.

Il carico è una delle fasi che grava sui tempi di distribuzione e sui costi, infatti le aziende non sempre dispongono di pale meccaniche o escavatori per il carico, o dispongono di mezzi inadeguati che allungano i tempi necessari per il riempimento del cassone.

Pare evidente che la fase di carico sia uno dei punti critici del sistema, ma nel complesso tutta l'organizzazione del cantiere di lavoro necessita di uno sforzo di coordinamento notevole.

Per il carico, operazione essenziale se il prodotto viene scaricato a terra dai veicoli che operano il trasporto in un cumulo a bordo campo, sono possibili 4 tipologie di mezzi:

- un caricatore a benna mordente con capacità di  $0,7 \text{ m}^3$  agganciato ad un trattore di 50 kW;
- un trattore da 70 kW con pala frontale da  $1 \text{ m}^3$ ;
- un caricatore telescopico con trasmissione idraulica e pala da  $2 \text{ m}^3$ ;
- un escavatore semovente da 130 kW con benna da  $0,8 \text{ m}^3$ .

Il **caricatore a benna** è costituito da un carrello trainato dalla trattrice, dove è inserita una piattaforma girevole su  $360^\circ$  che porta un braccio snodato, terminante con una benna mordente (capacità di  $0,7 \text{ m}^3$ ), azionati idraulicamente tramite un pompa collegata alla p.d.p della trattrice (potenza richiesta: 50 kW).

Questa tipologia di mezzo è comune nelle aziende agricole, soprattutto in quelle zootecniche, dove viene impiegata per la movimentazione del letame. Il suo valore iniziale è di circa 20.000 € (Figura 3.7).



Figura 3.7 – Caricatore a benna mordente al lavoro.

La **pala caricatrice**, montata frontalmente al trattore, consiste in una coppia di bracci, articolati al telaio della trattore (potenza di 70 kW), i quali portano all'estremità una benna ribaltabile (capacità di 1 m<sup>3</sup>); il sollevamento e il ribaltamento della benna è ottenuto idraulicamente, tramite comandi dal posto di guida. Il costo della pala caricatrice è di circa 9.000 € (Figura 3.8)



Figura 3.8 – Pala caricatrice montata frontalmente al trattore.

Il **caricatore telescopico** è un mezzo semovente a 4 ruote motrici e sterzanti, composto da un telaio, al quale si articola un braccio allungabile telescopicamente, che all'estremità frontale porta una benna ribaltabile della capacità di 2 m<sup>3</sup>. È provvisto di motore di 75 kW, montato lateralmente, che

fornisce la potenza alla pompa idraulica, per il sollevamento del braccio e l'avanzamento, che viene ottenuto tramite trasmissione idrostatica.

Questa macchina si trova spesso in aziende di notevoli dimensioni o zootecniche, per la sua facilità e velocità d'uso, nonché per sua polivalenza. Il suo costo è di circa 65.000 € (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Caricatore telescopico.

L'**escavatore** è un mezzo semovente a cingoli o ruote, che sorreggono una piattaforma girevole su 360°, sulla quale è montata posteriormente il motore da 130 kW che fornisce la potenza alla pompa idraulica per tutti i movimenti, e anteriormente, a fianco del posto di guida, si articola un braccio snodato a comando idraulico, terminante con una benna a cucchiaio della capacità di 0,8 m<sup>3</sup>.

La macchina è utilizzata soprattutto per lavori industriali di scavo, ma per questo motivo è più semplice trovarla a noleggio. Il costo dell'escavatore è di circa 150.000 € (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Esempio di escavatore a cingoli.

### 3.1.6 I cantieri di trasporto extra-aziendali

Le operazioni di trasporto devono essere attentamente valutate sotto il profilo della convenienza e nonostante ciò presentano anche altri tipi di problemi: le notevoli dimensioni dei mezzi di trasporto spesso sono in netto contrasto con la



viabilità aziendale, non è possibile scaricare la giusta quantità per ogni appezzamento, rendendo necessario la formazione di un deposito temporaneo che in ogni caso aumenterà i tempi morti della distribuzione e richiederà la necessità di ricaricare il materiale nella macchina distributrice.

Per quanto riguarda il trasporto dal centro di produzione del palabile all'azienda, sono possibili le seguenti soluzioni:

- trasporto diretto con spanditori e relativa distribuzione sul campo (metodologia che non prevede il carico in azienda);
- trasporto con rimorchio da 15 m<sup>3</sup> trainato con un trattore di potenza pari a 80 kW (mezzi reperibili nelle normali aziende agricole del territorio);
- trasporto con rimorchio da 28 m<sup>3</sup> trainato con un trattore di 120 kW (mezzi di notevoli dimensioni, reperibili in grosse aziende o contoterzisti) (Figura 3.11);
- trasporto con autocarro con capienza del cassone di 26 m<sup>3</sup> (Figura 3.12);
- trasporto con autoarticolato con cassone di capienza di 64 m<sup>3</sup> (mezzo ingombrante, non sempre proponibile per tali trasporti) (Figura 3.13).



**Figura 3.11** – A sinistra, rimorchio agricolo usato per trasportare i solidi palabili. A Destra, particolare del sistema di copertura automatico che evita la dispersione del materiale in trasporto.



**Figura 3.12** – Autocarro utilizzabile per il trasporto.**Figura 3.13** – Autoarticolato utilizzabile per il trasporto.

## 3.2 Macchine e cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi

Idealmente l'operazione di spandimento può essere distinta in due fasi: la fase di trasporto del prodotto dal luogo di stoccaggio a quello di utilizzazione e la fase di distribuzione vera e propria. Ciascuna viene realizzata con diverse metodologie.

### 3.2.1 Sistemi di trasporto extra-aziendali dei reflui liquidi

I sistemi di trasporto extra-aziendali per gli effluenti liquidi possono essere di tipo:

- semovente autonomo (camion tipo “autobotti”),
- semovente non autonomo (rimorchi tipo “carribotte”) oppure
- fisso (rete di condutture del tipo “ramificata” a partire dal centro di conferimento).

Nei mezzi semoventi, il volume di carico è configurato come una cisterna dotata delle seguenti caratteristiche:

- conformazione cilindrica ad asse longitudinale, a base circolare oppure ellissoidale oppure policentrica (assimilabile ad una sezione circolare lobata), provvista di fondi arrotondati;
- realizzazione in acciaio basso legato, zincato a caldo o verniciato, oppure in acciaio alto legato del tipo inossidabile;
- presenza nella zona posteriore di un portellone ad apertura integrale per l'effettuazione delle operazioni di pulizia, manutenzione ordinaria e straordinaria;
- presenza di una saracinesca superiore per il caricamento e di almeno una saracinesca per lo scarico totale, situata in posizione posteriore o laterale;



- possibilità di lavoro del serbatoio in pressione/depressione oppure a pressione atmosferica, e conseguente presenza, funzionale allo svolgimento delle operazioni di movimentazione del liquame durante le operazioni di carico e scarico, di un gruppo decompressore<sup>2</sup> (in caso di serbatoio pressurizzato) oppure di una pompa centrifuga oppure a lobi, autoadescente, (in caso di serbatoio a pressione atmosferica o anche di richiesta di pressione aggiuntiva per operazioni di fertirrigazione);
- presenza eventuale un dispositivo trituratore per la omogeneizzazione delle parti solide;
- possibile presenza di accessori di riempimento, tipicamente un braccio pescante idraulico laterale o frontale, rigido articolato ed estensibile oppure flessibile a proboscide, che consente di aspirare il liquame dalle vasche di raccolta situate anche qualche metro sotto il piano stradale;
- nel caso di cisterna montata su rimorchi carribotte, possibile presenza di accessori di distribuzione (interratori, lancia).

### **Mezzi semoventi autonomi**

- **autocarro a due assali**;
- **autocarro a tre assali** di cui uno dei due posteriori sterzante (Figura 3.14);
- **autocarro a quattro assali** di cui uno dei due anteriori e uno dei due posteriori sterzanti;
- **autoarticolato** (Figura 3.15 a sinistra);
- **autotreno** (Figura 3.15 destra).



**Figura 3.14** – Autocarro a tre assali tipo “autobotte”.

<sup>2</sup> In questo caso il carico e lo scarico del serbatoio avvengono rispettivamente per depressione e pressione instaurate all'interno del serbatoio tramite la pompa di depressurizzazione/pressurizzazione; il liquame è quindi movimentato dal decompressore senza transitare attraverso di esso; per sicurezza è presente una valvola a sifone per impedire che il liquame possa raggiungere il gruppo di pompaggio.

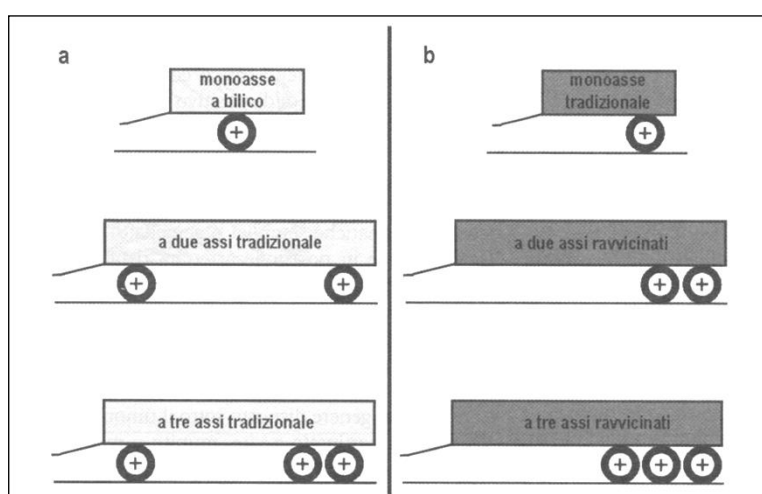


**Figura 3.15** – Autoarticolato (a sinistra) e autotreno (a destra), per il trasporto di liquidi (www.stucchi-sse.it).

### **Mezzi semoventi non autonomi**

Essi sono trainati da trattori agricoli e possono essere riconducibili alle seguenti forme:

- **rimorchio monoasse a bilico** con cisterna autoportante oppure con telaio portante (Figura 3.16, in alto a sinistra);
- **rimorchio monoasse tradizionale**, con cisterna autoportante oppure con telaio portante (Figura 3.16, in alto a destra);
- **rimorchio tradizionale a due assali**, di cui uno sterzante tramite ralla, con cisterna autoportante oppure con telaio portante (Figura 3.16, al centro a sinistra);
- **rimorchio a due assali ravvicinati**, di cui uno sterzante, con cisterna autoportante oppure con telaio portante (Figura 3.16, al centro a destra);
- **rimorchio tradizionale a tre assali**, di cui uno sterzante tramite ralla, con cisterna autoportante oppure con telaio portante (Figura 3.16, in basso a sinistra);
- **rimorchio a tre assali ravvicinati**, di cui due sterzanti, con cisterna autoportante oppure con telaio portante (Figura 3.16, in basso a destra).



**Figura 3.16** – Differenti tipologie di architetture generali dei rimorchi in termini di numero e collocazione degli assi a – rimorchi che non scaricano alcuna parte del peso del carico sul gancio di traino, b – rimorchi che scaricano parte del proprio peso sul gancio di traino (le configurazioni ad assali ravvicinati sono anche dette con assali in tandem o tridem).

A seguito di un'indagine sui rimorchi caribotte a catalogo dei principali produttori italiani<sup>3</sup>, è stato possibile rendersi conto di quali siano le configurazioni a disposizione sul mercato ed individuare le capacità minime e massime per ciascuna categoria, individuata dal numero di assali.

Le architetture prevalenti per questo tipo di rimorchi sono principalmente tre:

- rimorchio di tipo tradizionale ad un assale;
- rimorchio a due assali ravvicinati con un assale sterzante;
- rimorchio a tre assali ravvicinati con due assali sterzanti.

Si veda la Figura 3.17, mancano del tutto altre tipologie di rimorchi comunque possibili per l'alloggiamento e la movimentazione di un serbatoio per liquidi e prima enumerate (monoasse a bilico; tradizionali a due o tre assi).



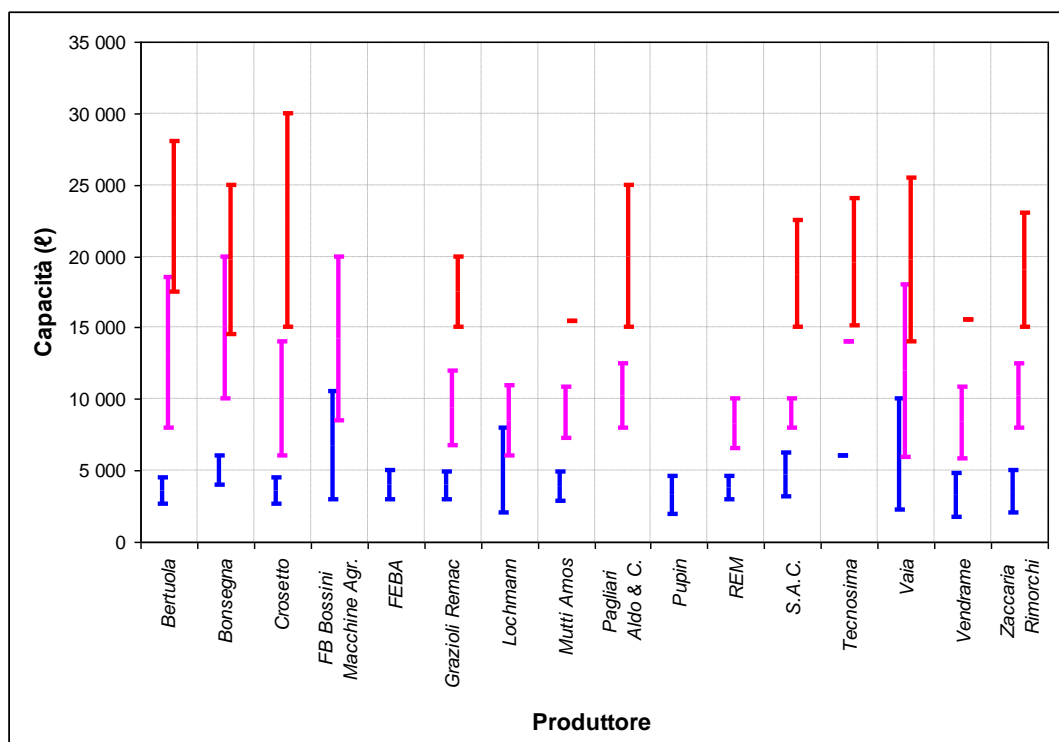
**Figura 3.17** – Esempi di rimorchi di tipo “carrobotte” ad un assale di tipo tradizionale (in alto a sinistra), a due assali ravvicinati (in alto a destra), a tre assali ravvicinati (in basso) (figure tratte da: [www.fbbossini.com](http://www.fbbossini.com)).

<sup>3</sup> L'indagine ha riguardato 16 produttori italiani, per un totale di 187 modelli a catalogo.

Nella Tabella 3.1 e nella Figura 3.18 sono stati rispettivamente raccolti e visualizzati i dati riguardanti le capacità dei modelli presenti nei siti Internet dei produttori esaminati.

**Tabella 3.1** – Capacità minime e massime dei rimorchi carribotte presenti a catalogo dei costruttori indicati, distinti per numero di assali<sup>4</sup>.

Produttore	1 assale tradizionale		2 assali ravvicinati		3 assali ravvicinati	
	Capacità (€)		Capacità (€)		Capacità (€)	
	Minima	Massima	Minima	Massima	Minima	Massima
Bertuola	2 700	4 500	8 000	18 500	17 500	28 000
Bonsegna	4 000	6 000	10 000	20 000	14 500	25 000
Crosetto	2 700	4 500	6 000	14 000	15 000	30 000
FB Bossini Macchine Agr.	3 000	10 500	8 500	20 000	-	-
FEBA	3 000	5 000	-	-	-	-
Grazioli Remac	3 000	4 900	6 800	12 000	15 000	20 000
Lochmann	2 000	8 000	6 000	11 000	-	-
Mutti Amos	2 910	4 895	7 230	10 850	15 500	15 500
Pagliari Aldo & C.	-	-	8 000	12 500	15 000	25 000
Pupin	1 924	4 600	-	-	-	-
REM	3 000	4 600	6 500	10 000	-	-
S.A.C.	3 150	6 200	8 000	10 000	15 000	22 500
Tecnosima	6 000	6 000	14 000	14 000	15 100	24 000
Vaia	2 217	10 000	5 980	18 000	14 000	25 500
Vendrame	1 790	4 820	5 840	10 850	15 550	15 550
Zaccaria Rimorchi	2 000	5 000	8 000	12 500	15 000	23 000



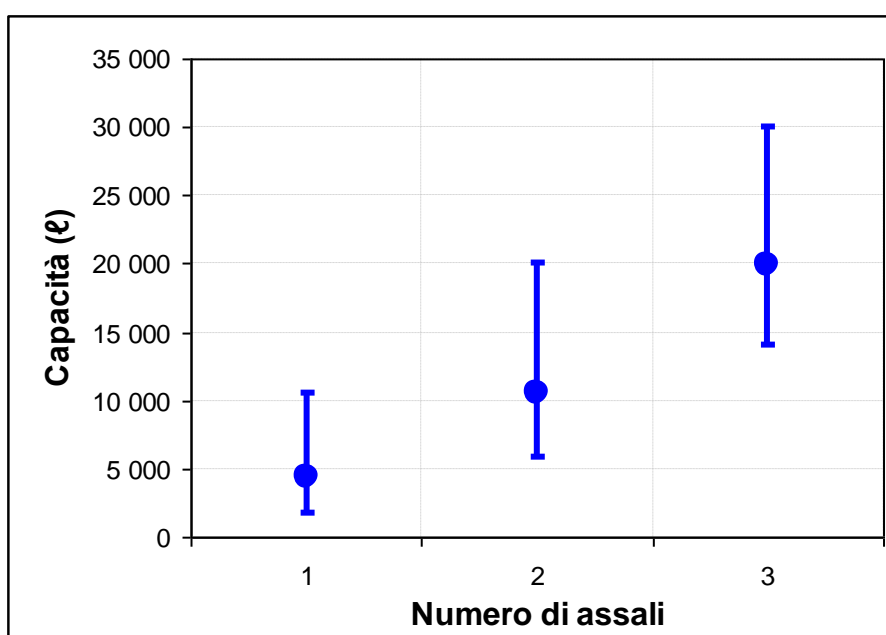
<sup>4</sup> Ove presente un solo modello in una categoria, la capacità di quel singolo modello è stata utilizzata come valore massime e minimo.

**Figura 3.18** – Visualizzazione grafica delle estensioni di gamma dei rimorchi carribotte presenti a catalogo dei costruttori indicati in termini di capacità (blu = rimorchi ad un assale, viola = rimorchi a due assali, rosso = rimorchi a tre assali).

Lo studio effettuato ha permesso inoltre il calcolo delle capacità minime, massime e medie per ciascuna configurazione (rimorchio di tipo tradizionale ad un assale, rimorchio a due assali ravvicinati con un assale sterzante, rimorchio a tre assali ravvicinati con due assali sterzanti; si veda la Tabella 3.2 e la Figura 3.19 potendo così avere un'indicazione su quelli che sono i valori nominali che potranno essere utilizzati per tutte le successive fasi di progettazione e gestione del sistema logistico nel momento in cui verranno considerati dei trasporti di questo tipo.

**Tabella 3.2** – Capacità medie calcolate e nominali per ciascuna configurazione di carribotte.

Configurazione	Capacità (ℓ)			
	Minima	Massima	Media calcolata	Media nominale
1 assale tradizionale	1 790	10 500	4 426	4 400
2 assali ravvicinati	5 840	20 000	10 612	10 600
3 assali ravvicinati	14 000	30 000	19 871	19 900



**Figura 3.19** – Visualizzazione grafica del collocamento dei valori medi calcolati e delle estensioni delle capacità dei differenti rimorchi di tipo “carribotte”, distinti per categorie.

Osservando i grafici delle Figure 3.18 e 3.19, è possibile osservare che, mentre nella fascia di capacità fino a 6 000 litri la scelta per un rimorchio ad un asse è obbligata, allo stesso modo di quanto accade per la fascia 10 000 - 14 000 litri (due assi) e 20 000 - 30 000 litri (tre assi), esiste invece una sovrapposizione parziale tra le configurazioni ad uno e due assi tra i 6 000 e i 10 000 litri e tra le configurazioni a due e tre assi nella fascia tra i 14 000 e i 20 000 litri (quest'ultima

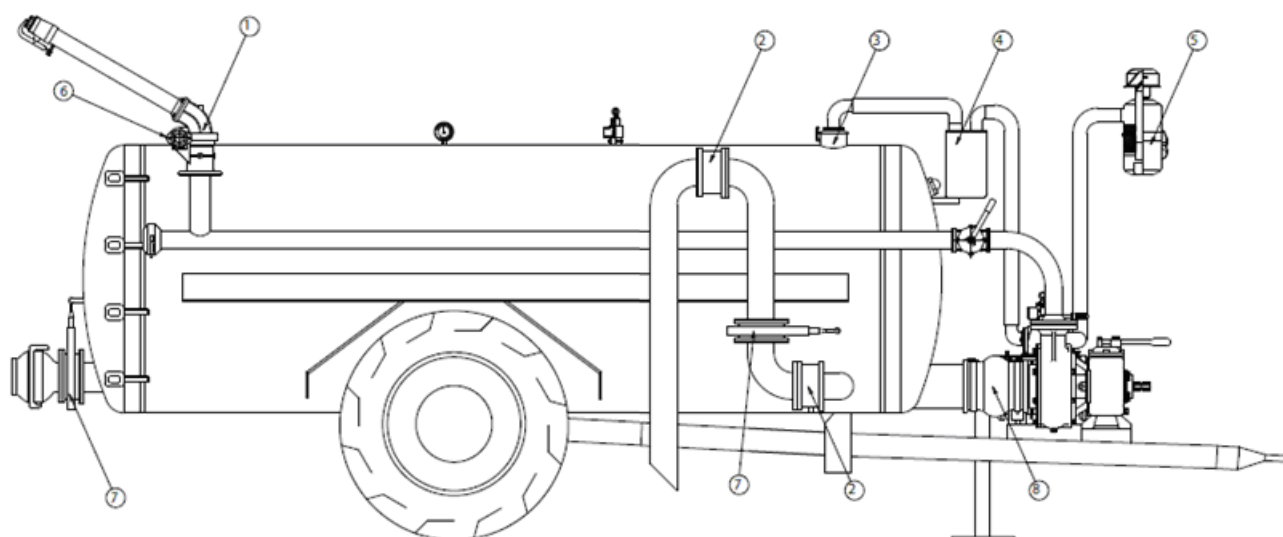


anche più significativa della precedente per numerosità dei modelli in sovrapposizione).

Le decisioni sulla scelta della possibile configurazione del carrobotte per capacità rientranti in queste due fasce dovranno quindi essere dettate da considerazioni tecniche (principalmente: peso per assale e tipologia di terreno normalmente percorsa, accessori installati o installabili) oltre che, naturalmente, economiche.

A completamento dell'esposizione dei risultati ottenuti dall'indagine eseguita, si aggiunge che la quasi totalità dei produttori offre la possibilità di avere rimorchi con:

- assale motore con moto derivato dalla presa di forza del trattore (per tutte le configurazioni possibili: uno, due, tre assi);
- sospensioni pneumatiche (tipicamente solo modelli più grandi), freni pneumatici o idraulici (tipicamente solo modelli più grandi);
- serbatoio lavorante in depressione/pressione (generata per tutti i modelli di qualsiasi costruttore tramite gruppi "Battioni & Pagni", vero e proprio leader di mercato);
- nonché, una lunga serie di accessori di riempimento e di distribuzione (pompa centrifuga aggiuntiva per operazioni di fertirrigazione, pompa a lobi trititante per operazioni di carico e scarico, braccio pescante idraulico rigido o flessibile, interruttore ad ancore retrattili, barra spandilquame, getto fisso od orientabile a cono o a ventaglio) e di accessori di altro tipo (piedi di appoggio ad azionamento idraulico, telaio zincato, telecomando, dispositivo di pesatura del carico, indicatore di livello e di pressione/depressione, saracinesche ad apertura pneumatica od idraulica, lampeggiante e faro orientabile).



**Figura 3.20** – Esempio di carrobotte ad un assale completo di vari accessori (1 – getto girevole, 2 – giunto girevole per braccio pescante, 3 – valvola di troppo pieno, 4 – valvola di troppo pieno, 5 – silenziatore, 6 - motore idraulico per getto girevole, 7 – saracinesca, 8 – giunto elastico di collegamento).

La messa in opera di un sistema di tubazioni per la raccolta dei reflui zootecnici costituisce un'interessante alternativa ad un sistema logistico costituito da vettori su ruote sotto molti punti di vista. La presenza di una siffatta rete di tubazioni consente infatti di non incrementare il traffico sulle strade, con ripercussioni benefiche a livello di congestione stradale, manutenzione del manto carrabile, emissioni in atmosfera di gas di combustione generati dai motori e di altri gas, provenienti invece dal carico trasportato, durante le operazioni di movimentazione e in caso di sversamento. Per quanto riguarda il funzionamento, inoltre, una rete di tubazioni non risulterebbe assolutamente influenzata dalle condizioni meteorologiche e di traffico, risultando inoltre protetta anche dalle escursioni termiche estreme (freddo o caldo estremo) in caso di tubazioni interrato.

Per contro, un tale sistema logistico, in quanto di tipo infrastrutturale ("capital-intensive"), comporterebbe degli alti costi di investimento iniziale (imputabili all'acquisto delle tubazioni, allo scavo delle trincee e alla posa in opera delle tubazioni, al collaudo generale dell'impianto) a fronte di:

- una durata prevista sull'ordine della ventina di anni, nettamente superiore a quella di qualsiasi vettore mobile;
- dei ridotti costi di manutenzione e di personale (esso risulterebbe impiegato solamente per sorvegliarne il funzionamento ed eseguire le operazioni di manutenzione).

La considerevole durata prevista di tale sistema e la scarsa flessibilità che esso manifesta ai cambiamenti delle condizioni operative (modifica dei punti geografici di produzione dei reflui, dei tracciati o del punto di raccolta; modifica delle quantità di reflui movimentati in ciascun singolo tratto, soprattutto se la modifica è al rialzo delle quantità), implica che le necessarie premesse per prendere in considerazione un tale sistema per il conferimento dei reflui zootecnici siano:

- l'esistenza di una realtà di tipo consortile che riunisca più soci in un certo areale geografico;
- la stabilità accertata o futura prevista dell'attività consortile e la costanza del numero di soci;
- la disponibilità, da parte del consorzio già esistente, nato sicuramente per altri scopi (es.: impianto lattiero caseario), a farsi carico anche della raccolta dei reflui zootecnici prodotti dalle aziende dei loro soci, magari finalizzata all'alimentazione di un impianto centralizzato di digestione anaerobica o similare;
- la costanza del numero di capi di proprietà di ciascun singolo socio, che si traduce in una costanza del livello di produzione di reflui su base annuale;
- la possibilità di poter procedere agevolmente alla posa in opera (aerea o in trincea) di un tale sistema di tubazioni anche attraverso terreni non di proprietà dei conferenti, che si traduce in un livello medio basso di urbanizzazione del territorio interessato.

### **3.2.2 Logistica dei trasporti extra-aziendali: le navette**

Il servizio di navetta, entra a fare parte del cantiere di trasporto e distribuzione del liquame nel momento in cui i cantieri sono separati. Il rifornimento della macchina operatrice di campo, può avvenire seguendo diverse modalità. La

macchina può essere rifornita o rifornirsi direttamente dalla navetta, oppure prelevare il materiale da un punto di stoccaggio temporaneo. Nel primo caso, per effettuare il servizio di navetta, possono essere utilizzati i normali carri spandiliquame, già equipaggiati con le proprie pompe, attraverso le quali possono effettuare il carico dai punti di stoccaggio e direttamente il riempimento della macchina di campo (Figura 3.21 a sinistra). Oppure possono essere utilizzati dei rimorchi “Dumper” con cassone a tenuta stagna, in cui una pompa mobile effettua il carico dal centro di stoccaggio e il liquame contenuto in essa viene aspirato direttamente dalla macchina operatrice di campo (Figura 3.21 a destra). Il secondo caso, invece, viene messo in atto al fine di eliminare i tempi morti dovuti alla diversità fra i tempi di trasporto e le esigenze di distribuzione in campo, per cui la formazione di un punto di stoccaggio temporaneo a bordo campo, può essere una soluzione economicamente vantaggiosa. Questo punto può essere semplicemente un vascone in calcestruzzo costruito in un punto strategico per assolvere a questa funzione specifica, oppure, può essere un cassone contenitore scarrabile. Essi, normalmente non sono provvisti di pompe, ma il loro riempimento viene effettuato direttamente mediante l’utilizzo della pompa del carro che effettua il trasporto, oppure attraverso condotta interrata. Lo scarico avviene invece, per aspirazione diretta da parte della macchina operatrice di campo, mediante l’utilizzo delle proprie pompe. Per effettuare queste operazioni di carico e scarico, sarebbe preferibile utilizzare una pompa centrifuga, in quanto riesce a movimentare grosse quantità nell’unità di tempo, ma normalmente vengono utilizzate pompe a lobi, in quanto le prime abbisognano dell’innesco, mentre le seconde sono autoadescanti e meno problematiche nel caso in cui il materiale contenga dei corpi estranei.



**Figura 3.21** – Cantiere di rifornimento di un carrobotte semovente. A sinistra, con prelievo diretto da navetta. A destra, prelievo da “polmone” di stoccaggio temporaneo.

### **3.2.3 Sistemi di trasporto aziendale e all’interno del campo, dei reflui liquidi**

Gli effluenti zootecnici, provenienti dai diversi centri di produzione, arrivano sul campo utilizzando diverse tipologie di trasporto, ampiamente descritte nella sezione dedicata del presente elaborato. All’interno dell’azienda o del centro di stoccaggio le modalità di trasporto dell’effluente sul campo possono essere le seguenti.

#### **Spandiliquame trainato (carrobotte)**



I carri spandiliquame trainati (Figura 3.21) sono schematicamente costituiti da un serbatoio e da una serie di attrezzature per mettere in pressione, regolare la dose ed effettuare la distribuzione del liquame. Le principali caratteristiche costruttive sono principalmente riconducibili alle modalità con le quali viene messo in pressione il liquame. Tale operazione può avvenire, in sintesi, per immissione di aria nel serbatoio (spandiliquame con serbatoi in pressione), o per azione diretta con liquido, per mezzo di pompe volumetriche o centrifughe, negli spandiliquame con serbatoio a pressione atmosferica.

Gli spandiliquame con serbatoio in pressione sono senza dubbio le macchine oggi più diffuse, poiché possono effettuare tutte le operazioni connesse con l'omogeneizzazione, la ripresa e la distribuzione del liquame creando, per mezzo di una pompa per l'aria, che funziona come pompa del vuoto nella fase di carico e come compressore nella fase di scarico, un differenziale di pressione fra il liquame contenuto nel serbatoio e l'ambiente esterno.

Elementi caratterizzanti tali macchine sono le basse pressioni (0,5-2 bar) e depressioni (0,5 bar) di lavoro, raggiunte peraltro solo in brevi periodi del loro funzionamento, e ciò, oltre al limitato numero di parti in movimento a diretto contatto con il liquame, si traduce in ridotti problemi legati alla corrosione dei materiali e ad a basse probabilità di intasamento e rotture per la presenza di corpi estranei accidentalmente presenti nel refluo.

Negli spandiliquame con serbatoio a pressione atmosferica una pompa centrifuga, di tipo aperto o semiaperto, ha la funzione di mettere in pressione il liquido e di avviarlo verso il sistema di distribuzione posto nella parte posteriore della macchina. Tali macchine risultano generalmente sprovviste di sistemi per la ripresa del liquame; il riempimento del serbatoio avviene di conseguenza per mezzo di un'apposita pompa a turbina. Il serbatoio di queste macchine ha pertanto la sola funzione di contenimento del liquame e non subisce variazioni di pressione rispetto all'esterno. Ciò rende possibile l'utilizzo in sicurezza di materiali di minor spessore, il che comporta, rispetto ai serbatoi in pressione, una sensibile riduzione sia della massa a vuoto della macchina sia del suo costo. Per contro tale sistema è caratterizzato da maggiori usura e pericoli di intasamento (Gasparetto e Pessina, 1998).



**Figura 3.21** – Carrobotte trainato a due assi.

### **Spandiliquame semoventi**

Tali macchine (Figura 3.22) sono generalmente trattori portattrezzi a 4 ruote isodiametriche in grado di alloggiare serbatoi di grandi dimensioni a pressione atmosferica (5 e i 15 m<sup>3</sup>) e distribuire il liquame in modo compatibile con l'ambiente operando secondo i principi dell'agricoltura conservativa e di precisione. Le caratteristiche salienti sono schematizzate qui di seguito.

- Sistema elettronico di controllo del motore e della trasmissione che seleziona il rapporto di trasmissione in modo tale che il motore lavori sempre ai regimi corrispondenti ai più bassi consumi, limitando le emissioni di Carbonio.
- Sistema di distribuzione del liquame rasoterra o sottosuperficiale in modo da interessare gli strati di terreno interessati dalle radici della coltura.
- Organi di distribuzione a denti o dischi per eseguire, in concomitanza con la distribuzione del liquame, anche una lavorazione conservativa del terreno.
- Pneumatici a larga sezione, impianto di gonfiaggio/sgonfiaggio e sistema di disassamento dell'assale posteriore rispetto a quello anteriore. Tutti questi accorgimenti consentono alla macchina in fase di lavoro di ridurre il compattamento del suolo limitandolo a 0,5-0,7 bar.
- Presenza del ricevitore satellitare collegato con il computer di bordo per conoscere la posizione e georeferenziare tutti i dati di funzionamento.
- Sistema di guida assistita o semi-automatica per evitare sovrapposizioni o fasce di mancato trattamento, aumentare la produttività di lavoro e ridurre gli stress del conducente.
- Sistema di controllo della dose che può essere regolata manualmente o automaticamente tramite mappe di prescrizione per una distribuzione variabile del fertilizzante organico (agricoltura di precisione).
- Ottimale organizzazione del cantiere di lavoro che riduce i tempi morti grazie al sistema di caricamento rapido a bordo campo con una pompa volumetrica a lobi. Il cantiere è completato da una serie di trasportatori che fungono da navette e transitano solo su strada, mentre il mezzo semovente è concepito solamente per distribuire il prodotto in campo e non per trasportarlo. Questo aumenta la produttività di lavoro e riduce i consumi di gasolio.



**Figura 3.22** - Macchina semovente di grandi dimensioni.

### **Sistemi ombelicali**

L'uso di un sistema di tubazioni interrate in sostituzione dei classici sistemi di trasporto del liquame sugli appezzamenti può essere una valida soluzione soprattutto per due motivi: la riduzione del compattamento del terreno e la maggior produttività del cantiere in termini di capacità di lavoro che equivale a dire una maggiore tempestività d'intervento oppure una riduzione dei tempi di spandimento. Entrambi i vantaggi non sono trascurabili.

Per contro il sistema di tubazioni intra-aziendale ha limiti legati alla distanza massima tra il sito di spandimento e la vasca (dalla bibliografia attorno a 2 km, ma fino a 10 al massimo) e alla presenza di ostacoli e infrastrutture (strade, fiumi, ecc.) che rendono impossibile l'applicazione, a meno di non prevedere vasche supplementari di appoggio piazzate in prossimità delle parcelle da trattare e riempite con calma per mezzo di metodi tradizionali

Si può far ricorso al sistema ombelicale fisso od al sistema ombelicale semovente. Il primo è costituito da un vero e proprio impianto di irrigazione fisso con tubazioni interrate ed è anche impiegato, con un utilizzo secondario, per la distribuzione dei liquami tramite il medesimo gettone usato per irrigare. Si tratta comunque di una soluzione poco diffusa.

Il secondo sistema, sempre più utilizzato perché richiede meno opere permanenti, è impiegato ugualmente in irrigazione ma può essere utilizzato esclusivamente come impianto per la distribuzione dei liquami. I rotoloni semoventi verranno trattati più in dettaglio proprio per il crescente interesse da essi suscitato. In questa categoria si devono annoverare anche i sistemi ombelicali a manichetta con tubazione non rigida avvolgibili su carrelli simili ai rotoloni (Sangiorgi F., 2000).

I sistemi ombelicali semoventi sono schematicamente costituiti da un carrello con un tamburo avvolgente circolare che trascina una tubazione flessibile la quale, alla sua estremità, monta un secondo carrello dove è disposto il sistema di spandimento vero e proprio. Tutto il sistema (Figura 3.23) è composto da una serie di attrezzature che possono essere posizionate anche a notevole distanza

fra loro e che a monte comprende solitamente un sistema di separazione dei solidi.



**Figura 3.23** – Utilizzazione di un sistema di tubazioni per lo spandimento del liquame situato oltre 2-10 km la vasca di stoccaggio. 1 – pompa agitatrice, 2 – trasporto su strada, 3 – vasca di appoggio, 4 – pompa, 5 – rotolone, 6 – tubo di alimentazione, 7 – tubo di spandimento, 8 – distribuzione.

### ***Pompa agitatrice***

La ripresa del liquame nella vasca con l'aiuto di un trituratore è un'operazione essenziale per qualsiasi sistema di distribuzione. Le pompe agitatrici sono di vario tipo che possono essere combinate con il sistema di irrigazione. A monte può essere previsto un qualsiasi trattamento di separazione o altro, cosa che agevola tutto il sistema.

### ***Il trasporto***

Quando la distanza tra la vasca e il luogo di distribuzione è maggiore di 2 km, bisogna ricorrere ai carrobotte di capacità comprese tra 12 a 24 e oltre m<sup>3</sup>.

### ***La vasca d'appoggio***

Nei cantieri dove è impossibile pompare il liquame dalla fossa principale, occorre inserire una vasca d'appoggio. Di costruzione artigianale, la riserva contiene da 40 a 120 m<sup>3</sup> e prevede la sua mobilità per il trasferimento da un

cantiere all'altro. La capacità raccomandata è di 91 m<sup>3</sup> per ottimizzare la distribuzione e ridurre i tempi morti. Per evitare depositi di solidi sul fondo della vasca occorre svuotarla ogni stagione o dotarsi di un miscelatore azionato da trattore.

### ***Pompa stazionaria***

E' azionata da un motore diesel a punto fisso o carrellato e/o dal trattore. Le portate oscillano da 50 a oltre 200 m<sup>3</sup>/h. La presenza di un operatore per coordinare lo spandimento è consigliata. All'arresto del sistema occorrono valvole antiriflusso per evitare che le tubazioni si svuotino. Oltre a tale valvola, dovrà essere prevista una valvola di sovrappressione che faccia andare il sistema in bypass scaricando il liquame nel punto di prelievo, nel momento in cui non viene distribuito, come ad esempio durante le svolte di fine campo. La caratteristica peculiare della pompa è che è di tipo centrifugo a girante aperta, e nel caso di liquame tal quale, può essere previsto un sistema di triturazione del materiale prima dell'entrata nella pompa. Al termine dell'utilizzo con liquame, l'impianto, è bene effettuare un lavaggio dell'intera tubazione con acqua, per cui, in sede di progettazione, è bene prevedere la possibilità di un approvvigionamento idrico nei pressi della pompa. Altra avvertenza facoltativa, è la dotazione dell'impianto di un compressore per svuotare le tubazione al termine dell'utilizzazione. La manutenzione prevede il rimpiazzo dei giunti della pompa ogni 2 anni e la pulizia, nonché il controllo dell'usura delle palette della girante durante il rimessaggio.

### ***Aspo avvolgi tubo equipaggiato con tubo collassabile*** (Figura 3.24)

Questa attrezzatura è costituita da un aspo a bobina collegato ad una trattoria agricola attraverso l'attacco a tre punti posteriore, o dove possibile, a quello anteriore. Tale aspo ha la sola funzione di svolgere e bobinare la tubazione e per fare ciò è equipaggiato con un motore idraulico comandato, il quale trae potenza dall'impianto idraulico della trattoria o da una pompa indipendente collegata alla presa di potenza. Il tubo impiegato è in polipropilene in grado di tenere alla pressione interna, ma non la propria struttura nel momento in cui questa viene a mancare. Proprio per questo, prima di essere pompato il materiale, il tubo deve essere completamente svolto. A tale inconveniente, si associano diversi vantaggi, quali, il ridotto ingombro e peso di tubazioni di una certa lunghezza, il costo relativamente contenuto del sistema, la possibilità di accoppiamento con trattorie di ridotta potenza.





**Figura 3.24** - Aspo avvolgi tubo equipaggiato con tubo collassabile.

***Aspo avvolgi tubo equipaggiato con tubo semirigido*** (Figura 3.25)

Nel concetto, tale attrezzatura, è simile alla precedente, ma di dimensioni maggiori e con diverse complicazioni meccaniche. Tutto ciò deriva dalla tipologia di tubazione che deve supportare, in quanto, essendo un tubo semirigido, che quindi mantiene la propria sezione anche in assenza di pressione interna, le dimensioni e i pesi aumentano notevolmente. Il vantaggio sostanziale di tali attrezzature è che in lavoro non deve essere necessariamente svolto completamente. Oltre a ciò, tale macchina è polivalente, in quanto può essere utilizzata anche per l'irrigazione delle colture. Viene collegato alla tubazione di alimentazione attraverso postazioni nei pozzetti e al sistema di distribuzione del trattore, mediante attacco rapido. Il tubo semirigido in PET, può avere un diametro esterno variabile da 90 a 150 mm. Tale tubo deve essere in grado di sopportare lo stiramento dovuto alla stesura sul suolo, per cui frizioni e possibili ostacoli sul terreno. La macchina viene posizionata nei pressi della bocchetta di alimentazione e il tubo viene steso cercando di raggiungere il punto più lontano dell'appezzamento, tenendo in debita considerazione che esso non intralci l'avanzamento del cantiere di distribuzione durante le fasi di lavoro e/o di svoltata. Al termine della parcella di spandimento, attraverso albero cardanico o altro mezzo, viene riavvolta l'intera tubazione e si procede con lo spostamento dell'intera macchina nel punto di lavoro successivo. Al termine dell'intera sessione di spandimento e/o giornata di lavoro, è bene alimentare l'attrezzatura con acqua, con la finalità di lavare l'impianto e prevenire possibili otturazioni o imbrattamenti che possono pregiudicare il successivo corretto utilizzo. La lunghezza del tubo può arrivare anche a 600 metri, facendo sì che la superficie dominabile da una singola postazione possa essere anche dell'ordine di 15-16 ettari.



Figura 3.25 – Aspo avvolgitubo con tubo semirigido (rotolone).

### ***Tubazione di alimentazione***

Le tubazioni di alimentazione sono identificabili in due tipologie di materiale plastico, il polietilene e il PVC. Il primo ha un costo lievemente più basso rispetto al secondo, ma una metodologia e quindi un costo di posa maggiore. Infatti esso è comunemente commercializzato in barre di 6 o 12 metri e ogni barra viene unita alla successiva mediante giunti saldati per fusione. Questo implica l'apposizione di piastre riscaldate elettricamente o di giunti elettrificati, che inducono il surriscaldamento della plastica e la fusione fra le parti. Tale operazione, oltre ad impiegare materiale e attrezzature di un certo costo, implica la presenza in campo di energia elettrica, che però può essere fornita agevolmente da gruppi elettrogeni mobili. Il PVC, anch'esso viene comunemente fornito in barre di 6 o 12 metri, ha un costo più elevato rispetto al precedente, ma la posa in opera è più agevole, in quanto, ogni singola verga termina con un giunto "a bicchiere" provvisto di guarnizione, per cui la giunzione fra i tubi continui avviene per inserimento maschio/femmina. I diametri sono variabili a seconda delle distanze da percorrere, delle pressioni da mantenere e delle portate desiderate, esse possono andare dai 2" fino anche a 10-12". In riferimento a questo, nel calcolo delle sezioni del tubo, bisogna tenere in considerazione che le misure sono sempre riferite al diametro esterno. Tale precisazione è utile per definire una ulteriore differenza fra i due materiali, in quanto il polietilene, a parità di diametro esterno, ha sempre uno spessore maggiore rispetto al PVC, per cui la sezione interna utile per il deflusso è minore.

### **Il sistema di spandimento** (Figura 3.26)

Il sistema di spandimento deve avere alcune caratteristiche essenziali: prima fra tutte garantire una distribuzione omogenea sull'intera superficie trattata e limitare le emissioni maleodoranti e di ammoniaca, effettuando una corretta distribuzione sottosuperficiale. Per fare questo, possono venire impiegate diverse attrezzature comunemente utilizzate nella lavorazione del suolo, opportunamente modificate per la distribuzione del liquame. Esse possono essere coltivatori ad ancore profonde, per la lavorazione primaria, coltivatori medi per l'affinamento del suolo, fino ad arrivare a dischi o altro che effettuano la preparazione del letto di semina. Altre soluzioni come tubi adduttori che effettuano la distribuzione rasoterra, possono essere opportunamente impiegate nella distribuzione su prato stabile o colture in fase erbacea. Comunque, indipendentemente dal sistema di distribuzione, tali macchine devono presentare, una bocchetta di aggancio al tubo di alimentazione, un tubo rigido con giunto pivotante, un sistema di omogeneizzazione e ripartizione del flusso, una serie di tubi adduttori che convogliano il materiale verso i punti di fuoriuscita al suolo. Caratteristica peculiare è a carico del tubo pivotante, in quanto deve avere almeno 180° di libertà in orizzontale, esso ha la funzione di evitare strozzature e/o impedimenti durante le fasi di svoltata.

Utile è la presenza di una valvola on/off a comando idraulico, per evitare di distribuire prodotto durante le fasi di manovra e/o fermo macchina. Importante sarebbe anche l'installazione di un flussometro che permetta di controllare in tempo reale la quantità distribuita. Tali attrezzature, per la loro semplicità costruttiva, hanno bassa necessità di manutenzione, tranne l'ordinaria usura degli organi lavoranti e l'effettuazione di un lavaggio delle tubazioni, con acqua, per evitare il ristagno di liquame nei periodi di inattività. La tipologia di effluente da utilizzare non dovrebbe essere troppo denso (< 8% di s.s) per evitare intasamenti.





**Figura 3.26** – Sistema di distribuzione interrata del liquame con tubazione.

### **Fertirrigazione**

La tecnica della fertirrigazione prevede la distribuzione contemporanea all'irrigazione di prodotti fertilizzanti. Il liquame, opportunamente trattato, è una fonte di concime e di molta acqua, per cui si presta ad essere distribuito mediante questa tecnica. Essa prevede l'utilizzo di impianti pre-esistenti o ex-novo costruiti ad hoc. Il sistema di pompaggio, preleva l'effluente da un hub intermedio, o direttamente dalla vasca di stoccaggio aziendale, e previo trattamento, attraverso tubature e valvole di smistamento, immette nella linea di irrigazione il liquame. Le linee di irrigazione utilizzabili, possono essere impianti a portata medio – bassa con manichette diverse, oppure sistemi di irrigazione ranger o pivot (Figura 3.27).



**Figura 3.27** - Fertirrigazione con impianto ad ala mobile.

**Tabella 3.3** – Schema riassuntivo delle caratteristiche e proprietà dei sistemi di trasporto del refluo liquido.

	Serbatoio in pressione	Serbatoio a pressione atmosferica	Senza serbatoio (sistema ombelicale)	Irrigatore
Sostanza organica	>12%	>12%	>8%	>1-3%
Pre-trattamenti	NO	NO (pompa centrifuga) SI (pompa a lobi)	NO (pompa centrifuga) SI (pompa a lobi)	SI
Capacità di lavoro	⇒⇒⇒	⇒⇒	⇒⇒⇒⇒⇒	⇒⇒
Accuratezza di applicazione della dose		(pompa centrifuga)     (pompa a lobi)	(pompa centrifuga)     (pompa a lobi)	
Compattamento	▽▽▽▽	▽▽▽	▽▽	▽
Costi	Ù	Ù (pompa centrifuga) ÙÙ (pompa a lobi)	ÙÙÙ	ÙÙ
Fabbisogno di manodopera				
Commenti	Versatile	Miglior precisione, più manutenzione	Danni alle colture e alle tubazioni	Operazione semi-automatica, inquinante

### 3.2.4 La fase di distribuzione in campo

La scelta delle tecniche di distribuzione deve seguire differenti approcci in relazione al fatto che la coltura sia presente (prato o in copertura) o meno (terreno nudo) durante l'applicazione stessa (Huismans, 2003).

Nel primo caso, anche se la presenza della vegetazione ostacola sempre la distribuzione, l'applicazione rasoterra e l'incorporazione sottosuperficiale sono considerate buone tecniche di distribuzione dal momento che riducono le emissioni e allargano il periodo di distribuzione anche in epoche primaverili ed estive.

In assenza di coltura, l'aspetto fondamentale è l'incorporazione che può essere differita dalla distribuzione e abbinata con le lavorazioni del terreno, oppure effettuata in contemporanea attraverso la distribuzione sottosuperficiale o l'iniezione profonda.

#### **Spandimento superficiale**

I sistemi ad alta pressione comprendono gli irrigatori e i carribotte con piatto deviatore.

L'irrigatore ad alta pressione funziona ad elevate pressioni di esercizio e gittate che possono superare i 60 m. Per questo le considerevoli perdite sono dovute alla ridotta dimensione delle gocce prodotte e al tempo di permanenza di queste a contatto con l'atmosfera. Sebbene non sia richiesto il transito

sull'appezzamento, l'uniformità di distribuzione è limitata e la tecnica non è considerata tra le migliori disponibili.

Il liquame fuoriesce dal serbatoio, lateralmente o posteriormente, tramite un orifizio di dimensione variabile e può impattare su una definita superficie, oppure uscire liberamente a "bocca libera".

Nel primo caso il refluo dopo aver impattato su una superficie piana, si suddivide in getti, lame e gocce che raggiungono la superficie del terreno percorrendo una traiettoria variabile in funzione della pressione di esercizio e delle modalità di regolazione del sistema stesso. A tale gruppo di attrezzature appartengono il piatto deviatore, gli ugelli oscillanti e i piatti deviatori oscillanti. In particolare, i piatti deviatori possono essere, a seconda dell'angolo esistente tra la bocca d'uscita e la superficie su cui si infrange il getto, ad inclinazione fissa o ad inclinazione regolabile. Modulando l'inclinazione si varia la larghezza e l'altezza di gittata e anche l'uniformità di distribuzione.

Nel secondo caso il liquame è libero di uscire dall'orifizio (diametro compreso tra 30 e 300 mm) e la sua sezione determina la gittata di distribuzione. Gli ugelli con diametro minore sono montati su speciali getti irrigatori caratterizzati da gittate di 50 m e oltre. In questa categoria è da annoverare un metodo sbrigativo di distribuzione che viene comunemente definito "gomito". Esso consiste nell'installare una semplice tubazione, di diametro variabile, diritta o curva, di poche decine di centimetri che smaltisce il liquame in un unico getto continuo sul suolo.

Le attrezzature di distribuzione con singolo erogatore si caratterizzano soprattutto per il loro basso costo, l'elevata affidabilità e il ridotto ingombro e manutenzione che richiedono; in linea generale, per avere una adeguata larghezza di lavoro, determinano, rispetto ad attrezzature con più erogatori spazati, una maggiore esposizione all'aria del liquame.

Il carrobotte con piatto deviatore (Figure 3.28) è caratterizzato da una insufficiente uniformità di distribuzione trasversale e da elevata polverizzazione del getto (Chambers et al., 2001).

Nemmeno il suo uso rientra tra le pratiche di spandimento migliori: Infatti si evidenziano perdite oscillanti dal 14 fino a oltre l'80% dell'azoto ammoniacale distribuito, parte delle quali, in condizioni ambientali sfavorevoli, per evaporazione diretta (Sharpe e Harper, 1997).

Irrigatori e carribotte operanti con ridotte pressioni di esercizio possono essere considerati tecniche compatibili purché producano grosse gocce e abbiano limitata gittata. Per compensare alla bassa larghezza di lavoro, una valida applicazione prevede l'uso di due piatti deviatori (carribotte) o una barra di distribuzione (irrigatori): in questo caso il sistema può essere utilizzato anche in copertura per i cereali autunno-vernini e, con le dovute precauzioni, nelle colture a semina primaverile (European Commission, 2003).



**Figura 3.28** – A destra, distribuzione di liquame con piatto deviatore, a sinistra, particolare.

### **Spandimento rasoterra in banda**

Lo spandimento rasoterra prevede che il liquido venga posizionato direttamente in prossimità del terreno attraverso barre di elevata larghezza di lavoro, provviste di tubi adduttori flessibili. L'assetto tipico è relativo a barre della larghezza di 12 m con tubazioni distanziate di 30 cm (Figura 3.29).

L'erogazione del liquame avviene in prossimità del terreno con limitata o nulla polverizzazione dello stesso. Tale soluzione operativa consente di applicare il liquame su tutta la superficie o di localizzarlo su una parte di essa (distribuzione in banda).

Nel primo caso, nella parte inferiore di ogni tubo distributore, è presente un piccolo deflettore o piatto deviatore, che permette di aumentare la superficie di terreno interessata dalla distribuzione del singolo tubo con una leggera sovrapposizione dei getti di due tubi contigui. Nel secondo caso, il liquame fuoriesce direttamente da orifizi oppure da una serie di tubi flessibili. Questa è una soluzione che può essere impiegata, nelle colture seminate a file, anche per concimazioni di copertura. Infatti, essa consente la localizzazione del liquame nell'interfila, evitando il contatto diretto del liquame con la vegetazione.

Rispetto allo spandimento superficiale si consegue un migliore utilizzo degli elementi nutritivi, una riduzione della contaminazione della parte aerea della coltura e la possibilità di distribuzione, oltre che su terreno non coltivato, anche tra le file o su colture in atto.

I sistemi che prevedono la localizzazione superficiale in banda riducono le emissioni dal 40 al 60% rispetto lo spandimento superficiale (Balsari e Gioelli, 2003; Smith et al., 2000).





**Figura 3.29** - Distribuzione rasoterra in banda con barra di grande larghezza di lavoro.

### **Incorporazione differita del liquame distribuito**

Si dovrebbe applicare quando non è possibile intervenire con altre tecniche che prevedano l'interramento contemporaneo alla distribuzione.

Su terreno non coltivato l'interramento contemporaneo o differito di qualche ora è il sistema più efficace per limitare la volatilizzazione (anche fino al 96% rispetto alla distribuzione superficiale) (Balsari e Gioielli, 2003), ma difficoltosa risulta la sua applicazione in terreni secchi o ricchi di scheletro (Aroso et al., 2001).

L'incorporazione del liquame si realizza entro 4 ore dall'intervento (European Commission, 2003) con attrezzature che provvedano al completo rivoltamento degli strati e quindi con aratri a versoio o erpici a dischi (Figura 3.30).

Premesso che non sono idonee attrezzature a denti che lasciano in superficie una certa frazione di refluo, alcune precauzioni riguardano la profondità di interrimento del liquame cui è legata la scelta del tipo di aratro. E' chiaro che occorre trovare un giusto compromesso tra l'esigenza di interrare tutto il distribuito con il fabbisogno in potenza e in trazione richieste al trattore. Con dosi relativamente ridotte si deve mantenere superficiale la lavorazione per non diluire troppo la sostanza organica lungo il profilo del terreno, utilizzando aratri polivomeri superficiali, mentre, con quantità unitarie più elevate, si dovrebbe aumentare progressivamente la profondità che comunque non deve essere superiore a 30-35 cm. Inoltre le condizioni di lavoro in questo frangente favoriscono gli slittamenti e tendono a ridurre l'aderenza delle ruote motrici.

Nel caso dell'incorporazione differita l'effetto del tempo che intercorre tra i due interventi è importante in considerazione del fatto che il picco di maggior volatilizzazione del gas è circoscritto nelle prime ore dallo spandimento.



**Figura 3.30** – Incorporazione del liquame con aratro superficiale lavorante a 15 cm di profondità.

### **Spandimento rasoterra in banda con deflettore**

Le attrezzature hanno la stessa configurazione di quelle per la distribuzione in banda (larghezza massima di 8 m) con in aggiunta un deflettore posto nella parte distale del tubo adduttore che permette di depositare il liquame sotto la coltura e sopra il suolo, senza contaminazioni della parte aerea (Figura 3.31). Questa tecnica è applicabile su prati e cereali autunno-vernini la cui la vegetazione abbia un'altezza minima di 8 cm: il deflettore sposta lateralmente gli steli e le foglie che, dopo il rilascio del liquame, ritornano nella posizione iniziale. La banda del liquido viene quindi coperta dalla vegetazione che funge da protezione contro i fenomeni ambientali che favoriscono la volatilizzazione (Chadwick e Laws, 2002).

Oltre all'effetto vegetazione, sembra che le minori perdite siano anche dovute all'assorbimento del gas da parte delle foglie (Aroso et al., 2001) e dello ione ammonio per opera delle radici.



**Figura 3.31** – Particolare dello spandimento rasoterra con deflettori.

### **Spandimento sotto-superficiale a solco aperto**

Il liquame viene depositato in un solco creato da utensili di vario tipo che in genere lavorano a profondità non superiori a 5-6 cm. Gli assolcatori, a lama o a disco singolo o doppio, spazati di 20-40 cm, incidono il terreno e lasciano aperto un profilo che viene poi riempito dal liquame. Questo tipo di distribuzione è adatto per prati con sviluppo non eccessivo (Figura 3.32) e cereali autunno-vernini (Figura 3.33) (Chadwick e Laws, 2002; Chen et al., 2001).

Lo spandimento sottosuperficiale viene effettuato per mezzo di un dispositivo che deposita il liquame direttamente appena al di sotto della superficie del terreno. E' utilizzabile con coltura in atto, essenzialmente su prati, anche quando la vegetazione si trova in fase di sviluppo; il liquame viene interrato direttamente al fine di ridurre il danno arrecato alla cuticola erbosa. Sono impiegati particolari elementi distributori, schematicamente costituiti da: una serie di dischi folli, che operano tagli verticali della cuticola e la conseguente apertura di solchi e tubi adduttori, che permettono la distribuzione del liquame all'interno degli stessi. Possono essere annessi anche uno o due elementi costipatori, assimilabili a dei rulli, che richiudono il solco subito dopo l'iniezione del liquame. Questa soluzione è particolarmente indicata per la concimazione organica dei prati per i quali risulta della massima importanza evitare il contatto diretto del liquame con la vegetazione. Questo contatto, infatti, oltre a poter provocare un danneggiamento delle piante, determina una riduzione della loro appetibilità, e l'insorgere di forme fermentative indesiderate qualora ne sia previsto l'insilamento (Balsari P. Airoidi G., 1995). Tale tecnica, che consente anche una notevole riduzione di emissione di odori sgradevoli, risulta vantaggiosamente impiegabile soprattutto in terreni permeabili, meno in quelli pesanti, nei quali è più difficile ottenere una sufficiente chiusura del solco e minore è la permeabilità del suolo.

Oltre a ridurre ulteriormente l'entità delle perdite di ammoniaca e non provocare contaminazioni con la parte epigea della pianta, viene ridotto il rischio di scorrimenti superficiali, ma occorre determinare con attenzione le dosi in modo che il liquame non tracimi dal solco appena creato. In altre parole la quantità distribuita è correlata con la profondità di lavoro e il numero di utensili a disposizione. Inoltre, visto anche la minor larghezza di lavoro (fino a 6 m) e la maggior complessità dell'operazione di distribuzione che interessa anche una minima lavorazione del terreno, la tecnica è più onerosa della precedente dal punto di vista energetico ed economico.

Interessante risulta anche la possibilità di utilizzazione di questo sistema di distribuzione in concomitanza con la semina delle colture. Tale operazione che consente di localizzare gli elementi organici direttamente in prossimità del seme, è resa possibile grazie a particolari tipi di seminatrici.





**Figura 3.32** - Barra con interratori a disco a solco aperto su prato(a destra) e suo effetto(a sinistra).



**Figura 3.33** – Distribuzione del liquame a solco aperto, in copertura su sorgo.

### **Spandimento sotto-superficiale a solco chiuso**

Il liquame viene iniettato ad una profondità massima di 15 cm in un solco creato da denti o dischi e successivamente coperto da dischi o rulli a valle dell'iniettore (Figura 3.34). La finalità è quella di ricoprire totalmente il liquame in modo da ridurre al minimo le emissioni e gli odori; in queste condizioni il sistema infatti è più efficiente del precedente nel contenimento della volatilizzazione. Oltre a ridurre le perdite di ammoniaca fino all'80-90%, l'interramento superficiale non sembra essere influenzato troppo dai fattori climatici.

Consente, invece, un aumento della quantità di prodotto distribuibile senza che si verifichino volatilizzazioni, perché maggiori sono la profondità di lavoro e la sezione lavorata. A questo proposito, utensili con alette larghe (a zampa d'oca) sebbene richiedano maggiore potenza di un'ancora diritta a parità di profondità,



possono operare a minore profondità e garantiscono meglio la copertura del liquame (Rahman et al., 2002; Chen e Tessier, 2001; Chen, 2002)

Lo spazio fra le ancore, fattore anch'esso condizionante la dose distribuita, dipende dalle modalità di applicazione della tecnica che può essere ugualmente valida su terreno nudo, con distanze tra ancore oscillanti tra 25 e 35 cm, come su colture sarchiate, interasse da 45 a 100 cm .

Dal momento che le ancore o i coltivatori muovono il terreno, la distribuzione eseguita in questa maniera può essere considerata come una lavorazione ridotta del terreno di tipo conservativo. Per le colture che se ne avvantaggiano, questo significa una drastica riduzione dei costi sia in termini di lavorazioni del terreno che in termini di concimazione (Figura 3.35).

La concimazione organica in copertura su colture sarchiate realizzata con utensili distributori a denti o con alette amplia il periodo di distribuzione, aumenta l'efficienza del fertilizzante e riduce le perdite nell'ambiente. Le attrezzature in grado di portare a termine questa operazione devono rispondere anche a requisiti di leggerezza e manovrabilità (Figura 3.36).



**Figura 3.34** - Attrezzatura per la distribuzione interrata mediante ancore superficiali.



**Figura 3.35** - Oltre alla barra ad ancore superficiali, possono essere proposte diverse soluzioni di coltivatori leggeri che oltre a distribuire il liquame, operino anche una lavorazione superficiale del terreno.



**Figura 3.36** - Anche la distribuzione in copertura a colture sarchiate, è una valida soluzione per distribuire il fertilizzante nel momento agronomicamente ottimale per la coltura.



**Figura 3.37** - Soluzioni per la distribuzione sottosuperficiale possono anche essere fra le più diversificate, come la macchina che localizza il liquame attraverso una serie di iniettori che si conficcano nel terreno e rilasciano una certa quantità di prodotto.

### **Iniezione profonda**

L'iniezione profonda viene realizzata con ancore a profondità maggiori di 30 cm, seguite da tubi adduttori che depositano elevate quantità di liquame. Le ancore spaziate da 25 a oltre 50 cm, in funzione della profondità di lavoro, sono spesso dotate di utensili a zampa d'oca o altri accessori atti ad aumentare la sezione lavorata e quindi ad ospitare una maggior quantità di prodotto (Figura 3.38).

L'abbattimento delle perdite di ammoniaca è rilevante, paragonabile a quello ottenuto con l'incorporazione sottosuperficiale, ma alcuni inconvenienti ne sconsigliano l'uso. Tra questi la bassa capacità di lavoro, l'elevata spesa energetica richiesta per la trazione, difficoltà di operare in suoli compatti e ricchi di scheletro, diffuso compattamento del terreno, perdite di azoto per lisciviazione dei nitrati e scarsa utilizzazione da parte delle radici delle piante coltivate.





Figura 3.38 - Attrezzatura per la distribuzione profonda.

### 3.3 Considerazioni sulle diverse soluzioni per la distribuzione di effluenti liquidi

Il liquame può essere applicato in superficie o incorporato nel terreno mediante l'impiego di appositi organi interratori; nel primo caso, a seconda della modalità di distribuzione che si adotta, si hanno generalmente problemi di volatilizzazione dell'ammoniaca e delle particelle più leggere, con conseguenti cattivi odori e perdite di azoto, oltre ad avere una distribuzione non sempre omogenea del prodotto lungo il fronte di lavoro: in particolare il sistema di distribuzione a getto è causa di eccessiva polverizzazione del liquido, mentre l'applicazione a spaglio comporta una distribuzione di liquame tanto più disomogenea quanto più il terreno presenta una superficie irregolare (es. terreno lavorato).

Le tecniche adottabili come le migliori disponibili sono quelle che prevedono l'interramento del refluo contemporaneo alla distribuzione, a bassa profondità, ma completo. In alternativa occorre utilizzare sistemi di spandimento superficiale che limitino al massimo la polverizzazione del liquido e il contatto con l'atmosfera (spandimento rasoterra in banda o superficiale a bassa pressione) seguito, in stretta sequenza, dall'incorporazione con aratri polivomeri superficiali ad ampia larghezza di lavoro. In questo caso però il periodo utile di distribuzione viene ridotto drasticamente nei soli momenti concessi dalla rotazione agraria in cui il terreno è privo di coltura.

Sono da evitare, per motivazioni opposte, i sistemi di distribuzione ad alta pressione per gli elevati rischi di volatilizzazione, e l'iniezione profonda che causa perdite di azoto per lisciviazione.

Il sistema di spandimento sottosuperficiale a solco chiuso si presta, oltre che su terreno non coltivato, anche all'utilizzazione su colture sarchiate, contribuendo all'aumento del periodo utile per la distribuzione in campo nel periodo primaverile estivo. La distribuzione su terreno non lavorato funge anche da minima lavorazione conservativa e alcune realizzazioni prevedono la localizzazione del liquame contemporaneo con la semina su sodo; la distribuzione in copertura, frazionando gli interventi, aumenta l'efficienza delle colture nei riguardi dell'azoto con minori perdite per lisciviazione (Fezzi et al., 2007).

Per le colture prative i sistemi migliori dal punto di vista ambientale sono lo spandimento in banda con deflettore o sottosuperficiale a solco aperto. In questo caso il numero degli interventi e l'entità della dose saranno tarati in funzione dello sviluppo vegetativo e delle caratteristiche operative dell'attrezzatura (larghezza di lavoro, numero di assolcatori, profondità di lavoro).

In Italia si sono sviluppati sistemi di interrimento del liquame poco razionali perchè collocano il prodotto ad elevate profondità (30-40 cm) con attrezzature munite posteriormente di ancore di elevate dimensioni. Questo può favorire la lisciviazione in presenza di terreni sciolti e annate particolarmente piovose e comporta l'accoppiamento a trattatrici di elevata potenza per erogare forze di trazione di oltre 1.000 daN per metro di larghezza di lavoro (Bechis e Piccarolo, 1994), con elevati consumi di gasolio. Inoltre il passaggio di queste macchine sul terreno agrario porta spesso al danneggiamento anche irreversibile del suolo sia in superficie che in profondità anche a causa della ridotta larghezza di lavoro.

Comunque i benefici derivanti dall'interrimento del liquame (Sorensen e Amato, 2002; Tanaglio e Ligabue, 1998) e la tendenza a mettere in atto cantieri di lavoro che razionalizzano gli sforzi di trazione (Rahman e Chen, 2001) hanno motivato il tentativo di interrare il liquame in superficie (10-15 cm) eventualmente con coltura in atto, al fine di poter distribuire i reflui zootecnici in un periodo più ampio e con efficacia confrontabile a quella dei comuni fertilizzanti di sintesi (Balsari et. al., 2002), cercando allo stesso tempo di contenere l'impatto sulle risorse naturali (Chen e Tessier, 2001; Chen e Ren, 2002) e razionalizzare anche dal punto di vista economico la distribuzione. La recente introduzione nel mercato italiano di attrezzature semoventi ha creato l'esigenza di procedere alla valutazione di queste macchine anche negli ambienti veneti.

**Tabella 3.4** – Applicabilità delle tecniche di spandimento dei reflui sulla base delle normative vigenti (European Commission, 2003) ed entità del fenomeno della volatilizzazione di ammoniaca. L'intervallo dei valori si riferisce alle condizioni esterne rispettivamente inibenti e favorevoli al fenomeno.

Metodo di distribuzione	Emissioni (% sull'N ammoniacale) (*)	Momento d'intervento			
		presemina, terreno non coltivato	copertura		
			sarchiate	cereali	prato
Spargimento superficiale ad alta pressione con carrobotte	14-100 (**) 10-40 (***)	sconsigliato	sconsigliato	sconsigliato	sconsigliato
Spargimento superficiale ad alta pressione con irrigatore	60-100 (**) 30-50 (***)	sconsigliato	sconsigliato	sconsigliato	sconsigliato
Spargimento superficiale a bassa pressione	55-100 (**) 30-50 (***)	possibile	possibile	possibile	possibile
Spargimento rasoterra in banda	25-45 (**) 10-25 (***)	consigliato	consigliato	consigliato	consigliato
Spargimento rasoterra in banda con deflettore	10-35			consigliato	consigliato
Spargimento sottosuperficiale con dischi (a solco aperto)	18-22			consigliato	consigliato
Spargimento sottosuperficiale con zappette (a solco chiuso)	10-18	consigliato	consigliato		
Iniezione profonda	8-15	sconsigliato			sconsigliato

(\*) Range di valori in funzione delle condizioni climatiche e delle caratteristiche del refluo

(\*\*) Senza incorporazione

(\*\*\*) Con incorporazione differita a 4 ore dal trattamento

## 4. DISTRIBUZIONE VARIABILE DEI REFLUI

Le deiezioni animali, più che un sottoprodotto da smaltire, devono essere considerate un importante fertilizzante naturale e, con la stessa attenzione dei fertilizzanti chimici, trattate durante la distribuzione. Per contro possono inquinare l'ambiente se utilizzate in modo non appropriato, ad esempio con distribuzioni superficiali con i quali viene perso gran parte dell'azoto ammoniacale.

In quest'ottica la gestione "precisa" dei liquami rappresenta una ottima soluzione dal momento che l'obiettivo da perseguire è quello di distribuire il fluido secondo i fabbisogni agronomici usando il liquame come un fertilizzante, senza impatti sull'atmosfera e sulla falda.

La gestione sito-specifica dei reflui zootecnici (liquidi o solidi) non è una pratica comune, nemmeno nei paesi più progrediti in questo settore, soprattutto per la grandissima variabilità indotta nel materiale dalle modalità di produzione, trattamento e stoccaggio. Una distribuzione variabile di un prodotto variabile in un suolo variabile sembra essere un compito piuttosto difficile. Tuttavia alcune soluzioni sono prospettate.

### 4.1 Definizione e finalità dell'agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione ha come concetto fondamentale l'apporto puntiforme dei diversi fattori colturali, tenendo in considerazione la variabilità locale delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del terreno. La variabilità spaziale delle caratteristiche del suolo è quindi il requisito fondamentale per poter adottare una gestione del sistema agricolo di questo tipo, non solo, ma da questo aspetto deriva la necessità di riuscire a mettere in risalto le eventuali differenze tra diverse aree dello stesso appezzamento.

Agricoltura di precisione si può definire anche come quella forma di agricoltura che aumenta il numero di decisioni corrette per unità di area e per unità di tempo che conseguano evidenti benefici (McBratney et al., 2005). In altre parole fornisce gli strumenti per fare la cosa giusta, sul posto giusto e al momento giusto.

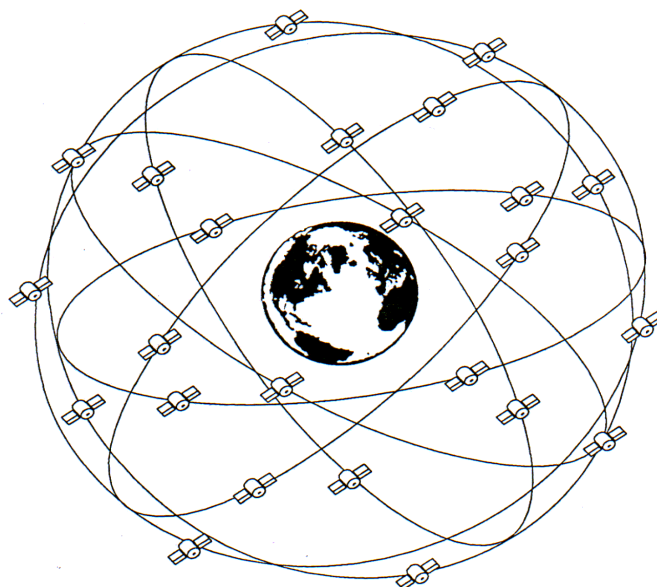
La definizione non fa riferimenti specifici a qualche particolare tecnologia. Le tecnologie sono affidabili e ampiamente utilizzate, specie quelle legate all'informatica e all'informazione, ma alla fine le decisioni devono essere prese dalle persone umane.

### 4.2 I sistemi di posizionamento e navigazione satellitare

Uno degli aspetti che hanno influenzato in maniera determinante lo sviluppo e la diffusione dell'Agricoltura di Precisione è stato la possibilità di impiegare in agricoltura i ricevitori satellitari per la navigazione ed il posizionamento all'interno dell'appezzamento (GNSS – Global Navigation Satellite Systems), così da poter riferire i dati raccolti e gli interventi da eseguire a delle posizioni univoche ed individuabili all'interno di questo stesso.

### 4.2.1 Il sistema NAVSTAR-GPS

Il sistema di posizionamento maggiormente conosciuto ed utilizzato ai fini dell'Agricoltura di Precisione è dato dal sistema di navigazione e posizionamento globale americano NAVSTAR-GPS (*Navigation System Time and Ranging Global Positioning System*), meglio conosciuto come GPS (Figura 4.1). Esso è stato creato e reso operativo a partire dalla fine degli anni '70, con il lancio nello spazio del primo satellite nel 1978 da parte del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, al quale ne compete il controllo, anche se l'utilizzo civile di tale sistema è stato consentito solamente a partire dal 27 aprile 1995. Tale sistema consiste in un insieme di 24 satelliti che orbitano a 20.180 km attorno alla superficie terrestre e compiono un giro completo attorno ad essa circa ogni 12 ore (11 ore e 58 minuti). Essi sono suddivisi in 6 percorsi orbitali (4 satelliti per ciascun percorso), inclinati di  $55^\circ$  sull'equatore, matematicamente definiti e conosciuti, così da garantire che almeno 4 satelliti siano potenzialmente ricevibili per 24 ore da un ricevitore posizionato in un qualsiasi punto della superficie terrestre (Figura 4.1). Ciascun satellite, identificato dal numero di veicolo spaziale (SVN), è equipaggiato di orologi atomici, dispositivi alimentati ad energia solare ed in grado di misurare il tempo con elevatissima precisione, sulla base delle oscillazioni periodiche naturali dell'atomo presente all'interno del meccanismo. In ogni satellite sono presenti 2 orologi al cesio e 2 al rubidio, per assicurare che almeno uno di essi sia sempre funzionante. Gli orologi misurano il tempo sulla base della scala temporale universale messa a punto per gli orologi atomici dal Bureau International de l'Heure de Paris, esprimendolo nel sistema in adozione all'Osservatorio Navale degli Stati Uniti.



**Figura 4.1** - Rappresentazione schematica del sistema di posizionamento e navigazione satellitare NAVSTAR-GPS, riportante le differenti orbite dei 24 satelliti in rotazione attorno alla superficie terrestre.

Il funzionamento e la precisione degli orologi infatti rappresenta un elemento critico del sistema, in quanto sta alla base dell'utilizzo dei satelliti per la determinazione della posizione e la navigazione.



All'interno di ogni satellite inoltre è presente un emettitore di onde radio, le quali vengono trasmesse di continuo ad una frequenza variabile da 1200 a 1500 MHz (milioni di cicli per secondo) e viaggiano attraverso l'atmosfera terrestre ad una velocità di poco inferiore a quella della luce nel vuoto (300.000 km/s). Tale dispositivo di emissione è in grado anche di funzionare da ricevitore, così da captare i segnali provenienti dalle stazioni di controllo a terra.

Anche se l'orbita di ciascun satellite è definita da un modello matematico, la loro traiettoria può subire delle variazioni a seguito di molteplici fattori (asimmetrie del campo gravitazionale terrestre, pressione della radiazione solare, etc.). Di conseguenza esiste una rete di stazioni di monitoraggio a terra da cui vengono misurati gli scostamenti (altezza, posizione e velocità) dell'orbita reale da quella teorica ad ogni passaggio (2 volte al giorno) sopra le stazioni: tali informazioni vengono quindi inviate al satellite in questione che le ritrasmette a ciascun ricevitore mediante il proprio segnale emesso, il quale contiene quindi un'informazione relativa alla misura del tempo, utilizzata per il calcolo della distanza, ed una serie di dati sulla dislocazione relativa di ciascun satellite. Questi ultimi vengono perciò utilizzati per il mantenimento di un'elevata accuratezza nella determinazione della posizione.

L'utilizzo di un ricevitore GPS consente perciò all'utente di captare il segnale emesso dai satelliti visibili sull'orizzonte del ricevitore stesso e di conoscere la propria posizione, la quale viene espressa come coordinate (X, Y, Z) di un sistema cartesiano tridimensionale di riferimento, avente l'origine corrispondente al centro della terra (sistema geocentrico) e conosciuto come WGS84, acronimo di World Geodetic System '84. A tale sistema di riferimento è associato un ellissoide (ellissoide GRS80), avente la stessa origine del sistema cartesiano: le coordinate cartesiane X ed Y fornite dal sistema GPS possono perciò essere convertite in coordinate geografiche (latitudine e longitudine) riferite a tale ellissoide.

Dal punto di vista dell'Agricoltura di Precisione, la possibilità di poter esprimere la posizione di un punto qualsiasi dell'appezzamento come coppia di coordinate geografiche e di associare ad esso una o più informazioni relative all'appezzamento (es. caratteristica del terreno) o alla coltura (es. dato di resa) ha costituito un radicale cambiamento per la gestione delle pratiche agricole, in quanto ha consentito di registrare la variabilità presente all'interno dell'appezzamento (es. livello di resa), codificandola ed esprimendola in un formato geografico all'interno di un sistema di riferimento: in questo modo è stato cioè possibile individuare la variabilità spaziale esistente a carico di un determinato parametro ed individuarne la manifestazione all'interno delle singole parti dell'appezzamento, con una accuratezza differente a seconda dello strumento utilizzato e delle operazioni interessate, comunque in linea generale variabile da qualche decina di metri (es. campionamento del terreno) a qualche centimetro (es. navigazione semi-automatica dei mezzi agricoli). Mentre nel primo caso il dato utilizzato è quello direttamente fornito dal ricevitore satellitare, la possibilità di disporre di dati di posizionamento aventi una accuratezza compresa tra 50 cm e 2 cm si accompagna alla necessità di disporre della correzione differenziale del dato grezzo, per la quale è possibile ricevere il dato da apposite compagnie (es. OMNISTAR, LANDSTAR, etc.) in grado di fornire tali servizi in cambio del pagamento di una canone annuo, oppure di utilizzare una stazione base (base station) in loco con cui incrementare l'accuratezza del dato fornito dal ricevitore satellitare. Un importante cambiamento relativo a tale aspetto si è avuto

a partire dal 2006-2007, a seguito della possibilità di sfruttare gratuitamente il segnale fornito dal sistema di posizionamento e navigazione satellitare europeo, realizzato nell'ambito del progetto Galileo e meglio conosciuto come EGNOS.

### 3.2.2. Il sistema di correzione differenziale europeo (EGNOS)

*EGNOS*, acronimo di *European Geostationary Navigation Overlay Service*, è la versione europea dei sistemi americano *WAAS*<sup>5</sup>, utilizzabile negli USA per l'Agricoltura di Precisione (Sullivan et al., 2001), e mediorientale (*MSAS*), sviluppata dall'Agenzia Spaziale Europea, la quale integra i sistemi di navigazione americano (*GPS*) e russo (*GLONASS*) già esistenti. Il sistema, nella sua soluzione definitiva, si basa sull'integrazione di tre elementi:

- una rete di tre satelliti geo-stazionari, tra i quali un satellite (AOR) per la copertura del continente europeo ed un satellite (IOR) per la copertura del continente asiatico;
- una rete terrestre di stazioni di elaborazione dei dati relativi ai ritardi del segnale emesso dai satelliti del sistema GPS a causa della ionizzazione dell'atmosfera, distribuite sul territorio europeo: ciascuna stazione elabora l'errore sulla base di procedure differenziali per la propria zona di competenza;
- una rete di stazioni centrali a terra che raccolgono i dati elaborati dalle precedenti.

I fattori di correzione così elaborati vengono inviati ai satelliti del sistema per essere ritrasmessi ad un qualsiasi ricevitore a terra utilizzando la frequenza di trasmissione L1 del sistema *GPS*.

Il ricevitore, appositamente predisposto, grazie ad uno speciale software in grado di elaborare i dati ricevuti, selezionando i fattori di correzione dei punti a terra ad esso più vicini ed utilizzandoli per la correzione dei segnali ricevuti, con una precisione nella determinazione della posizione che oggi risulta variabile nel range di 2÷3 metri.

Ad oggi il sistema è in fase di messa a punto con una parte dei satelliti già in orbita ed è sottoposto ai test di validazione, che terminerà nel 2014 con il sistema completo e pienamente operativo; di conseguenza esso non è attualmente in grado di garantire la stabilità del servizio, mentre negli intervalli di tempo in cui esso è attivo la copertura delle regioni europee è eseguita quasi esclusivamente (90% dei casi) dal satellite IOR, il quale si trova basso all'orizzonte di un ricevitore utilizzato nelle nostre zone, con una conseguente cattiva ricezione del segnale.

Nel momento in cui il sistema risulterà operativo a tutti gli effetti, esso conterà di 30 satelliti in orbita (27 operativi e 3 di riserva), stazionati su tre orbite terrestri ad un'altezza di 23.222 km e con un'inclinazione di 56° rispetto

<sup>5</sup> *WAAS* è l'acronimo di *Wide-Area Augmentation System*, messo a punto dall'Amministrazione Federale dell'Aviazione statunitense per motivi di sicurezza, al fine di applicare i concetti della navigazione satellitare agli aerei in transito nei cieli degli USA. Esso consiste nell'integrazione del già esistente *GPS*, di cui viene fornita gratuitamente la correzione del segnale, con una accuratezza nella determinazione della posizione confrontabile con quella ottenibile con il sistema di correzione differenziale già esistente, tanto da poter essere utilizzata in Agricoltura di Precisione.

all'equatore, mentre il funzionamento del satellite destinato alla copertura delle regioni europee consentirà di aumentare la precisione del dato di posizione.

In questo modo, EGNOS si inserisce in maniera perfettamente complementare nei sistemi dedicati alla navigazione globale già esistenti, consentendo l'integrazione dei segnali ed il loro utilizzo senza necessità di correzione differenziale: nel caso della navigazione all'interno dell'appezzamento l'utilizzo del sistema EGNOS infatti porta ad una differenza significativa tra la traiettoria attesa e quella reale (Stuevel, 2003 a), ma è comunque in grado di garantire una precisione superiore a quella del dato privo di correzione (Stuevel, 2003 b) e questo può rappresentare un importante fattore ai fini della diffusione delle soluzioni tecnologiche previste dall'Agricoltura di Precisione e basate sull'utilizzo di un ricevitore satellitare.

### **4.3 La variabilità**

Il presupposto fondamentale che giustifica, dal punto di vista tecnico ed economico, il ricorso ai principi, i sistemi e le tecnologie proprie all'Agricoltura di Precisione è la presenza di variabilità all'interno dell'appezzamento, la quale deve necessariamente risultare gestibile in maniera differenziata. Analizzando tale aspetto con una maggiore precisione, è necessario che la variabilità riscontrabile all'interno dell'appezzamento sia dotata di una propria struttura spaziale e si manifesti ad intensità gestibile dal punto di vista tecnico, così da trovare una giustificazione dal punto di vista economico: nel caso dei parametri del suolo ad esempio, la resistenza alla penetrazione del terreno si caratterizza per una variabilità spaziale molto accentuata, addirittura inferiore a pochi centimetri (Clark, 1996), e ciò rende molto difficoltosa l'individuazione di zone in cui essa risulti variabile in un range di valori contenuto così da poter eseguire un intervento ad intensità differente rispetto alle regioni adiacenti, mentre per quanto riguarda l'intensità della variabilità è intuibile come la convenienza all'adozione di strategie ad intensità variabile nella gestione delle tecniche colturali sia tanto maggiore quanto più apprezzabili e marcate sono le differenze a carico di un dato parametro all'interno dell'appezzamento (Pringle et al., 2003).

Per quanto riguarda la variabilità misurata all'interno dell'appezzamento inoltre, come nel caso specifico della resa, essa è la risultante di una componente spaziale (Nielsen et al., 1999) e di una componente temporale (Stafford, 1999), dal momento che gli stessi fattori che costituiscono dei limiti all'espressione della massima produttività da parte della coltura assumono un'entità variabile nel tempo (Machado et al., 2000; Machado et al., 2002), oltre ad una componente colturale dovuta alla differente risposta produttiva manifestata da colture diverse all'interno dello stesso appezzamento (Bjarne J. and H. Steffen, 2003).

#### **4.3.1 La variabilità spaziale**

Per variabilità spaziale di un determinato parametro si intende la sua attitudine a manifestarsi con intensità differente nello spazio, discostandosi in maniera più o meno accentuata dal valore medio misurabile all'interno dell'appezzamento. L'aspetto principale che distingue i differenti parametri e che consente di caratterizzarne la modalità con la quale si manifestano nelle diverse aree del campo è quindi la dipendenza spaziale dei valori da essi assunti. Come

accade ad esempio con le proprietà del suolo, i cui valori possono risultare più o meno intensamente dipendenti dal punto di vista spaziale, con la conseguenza che non solo risulta variabile anche la stessa influenza che essi possono esercitare a carico della resa, in quanto fattori limitanti l'espressione della massima produttività della coltura, ma la stessa capacità di interpretare e rappresentare tale variabilità varia in funzione della dipendenza spaziale di quest'ultima e quindi della struttura spaziale che caratterizza il parametro in questione (Gupta et al., 1997).

### **4.3.2 La variabilità temporale**

La variabilità temporale rilevata a carico di un determinato parametro (es. resa della coltura) si riferisce all'attitudine dello stesso ad assumere un'intensità differente nel tempo in corrispondenza dello stesso punto all'interno dell'appezzamento. In particolare, si possono individuare due componenti a carico della variabilità temporale di un dato parametro:

- **variabilità temporale a carico del medesimo punto del campo riscontrabile nel corso della stessa annata:** in questo caso il parametro in esame tende a manifestare un'intensità differente nel corso del tempo, sulla base delle condizioni ambientali e delle interazioni con gli altri fattori presenti, come può accadere ad esempio per il contenuto di acqua disponibile per la coltura nel corso del ciclo colturale, parametro che risulta variabile all'interno dell'appezzamento a seconda dell'andamento stagionale (Timlin, 1998; Cassel et al., 2000);

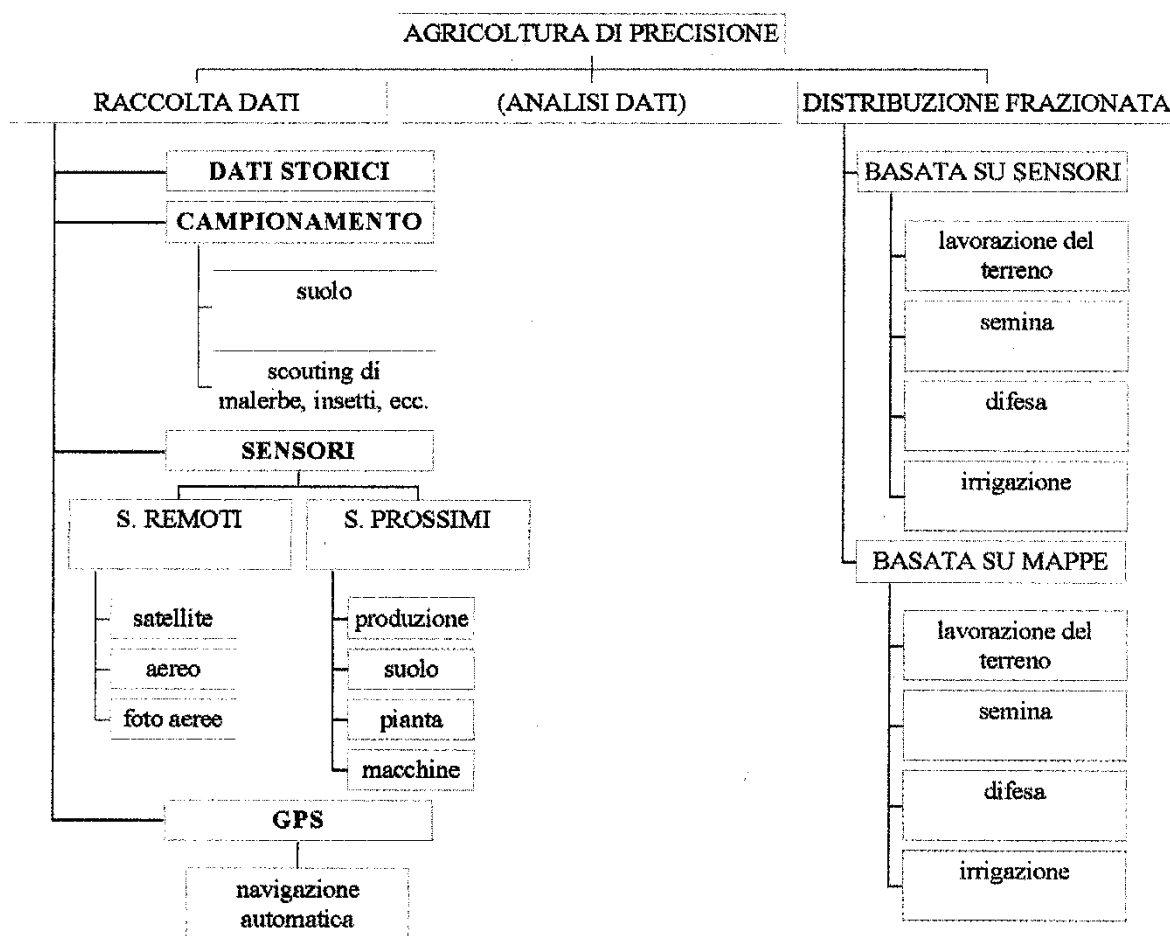
- **variabilità temporale riscontrabile nel corso di annate differenti** (intesa come varianza temporale): in questo caso il parametro in questione manifesta la tendenza a variare nel tempo in corrispondenza dello stesso punto, indipendentemente dall'eventuale variazione subita nel corso della singola stagione colturale. Il caso della resa ad esempio, la quale può assumere valori differenti in corrispondenza di una stessa zona del campo nel corso degli anni, pur manifestando per tale zona una produttività maggiore rispetto a quelle adiacenti (Blackmore et al., 2003).

### **4.3.3 La stabilità temporale della variabilità spaziale**

Sulla base di quanto esposto quindi, l'obiettivo principale dello studio della variabilità presente all'interno dell'appezzamento è quello di caratterizzarne non solo la struttura spaziale e l'intensità con la quale si manifesta, ma anche di individuarne la stabilità temporale nel corso degli anni, al fine di poter individuare delle zone omogenee in grado di assumere le stesse caratteristiche nel corso del tempo, dal momento che la possibilità di sfruttare al meglio la potenziale variabilità presente all'interno dell'appezzamento in sede di applicazioni a dosaggio variabile si realizza soprattutto per le zone del campo in cui sia riscontrabile un'elevata stabilità temporale a carico della variabilità spaziale (Pierce and Novak, 1999).

#### 4.4 Le fasi dell'Agricoltura di Precisione

Una volta raccolti e georeferenziati i dati all'interno del campo, da essi è quindi possibile ricavare ed elaborare le informazioni necessarie alla comprensione delle cause che hanno limitato la coltura nell'esprimere la massima produttività potenziale nel corso del ciclo colturale, fino ad arrivare alla pianificazione degli interventi mirati ed eseguiti ad intensità variabile. A tal proposito quindi il reperimento dei dati, intesi come semplice osservazione oggettiva di un fenomeno da cui estrapolare poi le informazioni, ossia i rapporti relazionali di causa-effetto, svolge un ruolo chiave ai fini dell'elaborazione delle informazioni necessarie alla messa a punto delle strategie agronomiche successive, con la possibilità di strutturare l'Agricoltura di Precisione complessivamente in tre fasi, come riportato schematicamente in seguito (Figura 4.2).



**Figura 4.2** - Rappresentazione schematica delle principali fasi costituenti l'Agricoltura di Precisione e delle soluzioni percorribili all'interno di ognuna di esse (Sartori e Rizzo, 1999).

##### 4.4.1 Raccolta dati

Il reperimento dei dati relativi alla variabilità dei parametri riscontrabili all'interno dell'appezzamento rappresenta una fase generalmente molto onerosa dell'intero processo, ma costituisce un aspetto fondamentale in quanto consente di caratterizzare con certezza l'azienda, definendone i fattori sui quali concentrare le risorse nella successiva fase decisionale. Tra le tecniche maggiormente impiegate

per l'acquisizione di dati sulla variabilità in campo la mappatura delle produzioni rappresenta di sicuro quella più diffusa per il reperimento di informazioni relative alla resa, sostenuta dall'elevato livello tecnologico delle moderne macchine operatrici impiegate nella raccolta, accanto alla possibilità di utilizzare le foto aeree o le immagini da satellite, le quali vengono utilizzate più facilmente nel caso delle colture da reddito come gli arborei. Nel caso specifico delle proprietà del terreno invece, le tecniche che sono state messe a punto, sono molto numerose e rivolte in linea generale all'acquisizione in real-time di un numero limitato di dati da cui poter ricavare informazioni relative alle molteplici caratteristiche del suolo (es. rilevazione della capacità dielettrica da cui risalire indirettamente anche alla tessitura, al pH ed all'umidità del terreno) (Godwin and Miller, 2003; Adamchuk et al., 2004).

#### 4.4.2 Mappatura delle produzioni

La mappatura delle produzioni consiste nell'impiego di appositi sensori (sensori di flusso, umidità, densità, velocità, posizionamento, etc.) in dotazione alle mietitrebbiatrici per la determinazione del livello di resa ottenuto per i singoli punti dell'appezzamento (Figura 4.3), con un margine di errore relativo ridotto (4-5%), il quale può essere mantenuto su livelli accettabili anche grazie all'adozione di procedure per la corretta acquisizione e gestione dei dati grezzi in campo (Bertocco et al., 2004) ed all'impiego di apposite tecniche per la loro conseguente fase di filtraggio e correzione (Han et al., 1997; Beck et al., 2001; Han et al., 2004), essendo i dati stessi affetti da errori ed imprecisioni intrinseci al sistema di mappatura (Blackmore and Marshall, 1996; Whelan and McBratney, 1997). Tra le motivazioni che hanno portato ad una sua relativa rapida diffusione hanno rivestito un ruolo di notevole rilievo sia l'importanza rivestita dalla resa per l'azienda, in quanto indicatore finale del processo di produzione messo in atto, sia il livello tecnologico delle macchine operatrici impiegate nella raccolta, in alcuni casi ormai equipaggiate di serie dei sistemi per la mappatura delle produzioni.



**Figura 4.3** - Esempio di mietitrebbiatrice equipaggiata con un sistema per la mappatura delle produzioni.



### 4.4.3 Campionamento del terreno

L'indagine condotta mediante il campionamento del terreno consente di ottenere informazioni sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dello stesso, al fine di esaminarne l'eventuale variabilità spaziale riscontrabile all'interno dell'appezzamento. A tal proposito, l'accuratezza con la quale viene rappresentata la variabilità risulta in parte essere direttamente proporzionale al numero di prelievi eseguiti, anche se ciò comporta la necessità di ponderare la risoluzione spaziale del dettaglio esaminato con la richiesta di risorse per l'esecuzione dei prelievi, sia in termini di tempo dedicato che di costo per l'analisi delle singole proprietà indagate: se è vero infatti che il costo del campionamento deve in qualche modo essere ottimizzato, è anche vero che l'indagine basata sull'esecuzione di pochissimi prelievi per ettaro è utile per evidenziare le differenze macroscopiche (Domsch et al., 2002) ma non consente l'analisi della variabilità effettiva esistente a carico del suolo. Sulla base di tali considerazioni, la metodologia seguita per l'esecuzione del campionamento delle proprietà del suolo, soprattutto per quanto riguarda il numero di campioni necessari ad una rappresentazione attendibile della variabilità spaziale e la loro dislocazione all'interno dell'appezzamento, ha subito profonde revisioni nel corso degli anni, a seguito anche dell'incremento di conoscenze specifiche sulle caratteristiche delle singole proprietà del suolo (McBratney and Pringle, 1999). In particolare, gli aspetti principali che devono essere tenuti in debita considerazione riguardano la dislocazione dei singoli punti in cui eseguire il prelievo del terreno e lo schema da seguire all'interno dell'appezzamento. Dallo schema classico a maglia o griglia regolare, che prevede il prelievo del terreno in corrispondenza di punti a distanza definita e costante, si è infatti passati ad uno schema più irregolare, spesso definito casuale, in quanto il numero di prelievi che lo schema classico comporta risulta oneroso in termini economici (Mohamed et al., 1996) ma soprattutto può non essere estremamente necessario in presenza di proprietà con una buona struttura spaziale. Nel caso dello schema casuale però, tale metodica, consistente inizialmente nel posizionare a caso mediante l'aiuto di appositi algoritmi il numero di campioni all'interno dell'appezzamento. Facendo così, però, si può correre il rischio che questi si concentrino in aree dell'appezzamento che poi risultano essere meno interessanti di altre, magari parzialmente scoperte dalla maglia di punti così definita (Castrignanò, 1997). La casualità con cui si decidono i punti e in cui eseguire il campionamento va perciò intesa in senso ragionato, in opposizione allo schema classico, ma basata sulla preliminare caratterizzazione dell'appezzamento, al fine di individuare eventuali zone in cui concentrare le indagini. Sulla base delle relazioni dimostrate tra la struttura spaziale della resa e la variabilità spaziale del suolo (Kaspar et al., 2003; Jiang and Thelen, 2004; Bing and Farrell, 2004), pur non essendo queste in grado di spiegare in maniera sempre esaustiva la variabilità riscontrabile a carico del livello produttivo (Sudduth et al., 1996; Mallarino et al., 1999), l'indicatore che più facilmente può essere utilizzato per indirizzare il campionamento risulta essere la produzione ottenuta nelle annate precedenti (Van Alphen e Stoorvogel, 1998), così da poter mirare l'indagine alla conoscenza di quelli possono essere stati dei fattori limitanti per la produttività della coltura. A tal proposito, la possibilità di poter georeferenziare i siti in cui è stato prelevato il campione rappresenta uno strumento di fondamentale importanza in quanto sulla base dell'identificazione di ciascun punto all'interno dell'appezzamento mediante una coppia di coordinate geografiche cui associare l'osservazione della variabile esaminata è poi possibile risalire all'entità della

stessa variabile tra punti vicini non campionati, mentre un aspetto di cruciale rilevanza in proposito è rappresentata dalla distanza tra i siti campionati. Poiché la possibilità di stimare mediante apposite tecniche (es. interpolazione, etc.) i valori non campionati consente di risalire alla struttura spaziale della variabile è infatti importante che i punti campionati si trovino a distanze variabili, così che le stesse informazioni rilevate siano in grado di assecondare la struttura spaziale della proprietà esaminata, ed a tale scopo la soluzione più semplice è che i differenti siti di campionamento si trovino dislocati a distanza progressiva su vettori immaginari orientati in ogni direzione, così da evitare che i dati siano influenzati dalla direzione con cui si procede al prelievo dei campioni stessi.

Infine, l'ultimo aspetto che riguarda il campionamento del terreno eseguito allo scopo dell'analisi della variabilità è l'intensità con cui eseguire i prelievi, sia in termini di numerosità di campioni in corrispondenza di ciascun vettore, che di frequenza temporale. A tal proposito la problematica risulta essere notevolmente complessa, e comunque variabile a seconda della proprietà del suolo investigata. Infatti, l'intensità di prelievi è funzione della variabilità del parametro, in quanto a fronte di proprietà del suolo aventi una forte struttura spaziale, quali l'argilla, i cui valori rilevati in un punto risentono dell'influenza dei punti vicini su distanze medio grandi, altre variabili, quali ad esempio il contenuto di composti azotati (Cahn et al., 1994) o la resistenza del terreno alla penetrazione (Clark, 1996) risultano dotate di una grande variabilità all'interno dell'appezzamento, probabilmente a seguito della loro mobilità come nel caso dei nutrienti o della variabilità delle cause che concorrono alla determinazione del valore assunto in un determinato punto dell'appezzamento.

Il campionamento del terreno, sulla base di quanto detto, rappresenta perciò uno strumento di fondamentale importanza per la conoscenza e la gestione della variabilità presente all'interno dell'appezzamento, il cui utilizzo però va ponderato sulla base della possibile integrazione con altri strumenti di diversa natura ed efficacia (es. immagini da satellite, metodi indiretti o di analisi multiple, etc.) e dell'investimento di risorse richiesto, mentre all'interno del sistema "agricoltura di precisione" dovrebbe necessariamente collocarsi di seguito alla mappatura delle rese, al fine di poterne massimizzare l'efficacia d'esecuzione.

#### **4.4.4 Elaborazione dei dati raccolti**

Se la possibilità di ottenere i dati grezzi dall'appezzamento (es. resa, proprietà del terreno, etc.) oggi dal punto di vista della fattibilità non rappresenta più una seria problematica per l'azienda, molto più complicata risulta invece la loro interpretazione e la conseguente estrapolazione delle informazioni, a seguito dell'interazione a carico dei valori monitorati tra la varianza temporale e la variabilità spaziale. L'elaborazione dei dati deve essere principalmente mirata all'individuazione della variabilità eventualmente presente in campo e nella conseguente interpretazione della struttura spaziale delle variabili investigate all'interno dell'appezzamento, così da poter non solo individuare le cause che hanno maggiormente limitato o favorito l'estrinsecarsi della potenziale produttività della coltura, ma soprattutto definire le zone omogenee al cui interno poter adottare interventi colturali ad intensità variabile. In tale fase rivestono un ruolo di fondamentale importanza alcuni strumenti molto utili nell'interpretazione della

variabilità a partire dai dati raccolti in campo, quali la geostatistica, i sistemi informativi geografici ed i modelli di simulazione.

### Geostatistica

La geostatistica è la disciplina che prende in considerazione la variabilità esistente a carico delle caratteristiche del suolo, e si basa sul principio in base al quale osservazioni vicine all'interno dell'appezzamento hanno una maggiore probabilità di essere simili rispetto a quanto non accada con osservazioni lontane tra loro (Castrignanò, 1997), con la possibilità di costruire una mappa raffigurante la variabilità spaziale del parametro esaminato.

In particolare, la geostatistica prende in considerazione le osservazioni eseguite all'interno dell'appezzamento ed espresse come coppia di coordinate geografiche (X,Y) cui è associata la variabile in esame, ed utilizza il fatto che i punti siano georeferenziati per la costruzione dei semi-variogrammi, ossia la rappresentazione grafica della varianza media dei punti campionati separati dalla stessa distanza nello spazio, in accordo con la seguente relazione:

$$y(h) = \frac{1}{N(h)} \sum (z_i - z_{i+h})^2$$

dove:

**y(h)** = semivarianza per classi di intervallo h;

**h** = intervallo di distanza tra le classi;

**z<sub>j</sub>** = valore campionato nel punto di coordinate (est; nord)<sub>j</sub>;

**z<sub>j+h</sub>** = valore campionato nel punto di coordinate (est; nord)<sub>j+h</sub>;

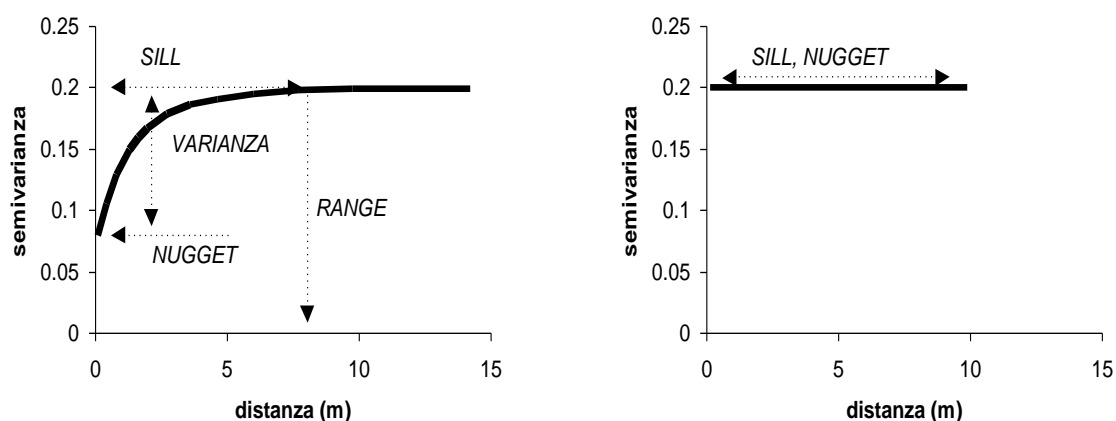
**N(h)** = coppie di valori complessivi per intervallo di ampiezza h.

con la quale, data una popolazione qualsiasi di punti georeferenziati e separati da distanze variabili gli uni dagli altri, è possibile suddividerli in classi di distanza, confrontando la distanza assoluta tra due punti oggetto d'esame – **D<sub>i</sub>** – e l'ampiezza dell'intervallo di classe – **h** – fornito all'inizio dell'analisi, in base alla relazione **classe = [D<sub>i</sub>/h + 1]**, ed all'interno di ciascuna classe di punti calcolare la varianza. L'espressione della varianza così calcolata in funzione della ampiezza progressiva delle classi di distanza consente perciò di ottenere il semi-variogramma, il quale può assumere andamenti anche molto differenti tra loro (Figura 4.4), pur rimanendo valido il principio in base al quale i parametri che caratterizzano il semi-variogramma possono essere utilizzati per la comprensione della struttura spaziale della variabile, come di seguito riportato per i casi generali:

- il **nugget (C<sub>o</sub>)**: graficamente rappresenta l'intercetta della curva con l'asse Y, ossia l'entità del rumore di fondo (noise) avutosi in fase di campionamento e legato sia alle condizioni operative che all'accuratezza del campionamento; esso rappresenta la quota di varianza che non può essere spiegata;

- il **sill** ( $C_0+C$ ): graficamente rappresenta l'intercetta dell'asintoto della curva con l'asse Y, ossia il valore massimo di varianza ottenuto per la classe di distanza in esame e rappresenta la quota di varianza che può avere una motivazione spaziale;
- il **range** ( $A_0$ ): graficamente rappresenta l'ascissa in prossimità della quale la curva assume un andamento asintotico, ossia la distanza all'interno della quale le singole osservazioni risultano influenzate dal valore assunto dalle osservazioni vicine, mentre per i valori che si trovano oltre il valore del range non è possibile fornire alcuna spiegazione sulla struttura spaziale dei dati.

In particolare, mentre ad esempio un andamento di tipo sferico si riferisce ad un modello con il quale è possibile dare una spiegazione della struttura spaziale dei dati all'interno del range, nel caso del modello lineare ciò non è possibile, in quanto all'aumentare della distanza tra i punti aumentano anche i valori delle osservazioni, e questo ha un'importanza fondamentale in quanto mentre nel primo caso, conosciuto il range si può adeguare il campionamento in modo tale che due punti campionati distino tra loro al massimo di un valore pari al range stesso, in questo caso non è possibile adeguare il campionamento per conoscere la struttura spaziale tra le osservazioni.



**Figura 4.4** - Esempio di semi-variogramma, per il quale il modello in grado di spiegarne l'andamento in funzione della distanza è rispettivamente di tipo sferico (a sinistra) e lineare (a destra).

La spiegazione della variabilità spaziale attraverso la semi-varianza è un passaggio fondamentale perché consente l'utilizzo di differenti tecniche di interpolazione (es. kriging, inverse weighted distance, etc.) con le quali è possibile utilizzare i valori assunti da osservazioni vicine per la stima dei valori assunti dal parametro nello spazio tra esse comprese, rappresentando poi il tutto graficamente mediante delle mappe in cui a colori differenti corrispondono zone in cui la variabile varia all'interno di uno stesso intervallo predefinito.

### **Sistemi Informativi Geografici (GIS, Geographic Informative Systems)**

L'impiego di sistemi GIS in Agricoltura di Precisione è molto importante in quanto consente di stoccarne e gestirne una mole di dati anche molto consistente, al fine di eseguire le elaborazioni necessarie e visualizzare poi i risultati in formato grafico in maniera georeferenziata, ossia nello spazio, cosa che non è possibile con gli strumenti classici di analisi data la difficoltà di gestire un numero di dati così elevato e di integrare dati diversi nello spazio e differiti nel tempo (Earl et al., 2000; Neményi et al., 2003). La potenzialità dei sistemi di questo tipo infatti è proprio quella di gestire i dati abbinando alle osservazioni le coordinate di riferimento, in modo da poterle sempre riferire alla posizione occupata nello spazio e quindi, nel caso specifico, alle differenti aree dell'appezzamento. Tali strumenti si strutturano come un sistema integrato e complesso, il cui elemento fondamentale è dato da un database, o base di dati, di tipo relazionale, a cui si associano poi le varie funzioni di analisi ed elaborazione e la possibilità di visualizzare graficamente i dati. Nel caso della gestione variabile di un appezzamento, tali modelli consentono di sovrapporre informazioni differenti riferite alla stessa area, facilitando la comprensione delle relazioni esistenti a loro carico nella parte di appezzamento in esame (Basso et al., 2004).

### **Modelli di simulazione**

Un modello di simulazione è uno strumento in grado di simulare le singole fasi costituenti un fenomeno, quale la crescita e lo sviluppo di una singola pianta, sulla base di una serie di informazioni che nel caso degli strumenti impiegati nell'Agricoltura di Precisione si possono suddividere in informazioni relative al suolo (es. limiti idraulici, tessitura, densità volumica, etc.), alla coltura (es., coefficienti genetici relativi alle varie fasi sviluppo della pianta), alle condizioni climatiche (es., piovosità, temperatura, etc.) ed alle pratiche colturali messe in atto nel corso del ciclo colturale. In questo modo è perciò possibile tenere in considerazione ed analizzare le molteplici relazioni spaziali e temporali esistenti a carico delle variabili che all'interno del campo limitano l'estrinsecarsi della potenzialità produttiva ottimale della coltura. In tale ottica, i modelli di simulazione della crescita e dello sviluppo delle colture rappresentano un valido strumento conoscitivo ed interpretativo dei processi dinamici legati al movimento dell'acqua e delle risorse nutritive del suolo e della pianta. Tali modelli, integrando funzionalmente le caratteristiche genetiche, le informazioni variabili legate al suolo e i dati climatici storici possono effettivamente simulare i processi di sviluppo e crescita della pianta coltivata. La possibilità di simulare, analizzare e confrontare scenari differenti ha quindi assunto una valenza scientifica indiscutibile nella ricerca, in quanto in questo modo è possibile estendere i risultati ad areali con caratteristiche anche molto differenti rispetto a quelli di riferimento, indipendentemente dalle condizioni iniziali, dalle condizioni climatiche e dalle tecniche colturali adottate, superando i limiti degli studi classici, i cui risultati per quanto importanti rimangono inevitabilmente confinati all'area sperimentale e consentendo di formulare non solo previsioni sui risultati ma anche di pianificare gli interventi agronomici da mettere in atto. I risultati conseguibili con i modelli di simulazione, sia in termini agronomici che ambientali, sono infatti in grado di fornire informazioni utili per individuare strategie di gestione per il conseguimento di un maggior livello di sostenibilità del processo di produzione (Cora et al., 1999; Basso et al., 2001).

#### 4.4.5 Definizione di aree omogenee

La fase di elaborazione dei dati raccolti deve essere finalizzata alla comprensione della variabilità e quindi all'individuazione di zone omogenee all'interno dell'appezzamento, dove per **“zona omogenea”** si intende **“una parte dell'appezzamento in cui i fattori limitanti la resa, dotati di una struttura spaziale, esercitano la loro azione in maniera uniforme e l'intensità della variabilità spaziale sia tale da giustificarne, in termini tecnici ed economici, una gestione differente rispetto alle zone contigue”**. La natura di tale obiettivo viene spesso trascurato in quanto le aziende che si apprestano ad adottare le soluzioni proposte dall'Agricoltura di Precisione hanno delle oggettive difficoltà nel seguire una metodica semplice e nello stesso tempo affidabile per l'individuazione delle aree in cui poter eseguire gli interventi agronomici ad intensità variabile, a partire dall'interpretazione delle stesse mappe di produzione e della variabilità in esse riportata. A tal proposito, sono state proposte alcune soluzioni per l'identificazione delle zone omogenee all'interno dell'appezzamento (Boydell and McBratney, 2002; Zhang and Han, 2002; Blackmore, 2003), le quali si propongono di caratterizzare le singole aree dell'appezzamento non solo in termini di variabilità spaziale ma anche di varianza temporale, al fine di poter definire delle zone omogenee in cui l'espressione dei fattori limitanti la resa abbia una varianza temporale molto bassa. Ciò si accompagna inevitabilmente alla necessità di considerare la variabilità monitorata in differenti annate, soprattutto se si opera con colture differenti, al fine di incrementare l'affidabilità dei dati ottenuti (Joernsgaard and Halmoe, 2003), ed a tal proposito la combinazione di strumenti GIS e modelli di simulazione può risultare un valido aiuto per l'identificazione delle aree da gestire in maniera variabile.

#### 4.4.6 Adozione di interventi ad intensità variabile

Il presupposto per un intervento ad intensità variabile è l'esistenza di una variabilità spaziale e temporale gestibile all'interno dell'appezzamento con soluzioni accessibili dal punto di vista tecnico ed economicamente convenienti, sulla base della distinzione secondo la quale la variabilità a carico di un parametro può essere caratterizzata. (Pringle et al., 2003).

L'adozione di interventi ad intensità variabile consiste nell'attuazione delle diverse pratiche agronomiche ad intensità differente a seconda delle effettive condizioni ed esigenze riscontrate in campo: in particolare si fa riferimento all'applicazione a dosaggio variabile, o VRA (VRA – Variable Rate Application) nel momento in cui si prendono in considerazione un sistema ed una metodologia in grado di consentire l'applicazione di un fattore colturale, mentre si fa riferimento a VRT (VRT – Variable Rate Technology) quando ci si riferisce più in particolare alle tecnologie disponibili con cui poter realizzare l'applicazione a dosaggio variabile.

Dal punto di vista operativo, le soluzioni che si possono adottare per l'esecuzione di interventi ad intensità variabile sono fondamentalmente di due tipi, sostanzialmente differenti tra loro anche se le strumentazioni, i principi ed i sistemi utilizzati sono spesso comuni:

- **VRA basata su mappe:** in questo caso l'entità di prodotto da distribuire viene decisa e variata in fase di applicazione sulla base delle informazioni relative



alle caratteristiche dell'appezzamento contenute nelle mappe di prescrizione. Questo metodo presuppone che esista un sistema di localizzazione della macchina all'interno dell'appezzamento e che per ciascun punto del campo, la cui posizione geografica viene espressa come coppia di coordinate (X, Y), sia disponibile il dato relativo alla quantità di prodotto da distribuire (Figura 4.5 a,b).

- **VRA basata su sensori:** in questo caso vengono utilizzati dei sensori, installati sulla trattrice o direttamente sull'operatrice, che misurano in tempo reale uno specifico parametro, quale ad esempio lo stato nutrizionale della coltura, rilevando in questo modo i dati che poi vengono processati per regolare l'intensità con la quale eseguire l'intervento colturale (es. distribuzione di principi attivi o fertilizzanti).



**Figura 4.5.a** - Esempio di distribuzione azotata a dose variabile in copertura su fumento mediante trattrice equipaggiata con ricevitore di posizione e unità di controllo, abbinata a spandiconcime centrifugo dotato di attuatore elettrico-idraulico.



**Figura 4.5.b** - Esempio di distribuzione azotata a dose variabile in copertura si mais mediante trattrice equipaggiata con ricevitore di posizione e unità di controllo, abbinata a spandiconcime pneumatico dotato di attuatore idraulico.

Tale metodo non richiede necessariamente l'impiego di un ricevitore satellitare per il posizionamento dell'operatrice all'interno dell'appezzamento, ma i dati di posizione possono essere comunque registrati e, opportunamente georeferenziati, al fine della costruzione di mappe per altre utilizzazioni.

#### **4.4.7 Esempi di interventi a dosaggio variabile**

L'aumento delle conoscenze relative allo studio ed all'interpretazione della variabilità presente all'interno dell'appezzamento e lo sviluppo verificatosi nel settore delle tecnologie applicate al settore agricolo (informatica, meccatronica, sensoristica, etc.) consentono oggi di poter eseguire alcuni interventi agronomici ad intensità variabile, con maggiore affidabilità ed accuratezza di quanto potesse avvenire in passato, ipotizzando nello stesso tempo un'estensione di tali sistemi per il controllo e la regolazione dell'intensità con cui si opera in campo anche ad operazioni colturali fino ad oggi meno interessate a tali sviluppi, quali ad esempio la variazione della dose di semina all'interno dell'appezzamento.

L'operazione colturale fino ad oggi più studiata è la concimazione minerale, in quanto da subito la possibilità di variare la dose dei fertilizzanti minerali all'interno dell'appezzamento ha evidenziato la possibilità di contenere i costi di esercizio ma soprattutto di ridurre la pressione esercitata a carico delle risorse naturali, con particolare riferimento nel caso specifico ai rilasci di azoto in falda, imputabili alla lisciviazione dei composti azotati lungo il profilo del terreno. Ciò ha comportato l'approfondimento ormai decennale di tali tematiche e la recente messa a punto di sistemi in grado di consentire l'esecuzione di una concimazione a dosaggio variabile, pur restando ancora da definire con maggior precisione alcune problematiche di carattere operativo, quali le dosi tecnicamente ottimali ed economicamente convenienti da utilizzare, la risoluzione spaziale (es. larghezza di lavoro della macchina v.s. dimensione della zona da trattare in maniera differenziata) e la capacità dei sistemi di rispondere in tempo reale alla variabilità riscontrata in campo (es. ritardo nell'assecondare le informazioni contenute nella mappa di prescrizione).

Se nel caso della concimazione minerale i risultati ottenuti sono incoraggianti, a tal punto da poter prospettare una prossima diffusione dei sistemi, nel caso delle lavorazioni del terreno invece la possibilità di intervenire con tecniche di lavorazione ad intensità variabile è ancora relegata ad una fase sperimentale, anche se è evidente la loro importanza nell'ambito dell'attività agricola per la riduzione dei costi di produzione (es. riduzione del consumo di carburante, aumento della capacità operativa, etc.) e dell'impatto esercitato dalle tecniche di coltivazione sulla fertilità del terreno (es. mineralizzazione della sostanza organica, etc.) e sulle risorse naturali (es. erosione eolica, ruscellamento superficiale, etc.).

#### **4.4.8 Concimazione a dosaggio variabile basata su sensori**

Nel caso dei sensori utilizzati per la distribuzione di fertilizzanti minerali a dosaggio variabile, i più importanti prototipi messi a punto risultano essere basati, direttamente o indirettamente, sulla rilevazione di un parametro relativo allo status della coltura in campo, di cui in seguito sono riportati alcuni esempi significativi.

### **Sensore di riflessione della luce**

Il sistema (Figura 4.6) è costituito dall'insieme di sensori e software che operano in movimento: la quantità ottimale di azoto da distribuire alla coltura viene valutata sulla base dell'analisi del fattore di riflessione della luce della coltura stessa. Il sistema regolerà automaticamente l'attrezzatura per la distribuzione in base alle reali necessità della pianta. L'apparato di rilevamento è posizionato sulla parte superiore della cabina del trattore, in modo tale da permettere una perfetta visuale sulla coltura: i sensori misurano la riflessione della luce effettuata dalla coltura stessa da quattro differenti angolazioni andando a coprire così una superficie di circa 50 m<sup>2</sup> (Margotti, 2000). La quantità di luce riflessa dipende sia dal contenuto di clorofilla delle foglie, che dal LAI: entrambi i parametri sono direttamente influenzati dalla dotazione azotata delle piante (Heege, 2002). E' inoltre presente un altro sensore per la misurazione dell'intensità della luce, al fine di tenere in considerazione il grado di copertura e la radiazione incidente in pieno campo.

I dati raccolti vengono inviati all'unità centrale di elaborazione (all'interno della cabina del trattore) che li traduce in quantità ottimale di azoto da distribuire. A questo punto un apposito dispositivo regola l'effettiva distribuzione di fertilizzante (Margotti, 2000), con la possibilità di distribuire un quantitativo di azoto per ettaro tale da soddisfare le effettive richieste dalla coltura (Balsari, 2000).



**Figura 4.6** - Sistema per la distribuzione a dosaggio variabile dell'azoto basato sulla presenza di un sensore di riflessione della luce da parte della coltura.

### **Sensore di fluorescenza**

Si basa sulla registrazione della luce fluorescente emessa dalle piante, la quale è normalmente un indicatore dell'efficienza energetica associata con i processi fotosintetici: quanto più il processo fotosintetico è inefficiente tanto maggiore è la quota di luce fluorescente. E' su questo principio che si basa il funzionamento del sensore, dal momento che un apporto di azoto incrementa la quantità di clorofilla alla foglia e quindi riduce la frazione di luce emessa. Il livello dei picchi di emissione, rientranti nello spettro dell'infrarosso, viene quindi utilizzato per la valutazione della concentrazione di clorofilla e quindi del livello di azoto nelle foglie, con la conseguente regolazione della dose di azoto da distribuire per colmare la deficienza nutrizionale (Heege e Thiessen, 2002).

### **Sensore a pendolo**

Questo sensore è di tipo “meccanico” ed è costituito da un sensore a pendolo posto anteriormente alla trattrice, in prossimità della massa vegetale della coltura. Mano a mano che la trattrice procede all’interno dell’appezzamento, l’angolo che il pendolo forma con il piano verticale subisce delle modifiche a seconda della resistenza che incontra, la quale è proporzionale alla biomassa della coltura. Per via indiretta è quindi possibile risalire alla quantificazione di quest’ultima e regolare mediante curva di calibrazione la dose di fertilizzante da distribuire (Heege e Thiessen, 2002).

### **Problematiche legate all’impiego dei sensori**

A fronte di indiscutibili vantaggi derivanti dall’impiego di dispositivi in grado di assecondare le esigenze della coltura in termini di concimazione azotata, quali la possibilità di essere utilizzati in assenza di mappe di produzione e di ricevitore satellitare, oltre che la possibilità di intervenire in campo con la regolazione della dose da distribuire sulla base di frequenti misurazioni del parametro di riferimento eseguite su una ampia superficie dell’appezzamento, l’impiego di sensori per la variazione della dose “on-the-go” all’interno dell’appezzamento si accompagna a delle problematiche non trascurabili rispetto alla possibilità di ricorrere alla distribuzione di fertilizzante azotato basata su mappe. In particolare, i primi due sistemi descritti (quello basato sulla riflessione della luce e quello basato sulla fluorescenza) non analizzano direttamente la richiesta di azoto ma sfruttano il contenuto di clorofilla come indicatore indiretto della disponibilità di azoto per la pianta. Tale informazione è però soggetta alla variabilità e soprattutto all’influenza anche di altri parametri, quale ad esempio il generale status nutrizionale della pianta (Heege e Thiessen, 2002), con conseguente penalizzazione dell’accuratezza del dato elaborato relativo alla dose da distribuire. Nel caso del sensore a pendolo le problematiche rimangono le medesime, in quanto la quantità di biomassa risente della disponibilità idrica della coltura, la quale può quindi risentire di eventuali situazioni di stress indipendentemente dalla dotazione di azoto del terreno (Ehlert et al., 2003).

#### **4.4.9 Lavorazione ad intensità variabile del terreno**

Nel caso delle lavorazioni del terreno, l’esecuzione di interventi ad intensità variabile, intesa come risultato dell’interazione tra la profondità di lavoro adottata e della tecnica di lavorazione messa in atto all’interno dell’appezzamento, è stata interpretata in maniera differente dai diversi autori, con il risultato che dal punto di vista operativo si possono individuare schematicamente due differenti approcci alla problematica, basati rispettivamente su:

- **la variazione della profondità di lavoro.** In questo la variazione della profondità di lavoro in fase di lavorazione è stata realizzata mediante la costruzione o l’adattamento di singoli prototipi di macchine operatrici muniti di sensori per la misurazione di un parametro del suolo all’interno dello strato interessato dall’intervento agronomico. In particolare, il parametro che più è stato studiato in proposito è la resistenza del terreno alla penetrazione: un primo approccio in proposito è stato realizzato mediante la misurazione di tale parametro per la costruzione della relativa mappa indicante come varia la resistenza alla



penetrazione del terreno per i vari strati del profilo all'interno dell'appezzamento. Sulla base di tali dati è poi possibile creare una vera e propria mappa di prescrizione contenente le informazioni necessarie per la regolazione della profondità di lavoro, che può essere ottenuta mediante un sistema di regolazione e comando delle ancore, nel caso di un coltivatore, costituito da dei martinetti idraulici che consentono il movimento degli organi lavoranti sul piano verticale (Sartori, 2000) (Figura 4.7). Tale soluzione si è accompagnata però ad una serie di inconvenienti di non trascurabile importanza che ne hanno impedito la diffusione, quali fra tutti la necessità di sostenere una dettagliata e dispendiosa fase di campionamento in campo per misurare l'andamento della resistenza alla penetrazione, la quale a sua volta risulta legata a numerose variabili del terreno (es. umidità del suolo, dotazione di sostanza organica, tessitura, etc.), e quindi i valori misurati possono subire delle variazioni nel tempo al variare delle stesse condizioni del terreno (es. l'umidità del suolo ad una certa profondità risulta essere anche molto differente al momento dell'esecuzione delle lavorazioni rispetto ai valori assunti durante il ciclo colturale). Non solo, la stessa attrezzatura da utilizzare può necessitare dell'impiego di trattrici di elevata potenza, al fine di poter sostenere l'aumentata richiesta di forza di trazione all'aumento della profondità di lavoro durante l'esecuzione della stessa lavorazione.



**Figura 4.7** - Esempio di coltivatore combinato equipaggiato per la variazione dell'intensità di lavorazione all'interno dell'appezzamento mediante attuatori di tipo idraulico.

Un'evoluzione in proposito si è ottenuta con l'impiego di un'attrezzatura combinata per la quale la profondità di lavoro è stata variata da un minimo di 10 cm ad un massimo di 25 cm, agendo sul sistema idraulico della trattrice in base a differenti caratteristiche del terreno (es. capacità di infiltrazione, tessitura, contenuto di sostanza organica) inserite in un'equazione complessa per la regolazione della profondità (Voßhenrich and Sommer, 2003). Anche in questo caso però si rende necessaria una dettagliata e costosa indagine sulle caratteristiche del terreno prima dell'esecuzione della stessa lavorazione del terreno, mentre la ridotta profondità di lavoro raggiungibile rappresenta comunque un limite per interventi più energici.

Date le evidenti difficoltà nella misurazione dei parametri del suolo da considerare per la regolazione della profondità di lavorazione, gli studi si sono indirizzati sulla messa a punto di prototipi di coltivatore dotato di alcune celle di carico, montate sulle ancore: sulla base della resistenza alla penetrazione opposta dal terreno, misurata in continuo, la centralina di comando confronta il valore misurato con quello pre-impostato e regola la profondità di lavoro delle ancore (Adamchuk et al., 2003). In questo caso, pur eliminando la fase di campionamento del terreno preliminare, le difficoltà rimangono legate alla scelta del valore di resistenza da utilizzare come limite soglia per decidere se approfondire o meno la lavorazione, soprattutto se si considera la variabilità temporale che tale parametro può manifestare col passare all'interno dell'appezzamento.

- ***l'adozione di differenti sistemi di lavorazione.*** L'obiettivo difficoltà incontrata nella variazione della profondità di lavoro mediante delle macchine operatrici opportunamente modificate si è accompagnata alla considerazione di agire non tanto su singole operazioni (lavorazione primaria) o singole attrezzature (es. coltivatore ad ancore), ma sul sistema di lavorazione complessivo adottato in azienda, in modo da localizzare le diverse tipologie di intervento sulla base delle caratteristiche del terreno rilevate all'interno dell'appezzamento. In sede di lavorazione primaria, un primo esempio potrebbe essere l'esecuzione di un intervento localizzato per la rottura della suola di lavorazione o l'aumento di porosità in presenza di eccessivo compattamento superficiale del suolo (es. ormaie, testate dell'appezzamento) solamente dove fossero riscontrate tali condizioni all'interno del campo. A seguito di tale intervento colturale, potrebbe essere variata l'intensità della preparazione del letto di semina (es. variazione del numero di passate) in funzione del tipo di suolo, della presenza di infestanti o residui in superficie, fino all'adozione di tecniche di lavorazione differenti a seconda delle caratteristiche complessive dell'appezzamento (es. giacitura, andamento climatico stagionale, proprietà del suolo, tipo di coltura, etc.), quali possono essere la lavorazione ridotta in presenza di terreni difficili (es. terreni argillosi) fino al caso limite della semina su sodo per le zone dell'azienda ben drenate ed aventi terreno di medio impasto. In ogni caso, la scelta della tipologia di lavorazione da effettuare dovrebbe interessare solamente le zone dell'appezzamento in cui l'intervento sia ritenuto effettivamente necessario, mentre è in genere auspicata la scelta di pratiche agronomiche ispirate all'agricoltura conservativa, in maniera tale da conciliare gli aspetti economici (convenienza all'adozione della lavorazione) con quelli di natura agronomica ed ambientale (mantenimento dei residui in superficie, riduzione dell'erosione, etc.). Un importante aspetto da considerare in proposito è la possibilità di poter impiegare le attrezzature presenti azienda o comunque facilmente reperibili sul mercato, così da contenere i costi dell'investimento iniziale ed aumentare il reddito ritraibile dal loro impiego (Ginting et al., 2003): mentre nel caso di macchine operatrici in grado di regolare la profondità di lavoro è inevitabilmente necessario il loro acquisto. L'adattamento della tecnica di lavorazione consente di conciliare l'esecuzione dell'intervento ad intensità variabile con la possibilità di sfruttare il parco macchine aziendale, aspetto che spesso può giustificare tali cambiamenti dal punto di vista economico anche in annate difficili (es. siccità, scarsa resa, etc.).



## **4.5 I benefici raggiungibili con l'adozione dell'Agricoltura di Precisione**

L'applicazione delle strategie proprie all'Agricoltura di Precisione può essere considerata come un'opportunità a disposizione degli agricoltori per ottenere benefici economici dall'ottimizzazione degli input e per ridurre la pressione esercitata dai sistemi agricoli sull'ambiente (Vrindts et al., 2003; Ping et al., 2004), pur essendoci delle oggettive difficoltà che ne possono rallentare lo sviluppo e la diffusione. In particolare, rispetto alle forme manageriali improntate all'esecuzione di interventi colturali uniformi all'interno degli appezzamenti, la gestione delle pratiche colturali si può accompagnare a numerosi benefici, i quali possono essere schematizzati in vantaggi di natura economica, dovuta ad una razionalizzazione nell'utilizzo dei diversi fattori colturali, e vantaggi di natura ambientale, connessi con la riduzione dell'impatto negativo esercitato sulle risorse naturali dalle pratiche colturali costituenti il processo di produzione messo in atto dall'azienda agricola.

### **4.5.1 Aspetti economici**

In linea generale, i benefici di natura economica che si possono conseguire dall'attuazione delle strategie messe a punto nell'ambito dell'Agricoltura di Precisione derivano da una generale ottimizzazione degli interventi agronomici ed una razionalizzazione delle pratiche colturali, più che da una riduzione nell'impiego di un singolo fattore colturale, pur essendo questo un aspetto di non trascurabile entità per alcune specifiche pratiche colturali (Godwin et al., 2002 ; Harmel et al., 2004), o dal risparmio conseguito in una specifica pratica agronomica (Bullock and Bullock, 2000). Di conseguenza è difficile giungere ad una monetizzazione di tali risparmi. Sull'entità di quest'ultimi esiste inoltre una certa discrepanza tra le sperimentazioni condotte, a causa sia delle differenze strutturali che si possono avere tra zone (es. differenze in termini di prezzo di fattori produttivi, etc.) sia dell'eventuale mancanza di convenienza riscontrabile per un singolo fattore colturale per il quale si è adottato il dosaggio variabile rispetto ad altri per i quali invece tali strategie possono risultare convenienti (Lowenberg-DeBoer and Swinton, 1997). In generale si possono perciò riscontrare delle differenze in termini economici sia tra quanti ne non giustificano la convenienza all'introduzione in azienda, sia tra quanti sono invece arrivati a quantificare un reale beneficio monetario ritraibile nelle condizioni sperimentali di riferimento a seguito del reperimento dei dati sulla variabilità presente in campo e del loro utilizzo ai fini dell'esecuzione di interventi ad intensità variabile. A tal proposito rivestono comunque un ruolo fondamentale l'intensità con la quale la variabilità del fenomeno in questione si manifesta all'interno dell'appezzamento, essendo la stessa convenienza economica soggetta a variabilità spaziale e temporale (Watkins et al., 1998; Giau, 1999; Bongiovanni and Lowenberg-DeBoer, 2004), e la propensione al rischio dell'imprenditore agricolo (Marra et al., 2003), per il quale possono essere individuate un'attitudine o una repulsione al rischio derivante dall'investimento di risorse richiesto per l'implementazione di un sistema gestionale basato sui principi dell'Agricoltura di Precisione, a sua volta legato oltre che da motivazioni soggettive anche dall'effettiva difficoltà che si può riscontrare nella determinazione accurata della convenienza economica, soprattutto nel breve periodo, in quanto questa richiede un'approfondita analisi dei benefici che si possono ritrarre e degli investimenti che si devono sostenere rispetto ad una gestione uniforme dell'appezzamento, i quali però risultano a loro volta variabili e

di intensità differente nelle diverse aree omogenee definite, oltre che essere legati ad aspetti che generalmente non sono tenuti in considerazione in fase decisionale, come accade per la gestione dei dati (Snyder et al., 1998), i quali richiedono non solo un costo di acquisizione ma anche di gestione ed utilizzo, al pari di un qualsiasi fattore produttivo (Mazzetto e Landonio, 1999; Werner, 2003).

Nel complesso i casi i cui si è dimostrata la convenienza per l'adozione delle metodiche proprie all'Agricoltura di Precisione riguardano soprattutto la concimazione a dosaggio variabile, in quanto la possibilità di contenere l'impiego di fertilizzante è da subito risultata di immediato interesse presso gli operatori del settore, sia a fini gestionali che ambientali, per il quale il beneficio economico è risultato variabile in funzione non solo della superficie aziendale ma anche della complessità e del livello tecnologico del sistema adottato (Schmerler e Basten, 1999), oltre che del livello di preparazione tecnica degli operatori, per la quale la formazione rappresenta un costo, seppur non particolarmente incisivo, per l'azienda ma riveste un'importanza fondamentale ai fini dell'implementazione del sistema nel suo complesso.

#### **4.5.2 Aspetti ambientali**

L'adozione di pratiche sostenibili per il processo di produzione attuato dall'azienda agricola è oggi uno dei più importanti e strategici aspetti per il miglioramento dell'efficienza in agricoltura e la soluzione di alcune problematiche ambientali (Bakhsh et al., 2000). A tal proposito l'adozione di sistemi in grado di consentire l'esecuzione degli interventi colturali ad intensità variabile può rappresentare un'opportunità interessante soprattutto per quelle operazioni per le quali è dimostrata l'esistenza di esternalità negative sulle risorse naturali, quali possono essere appunto le lavorazioni del terreno, la distribuzione di fitofarmaci nella difesa alla coltura e l'impiego di concimi minerali azotati di sintesi. Nel caso delle lavorazioni infatti è noto che l'eccessiva intensità con la quale vengono eseguiti gli interventi colturali può portare ad una mineralizzazione della sostanza organica del terreno e quindi ad una perdita della fertilità, mentre la stessa inversione degli strati, se eseguita in maniera uniforme all'interno dell'appezzamento, si accompagna ad una riduzione dei residui in superficie, con conseguente incremento del rischio che si verifichino fenomeni erosivi, sia di origine eolica, come spesso accade in fase di preparazione del letto di semina, che di natura idrica (Lafren et al., 1978; Dickey et al., 1985; Ginting et al., 1998a; Ginting et al., 1998b).

Nel caso della difesa alla coltura, numerose sono le soluzioni allo studio per poter consentire una riduzione non solo dei quantitativi di prodotto impiegato ma anche delle perdite di prodotto distribuito a causa del mancato raggiungimento del bersaglio da trattare (effetto deriva) (Balsari, 2004), anche se tali soluzioni si accompagnano a complicazioni di carattere costruttivo non trascurabile.

Per quel che riguarda invece l'impiego di fertilizzanti di sintesi, è ormai riconosciuta l'importanza delle perdite di nutrienti in falda, quali fosfati e nitrati, a seguito delle pratiche colturali messe in atto durante il ciclo colturale, con conseguente contaminazione delle acque di falda e superficiali, oltre a trattarsi di fenomeni particolarmente negativi dal punto di vista del bilancio economico dell'azienda agricola, trattandosi di un ingiustificato aggravio dei costi dovuto alla perdita di elementi nutritivi distribuiti in campo per soddisfare le esigenze

nutrizionali della coltura (Godwin et al., 2003). La possibilità di modulare quindi gli interventi colturali sulla base delle esigenze effettivamente riscontrate in campo rappresenta una prospettiva interessante per l'azienda, soprattutto se interpretata come un'opportunità per integrare le soluzioni tecnologiche offerte dal mercato con le tecniche conservative ormai consolidate, e che nel caso specifico della lavorazione del terreno si propongono la non inversione degli strati, il mantenimento dei residui in superficie ed in generale si basano sulla necessità di arrecare al suolo il minore disturbo possibile, al fine di non danneggiarne la fertilità. Sulla base di quanto esposto, non mancano in bibliografia gli esempi a favore dell'adozione delle tecniche facenti capo all'agricoltura di precisione, che nel caso della distribuzione di concimi minerali evidenziano un miglioramento dell'efficacia dell'intervento agronomico a seguito della possibilità di ridurre le quantità di fertilizzante impiegate (Godwin et al., 2002; Harmel et al., 2004) e della diminuzione delle perdite di azoto (Larson et al., 1997; Ferguson et al., 1998; Rejesus e Hornbaker, 1999; Thrikawala et al., 1999). L'entità dei miglioramenti conseguibili è comunque variabile, a seconda delle condizioni iniziali, tra le quali rivestono un ruolo di notevole importanza sia il tipo di terreno che le modalità di distribuzione (Bouma, 1998; Wang et al., 2003), oltre all'interazione tra tali fattori e la capacità di assorbimento della coltura (Roberts et al., 2001). Questi benefici, sia nel caso delle lavorazioni del terreno che nel caso della distribuzione di fertilizzanti, sono inoltre difficilmente quantificabili con le tecniche d'analisi classica in quanto se risultano essere variabili le condizioni in campo alle quali si cerca di rispondere in maniera differenziata, è altrettanto dimostrato che gli effetti derivanti da interventi ad intensità variabile risultano differenti all'interno dell'appezzamento, sia intermini spaziali che temporali (Basso et al., 2003). Di conseguenza, il riscontro ambientale può essere tanto più positivo quanto maggiore è la capacità non solo di monitorare gli effetti di un trattamento ad intensità variabile, ma di approfondire la conoscenza sui molteplici legami relazionali che si instaurano tra i numerosi fattori coinvolti, sia per quel che riguarda la coltura che per quanto concerne il terreno.

La maggioranza degli studiosi dell'argomento si trova d'accordo nell'evidenziare la convenienza economica della sua applicazione per le aziende agricole, la sostenibilità ambientale per la società civile, la garanzia di qualità e sanità dei prodotti e la tracciabilità per i consumatori.

### **Benefici umani**

Questa forma di agricoltura richiedendo abilità nell'uso di tecnologie, ma anche doti organizzative e decisionali, valorizza le conoscenze e gli insegnamenti ricevuti, qualifica le capacità e l'intelligenza dell'agricoltore gratificandolo nella sua professione che verrà considerata allo stesso grado di dignità di altre. Inoltre potrà essere un buon sistema perché le giovani generazioni non abbandonino le campagne.

I sistemi di navigazione semi-automatica sollevano dal compito di mantenere la traiettoria corretta durante le operazioni, per cui riduce la fatica e lo stress a fine giornata, rallenta il verificarsi della noia e quindi più a lungo dura la fase di attenzione. Una maggiore attenzione limita le occasioni di incidenti. Gli incidenti mortali in Italia nel 2005 in agricoltura sono stati 120 e 50.000 sono state le persone infortunate. Questi numeri potrebbero essere abbassati (INAIL, 2007).

### **Qualità**

La coltivazione secondo livelli di qualità si addice alle colture di alto valore come la vite, il cotone, il kiwi e le banane (McBratney et al., 2005), ma può essere perseguita anche su colture estensive con la finalità di incrementare il valore del prodotto e quindi aumentare il reddito dell'imprenditore agricolo.

La determinazione della qualità non sempre è semplice soprattutto perché raramente può essere identificata attraverso limitati indicatori (proteina per i cereali e per le foraggere). In viticoltura, ad esempio, la qualità è funzione di differenti caratteristiche la cui importanza di una rispetto alle altre può differire con le varietà e con l'uso finale del prodotto (Taylor et al, 2002).

L'approccio con la qualità si concretizza in due benefici. Il primo riguarda la possibilità di testare la qualità direttamente al momento della raccolta o attraverso il telerilevamento con l'obiettivo di selezionare il prodotto in classi che verranno presumibilmente remunerate in modo diverso. Sensori precisi e affidabili si stanno installando sulle vendemmiatrici per valutare le caratteristiche qualitative delle uve (Tisseyre et al., 2005) e sulle mietitrebbiatrici (Berzaghi et al, 2007) per valutare proteine, amido e grassi nelle granelle. Il secondo aspetto riguarda invece la possibilità di mappare la qualità per mettere a punto tecniche di coltivazione variabili per ottimizzare le caratteristiche qualitative desiderate.

### **Sicurezza alimentare**

Un esempio di come l'AP può essere utilizzata nella sicurezza alimentare è la riduzione del livello di aflatoossine nel prodotto raccolto (Rains, 2002). E' noto infatti che in condizioni di stress i microrganismi fungini che producono aflatoossine sono più attivi e quindi è pensabile che con il telerilevamento si possa porre rimedio alle situazioni di stress o al limite segregare le zone più a rischio in modo tale da ridurre le contaminazioni tra granelle sane e infettate. Inoltre veloci metodi per rilevare le aflatoossine sono attualmente allo studio da utilizzare o prima della raccolta attraverso bio-sensori e nasi elettronici, oppure con sensori NIRS sulle mietitrebbie durante la raccolta.

### **Tracciabilità**

La produzione di derrate alimentari sostenibili e di elevato standard qualitativo a poco servirebbe se tutto il processo non fosse esaurientemente documentato a beneficio del consumatore che chiede sempre maggiori informazioni sul prodotto che acquista. E' possibile tracciare il prodotto attraverso le tecnologie menzionate precedentemente.

L'Agricoltura di Precisione può infatti essere interpretata come strumento attuativo per strategie di tracciabilità attraverso i sistemi informativi a bordo del trattore e sistemi gestionali aziendali informatici in grado di acquisire e registrare dati in tempo reale, fino a controllare tutte le fasi del processo di produzione dalla fase di campo o di stalla alla movimentazione dei prodotti.

## 4.6 L'Agricoltura di Precisione in Italia

La futura diffusione dell'Agricoltura di Precisione nel nostro Paese dipende quindi essenzialmente dall'andamento assunto dalle condizioni strutturali che caratterizzano il settore agricolo, ma soprattutto dal cambiamento di approccio che fino ad ora ha caratterizzato la maggior parte degli operatori, cosicché essa non venga recepita solamente come un'insieme di tecnologie, ma come un sistema completo ed integrato, la cui adozione richiede una generale revisione del sistema aziendale, al fine di poter adattare alle esigenze specifiche i principi che ne stanno alla base e che costituiscono i cardini delle strategie manageriali con cui gestire la specifica realtà aziendale. In quest'ottica la messa a punto di metodiche e procedure affidabili per l'implementazione di tale sistema rappresenta una fase cruciale per la diffusione delle soluzioni tecnologiche ormai consolidate messe a punto nell'ambito dell'Agricoltura di Precisione, soprattutto se incentrate sull'importanza delle informazioni e della loro corretta gestione, intese come elemento per la comprensione della variabilità presente in azienda e quindi come punto di partenza per l'ottimizzazione gestionale del processo di produzione. Non solo, la messa a punto di metodiche affidabili può rappresentare un contributo di notevole rilievo da parte del mondo della ricerca al tentativo di utilizzare soluzioni tecniche ad elevato contenuto tecnologico, ma anche per dare una risposta a quelle che sono le esigenze che l'azienda agricola interessata al mantenimento di una posizione competitiva sul mercato in cui si trova a dover affrontare, ma anche per fornire al Legislatore degli elementi oggettivi con i quali valutare i risultati conseguiti a livello aziendale per quanto riguarda il miglioramento della prestazione ambientale dell'azienda agricola, al fine di una pianificazione di lungo periodo della politica economica indirizzata al settore agricolo.

## 4.7 Liquefatti e Agricoltura di Precisione

Le tecniche di distribuzione dei liquami hanno un rilevante effetto sull'ambiente e sulla efficienza produttiva. Lo spandimento con getto oltre che una scarsa omogeneità di distribuzione comporta anche una emissione di ammoniaca e di altre molecole responsabili di cattivi odori, fenomeno particolarmente accentuato nel caso in cui si abbiano effetti di aerosol a causa delle elevate pressioni, mentre nel caso di distribuzioni a pioggia si possono verificare dei danni alla coltura a causa delle ustioni fogliari.

Per evitare questo tipo di problemi è necessario quindi:

- a) disporre di sistemi di controllo della distribuzione;
- b) interrare i reflui al momento della distribuzione;
- c) utilizzare dispositivi a bassa pressione.

Per ottimizzare questo processo e diminuire il più possibile i problemi di inquinamento dovuti a perdite di nitrati, sono stati sviluppati dei sistemi di controllo modulari e automatizzati per i carribotte spandiliquefatti come riportato schematicamente di seguito:

- registrazione dei dati (relazione dell'attività, misurazione in base ai parametri ambientali, consumo di risorse, produzione del raccolto);
- analisi e pianificazione (elaborazione dei dati raccolti, sviluppo delle procedure decisionali);

- controllo preciso delle operazioni in campo (controllo delle attività nelle quali è possibile utilizzare le tecnologie messe a disposizione dall'Agricoltura di Precisione).

In un sistema di Agricoltura di Precisione completo, queste tre fasi devono coesistere mediante l'adozione di un sistema informativo basato sull'impiego dei quaderni di campagna informatizzati; questo implica la modularità del sistema e dei suoi componenti, con forme standardizzate di trasferimento dei dati. Questo permetterebbe una diminuzione sostanziale dei costi, dovuta all'utilizzo di una sola centralina di comando, inoltre in base all'aumento di complessità del sistema si possono attuare diverse metodologie di controllo come ad esempio una singola macchina (accoppiamento semplice) o più macchine (accoppiamento multiplo) (Mazzetto et al., 2000).

Da questo punto di vista, a livello aziendale le informazioni da conoscere devono essere:

- le coordinate spazio temporali dell'evento: **"quando"** e **"dove"** è possibile compiere l'operazione;
- le zone in cui è consentita o interdetta la distribuzione all'interno dell'appezzamento: **"come"**;
- la dose di distribuzione: **"quanto"**;
- l'attrezzatura che può essere usata: **"cosa"**.

Questa risulta essere la base di partenza per poi creare una mappa di prescrizione.

Altro aspetto fondamentale dell'agricoltura di precisione è l'impiego e la scelta dei vari sensori e sistemi di posizionamento a terra. Questi sistemi si distinguono principalmente in due gruppi: il primo prevede l'utilizzo di una strumentazione autonoma a bordo del veicolo; la seconda è l'uso di una strumentazione esterna al veicolo (quest'ultimo viene comunque corredato di dispositivi che permettono di dialogare con il sistema di posizionamento esterno).

I sistemi di posizionamento indipendenti dal mezzo, oggi danno una scarsa flessibilità e elevati costi, mentre buoni risultati si ottengono con le soluzioni date dai classici ricevitori satellitari.

I più comuni risultano essere quelli che lavorano appoggiandosi alla rete statunitense (GPS); se si vuole raggiungere migliori accuratezze si impiega la correzione differenziale (DGPS) con la quale si ha una precisione inferiore al metro, utilizzando satelliti geostazionari e reti di correzione a terra (EGNOS o Omnistar).

Le tecniche più avanzate attualmente utilizzano ricevitori a doppia frequenza, con correzione RTK (cinetica in tempo reale), che consentono di raggiungere precisioni centimetriche, utilizzando per la correzione antenne satellitari poste in rete che ormai si stanno diffondendo in tutto il territorio nazionale. (Mazzetto et al., 2000).

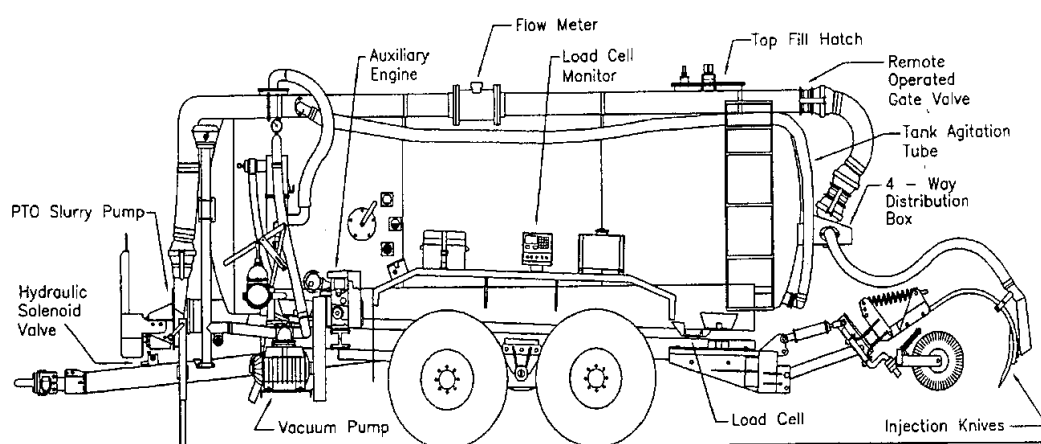
Sulla base delle seguenti considerazioni sono stati realizzati dei prototipi negli ultimi anni con l'intento di arrivare a distribuire i reflui zootecnici in maniera variabile all'interno dell'appezzamento.



### 4.7.1 Alcune realizzazioni

Un primo esempio in proposito (Figura 4.8) (Morris et al., 1999) è stato progettato negli USA costituito da:

- ricevitore DGPS di tipo Rockwell per la ricezione del segnale proveniente dal satellite;
- sensore di controllo della velocità;
- un flussimetro di tipo elettromagnetico Krolme;
- una centralina elettronica di controllo tipo Tasc 6200;
- martinetto idraulico per il controllo della portata;
- sistema di controllo del flusso di olio idraulico (DCV) per apertura e chiusura del martinetto.



**Figura 4.8** - Esempio di carro spandiliquame predisposto per il dosaggio variabile.

Questa macchina per la distribuzione è costituita da un serbatoio della capienza di circa  $8,7 \text{ m}^3$ , una pompa a lobi mossa da un motore ausiliario di 14,9 kW.

Il serbatoio poggia su delle celle di carico che misurano istantaneamente il peso, che inizialmente servivano per la regolazione del flusso in uscita, ma per problemi di precisione sono state sostituite da un flussimetro elettromagnetico.

Il liquame spinto dalla pompa passa attraverso il flussimetro che in relazione all'apertura del martinetto crea una determinata portata, in funzione del posizionamento longitudinale della macchina, e nel caso in cui sia installata una memory card (PCMCIA), anche dei dati presenti su di essa.

Un secondo esempio (Figura 4.9) (Balsari et al., 2002) è fornito da un carro spandiliquame equipaggiato con il seguente sistema:

- una unità centrale di acquisizione dati (DAU) cui convergono tutte le informazioni relative dai sensori periferici e dai ricevitori di codici;
- una memoria di massa (DTR) per la registrazione di tutte le informazioni elaborate dalla DAU;
- una unità di ricezione posta anteriormente al trattore (A-TF) abilitata all'acquisizione dei codici dei trasmettitori;

- un ricevitore GPS per l'acquisizione delle coordinate di posizionamento Navstar;
- una unità di ricezione posteriore (A-TM) per l'acquisizione dei codici di trasmissione associate alle macchine in accoppiamento;
- un sistema di sensori con relativi bus di connessione all'unità.



**Figura 4.9** - Esempio di spandiliquame modulare per la distribuzione dei reflui in copertura.

I dati registrati dalla DTR vengono poi trasferiti periodicamente in un PC per le elaborazioni successive, aggiornando l'archivio storico per pianificare gli investimenti sulla base dei dati raccolti successivamente.

La macchina è equipaggiata con due serbatoi da 5 m<sup>3</sup> con una barra posteriore costituita da 4 interratori alla distanza di 750 mm per poter eseguire la sarchiatura su mais. Nel caso si volesse applicare una distribuzione su terreno nudo, può essere applicata alla macchina una barra di distribuzione costituita da due serie di erpici a dischi che permettono una lavorazione di tipo superficiale (Figura 4.10).



**Figura 4.10** - Esempio di spandiliquame modulare per la distribuzione superficiale dei reflui.

Le prove sono state eseguite su mais in post-emergenza per iniezione. La dose viene corretta da una centralina elettronica, che in base alla velocità di avanzamento e la posizione della macchina, modifica il numero di giri della pompa variando la quantità da distribuire.

Le prove di distribuzione sono state eseguite controllando la variabilità della dose e i tempi di risposta in funzione della velocità di avanzamento, che è passata da 4 a 6 Km/h, e da 4 a 8 Km/h.

Si è visto che il sistema necessita mediamente di 10 secondi per regolare la portata unitamente al sistema di posizionamento e al controllo della pompa a lobi, utilizzando una dose di liquame variabile.

Per le prove di distribuzione è stato usato un volume di  $80 \text{ m}^3$  ad ettaro che corrisponde ad una dose di 300 Kg/ha di azoto, 270 Kg/ha di  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 196 Kg/ha di  $\text{K}_2\text{O}$ . Le prove hanno dimostrato che l'utilizzo di questo sistema, rapportato alla concimazione tradizionale con urea, non ha dato variazioni statisticamente differenti sulla produzione.

Inoltre, si è dimostrato che l'efficienza maggiore è quella che si è ottenuta con una distribuzione del liquame in pre-semina e post-emergenza sullo stesso appezzamento, in rapporto a distribuzioni solo di pre-semina o post-emergenza.

#### **4.7.2 Il primo prototipo “Vendrame”**

Il prototipo di carrobotte impiegato (Figura 4.11) è monoasse e costituito da un telaio di lunghezza di 4700 mm e larghezza di 1030 mm, con longheroni aventi una sezione di 180x80x8 mm; l'accoppiamento alla trattrice avviene attraverso timone della lunghezza di 1060 mm e munito di occhio regolabile in altezza. Esso è inoltre dotato di impianto frenante di tipo idraulico e di sospensioni a balestre.

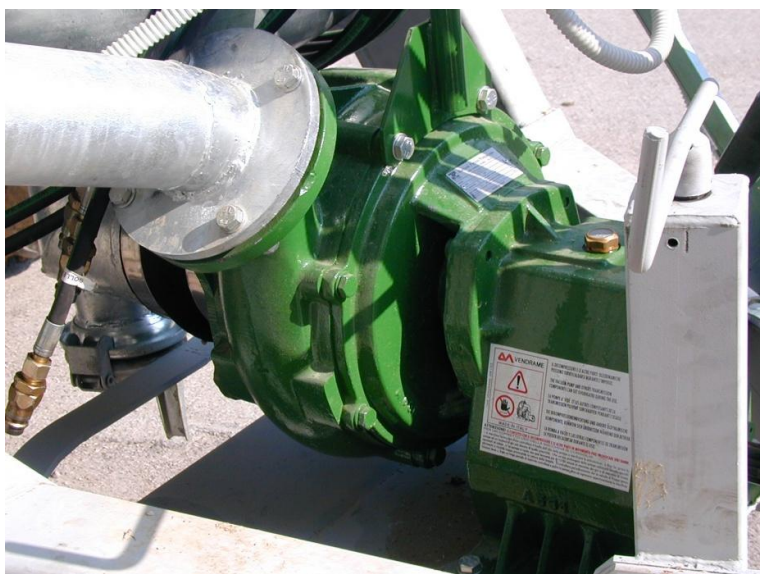


**Figura 4.11** - Prototipo di spandiliquame utilizzato nelle prove.

L'assale è a carreggiata variabile, con modalità continua, da 1800 a 2250 mm ed ha una portata massima di 8000 kg (corrispondente ad una velocità di avanzamento pari a 40 km/h) ed è equipaggiato con pneumatici 270/95-44.

Il serbatoio, a pressione atmosferica, ha una lunghezza complessiva di 3650 mm ed un diametro di 1270 mm, per una capacità massima di 3900 litri.

Nella parte anteriore è presente una pompa centrifuga (Figura 4.12) con una pressione massima di esercizio di 6 bar, un range di potenza assorbita di 40-70 kW ed una portata massima pari a 2100 litri/minuto.



**Figura 4.12** - Pompa centrifuga in dotazione allo spandiliquame utilizzato.

Il prototipo è predisposto per la distribuzione a portata variabile (Figura 4.13): a tal proposito è equipaggiato con un sistema di regolazione costituito da una saracinesca ad azionamento idraulico (Figura 4.14), installata sul tubo di mandata del liquame con diametro di 4" e martinetto idraulico a doppio effetto.



**Figura 4.13** - Sistema per la regolazione della dose in fase di distribuzione.



L'azionamento della saracinesca è controllato da un'elettrovalvola idraulica (Figura 4.14) comandata dal misuratore di portata (Figura 4.15), posizionato a valle della saracinesca; il misuratore di portata è dotato di un'uscita ad impulsi da 4 a 20 mA, con un display LCD a doppia riga, in cui si può visualizzare il dato di portata (espresso come litri o m<sup>3</sup>) controllato da un microprocessore tipo MC-308.



**Figura 4.14** - Saracinesca ad azionamento idraulico.



**Figura 4.15-** Flussometro utilizzato per la misurazione della portata in mandata.

Il carrobotte presenta un sistema di dosaggio proporzionale all'avanzamento. Nella ruota destra dello spandilquame è stato installato un sensore a prossimità induttiva di tipo che manda un impulso alla centralina di controllo che ricava la velocità del mezzo (km/h) e agendo sul martinetto idraulico regola il flusso in uscita verso la barra di distribuzione.

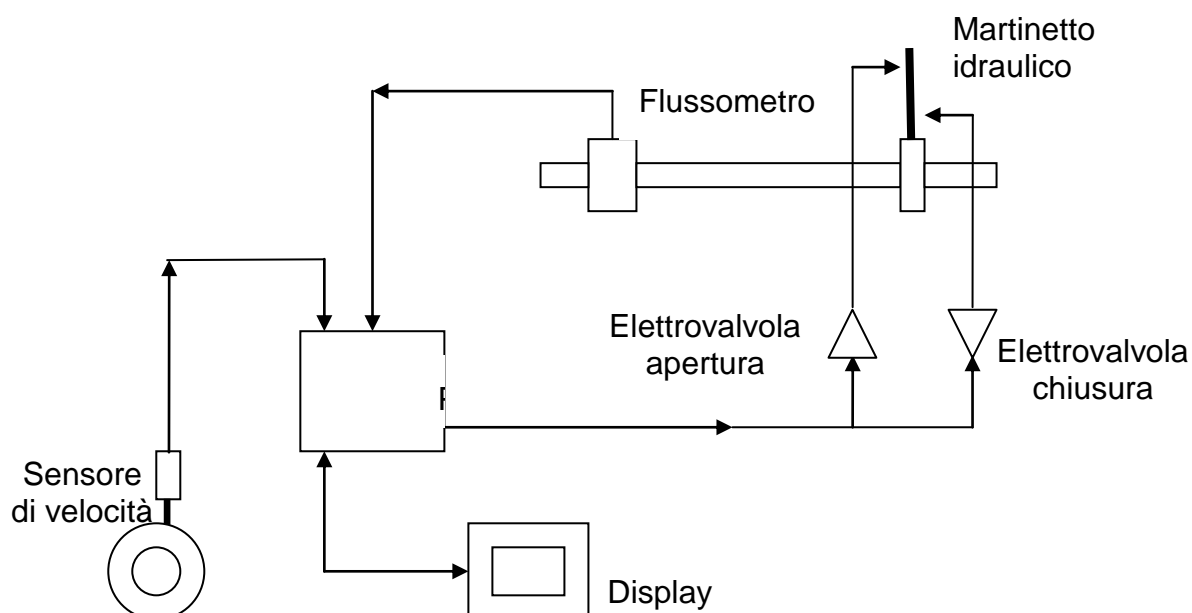
La centralina di controllo del dosaggio variabile è costituita nella parte frontale da un display LCD, una slot per l'inserimento della smart card e interruttori di cui: generale per accensione e spegnimento, per la chiusura automatica del martinetto e per selezionare il dosaggio manuale o automatico.

Inferiormente troviamo una entrata per l'alimentazione a 12V e un connettore PMCIA dati per l'ingresso e l'uscita da e verso i sistemi del carrobotte.

Nella trattrice viene posizionato un ricevitore satellitare a 12 canali L1, con l'antenna posizionata sulla parte superiore e centrale della cabina della trattrice, costituito da due sistemi di captazione: il primo per la ricezione del segnale dalla costellazione di satelliti GPS-NAVSTAR per definire la posizione geografica; il secondo per la ricezione dei segnali di correzione differenziale (DGPS) da un satellite geostazionario (OMNISTAR) al fine di ridurre le fonti di errore e garantire una precisione sub-metrica.

Tutto il sistema viene controllato da un software elaborato dalla ditta Delta Progetti Engineering, il quale ha una duplice funzione: può essere usato singolarmente per la regolazione manuale della dose, o integrato con il modulo GPS per il dosaggio variabile.

Il primo sistema analizza in entrata il dato della velocità in tempo reale dal sensore induttivo e il valore inserito manualmente a display della dose da distribuire; questi valori vengono analizzati dalla PLC, la quale confronta il dato del flussimetro e regola il martinetto idraulico in uscita (Figura 4.16).

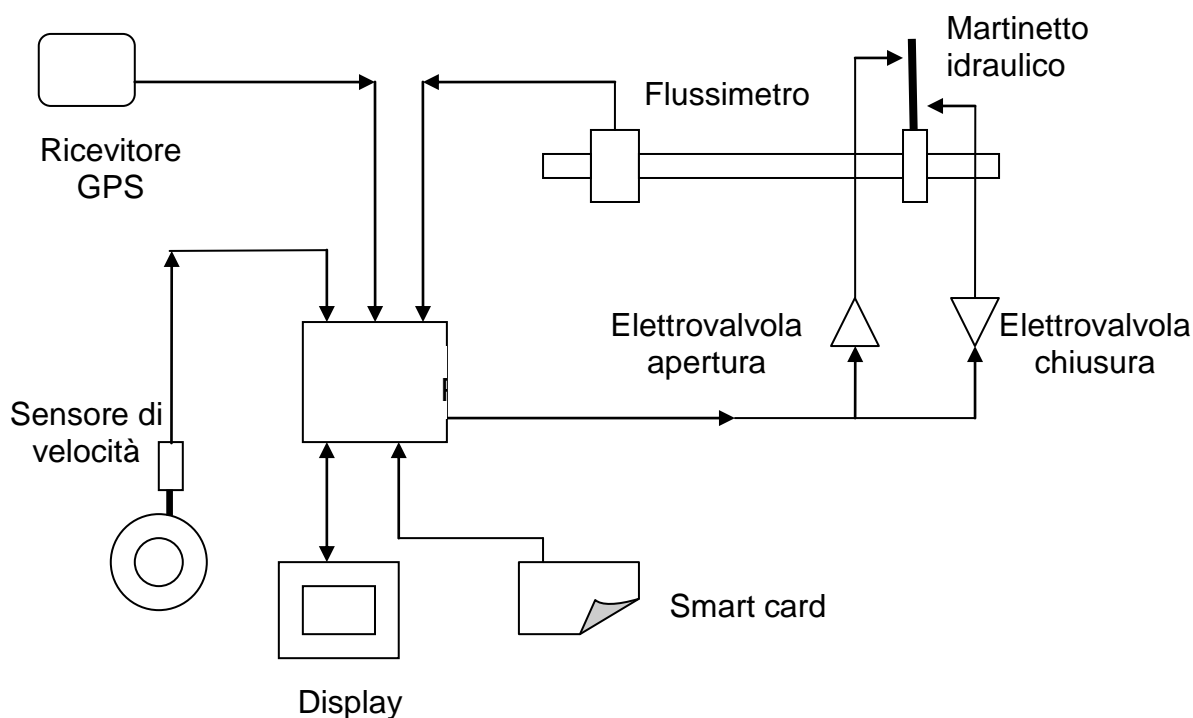


**Figura 4.16** - Hardware installato per il dosaggio proporzionale all'avanzamento.



La regolazione del martinetto viene eseguita istantaneamente da due elettrovalvole una per la chiusura ed una per l'apertura.

Nel caso in cui venga integrato il modulo GPS il dato in entrata sulla PLC viene confrontato con i dati caricati sulla smart card e la regolazione della portata è condizionata anche dal posizionamento longitudinale della macchina (Figura 4.17).



**Figura 4.17** - Hardware installato per il dosaggio variabile.

Il software è stato creato per regolare le funzioni principali del sistema manualmente a display da parte dell'operatore.

### 4.7.3 Situazione attuale

Il controllo della dose si attua empiricamente e direttamente variando la velocità di avanzamento e/o variando la portata del fluido sulla base delle caratteristiche medie del liquame, tipo di terreno ed esigenze delle piante.

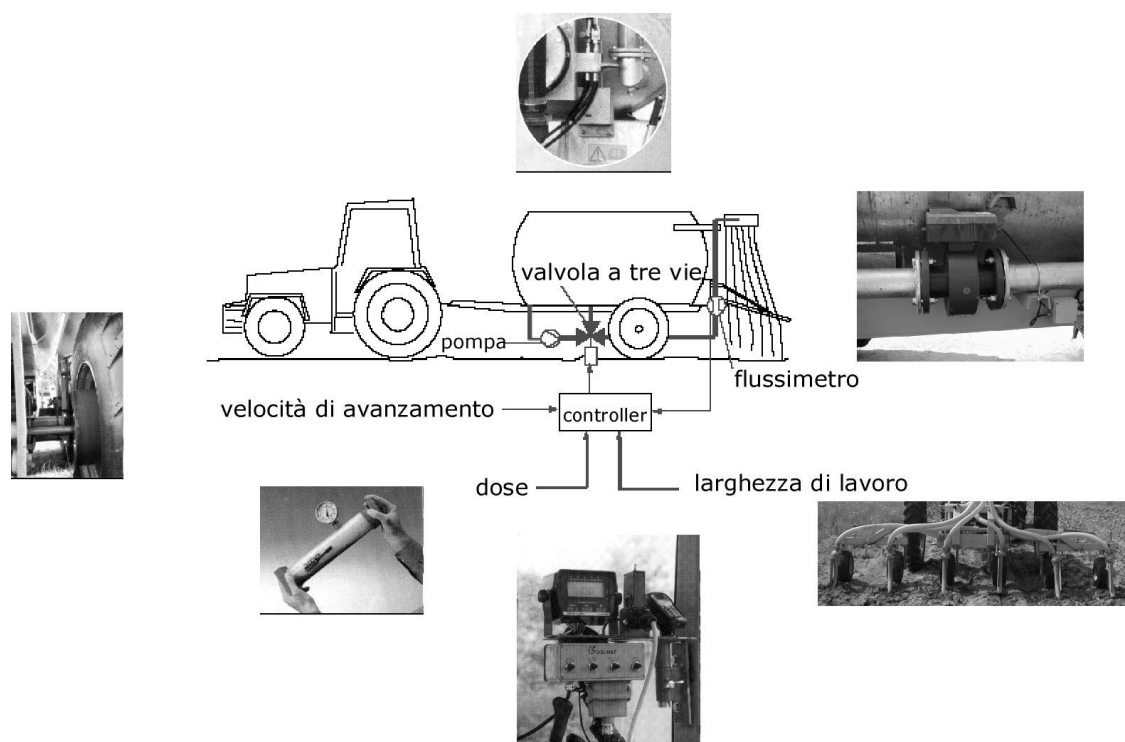
I sensori utilizzati sono finalizzati alla misurazione della portata del fluido (con sistemi gravimetrici applicati al serbatoio, con flussimetri, con misuratori della velocità di rotazione della pompa volumetrica) e della velocità di avanzamento, mentre gli attuatori sono essenzialmente regolatori di flusso come, ad esempio, serrande applicate alla tubazione principale e comandate da motori idro-pneumatici, valvole per deviare parte del flusso nel serbatoio, sistemi di regolazione della velocità di rotazione delle pompe (Figura 4.18). Questi rimangono attivi finché la portata raggiunge quella prescritta.

I tempi di risposta complessivi, considerato l'uso di servomeccanismi idraulici, sono tuttora piuttosto alti per cui, anche se la velocità di avanzamento è bassa, conviene operare su aree omogenee relativamente ampie.

Il problema è ancora più accentuato nel caso del letame per la variabilità della sua composizione e della difficoltà di dosare la quantità distribuita per le caratteristiche intrinseche degli spandiletame. Questi sono caratterizzati da distribuzione non uniforme in senso longitudinale e in senso trasversale a causa delle irregolarità di riempimento del cassone.

Una realizzazione proposta riguarda la sensibilizzazione del cassone stesso tramite applicazione di celle di carico le cui misure, opportunamente corrette, forniscono la massa del letame e un sistema per regolare (attraverso un motore idraulico) la velocità delle catene convogliatrici. Dato la scarsa omogeneità dei letami si ravvisa la necessità di eseguire una previa calibrazione per determinare la massa specifica di un gran numero di letami in condizioni statiche e dinamiche.

Questi sistemi, ancora in fase di sperimentazione, vedono inoltre accentuato il problema dei tempi di risposta che intercorrono tra la lettura delle mappe e la fine dell'attuazione del distributore che ha tempi di reazione e inerzia abbastanza accentuati.



**Figura 4.18** – Schema di funzionamento di uno spandiliquame a dose variabile. La centralina di elaborazione e controllo (1) acquisisce la posizione e la confronta con la mappa di prescrizione unitamente con informazioni sulla concentrazione del liquame (2) (in tempo reale con sensori o differite con kit di analisi), la velocità di avanzamento (3), la larghezza di lavoro (4) e la portata attuale (5). Elabora quindi un segnale che comanda la valvola a 3 vie (6) finché non venga raggiunta la portata corrispondente.

Dalle prove effettuate, risulta che la soluzione più idonea per assicurare la variabilità nella distribuzione per gli spandilquame è quella che prevede un sistema in grado di effettuare un maggiore controllo del flusso in transito nel tubo di mandata, con un maggiore intervallo di impulsi alle elettrovalvole, in quanto la sovrapposizione dei comandi derivanti dalla risposta del sistema rischia di rendere quest'ultimo instabile alle impostazioni. Ciò sembra essere dovuto sia alle necessarie esigenze del sistema di elaborare i dati prima di attuare la prescrizione, ma anche ai seguenti aspetti accessori al tempo di risposta considerato in linea teorica:

- **tempo di blocco del martinetto (TB)**: esso sembra essere dovuto al fatto che il sistema idraulico della trattrice deve essere mantenuto in pressione mediante un regime del motore adeguato, in quanto le caratteristiche della pompa installata tendono ad assorbire parte della potenza erogata dal motore stesso; tale ritardo o incapacità del sistema idraulico nell'assecondare il movimento del martinetto comandato dalle elettrovalvole si traduce perciò in un ritardo del tempo di risposta;
- **tempo di inerzia della saracinesca (TI)**: ciò sembra essere legato alla tipologia stessa dell'attuatore, in quanto il movimento verticale della serranda sembra risentire in maniera apprezzabile dell'effetto sbarramento causato dal flusso in transito; la necessità di vincere l'energia cinetica del flusso prima di entrare in movimento comporterebbe perciò un ritardo, definito come inerzia, accentuato dalla pressione impressa al fluido dalla pompa. Una riduzione di questa potrebbe infatti ridurre tale ritardo da parte del sistema;
- **tempo di aggiustamento (TA)**: esso dipende esclusivamente dalle caratteristiche del sistema e risulta condizionato dai due aspetti precedenti, il cui miglioramento può ridurre l'entità di tale parametro.

#### 4.8 La tracciabilità

La tracciabilità della filiera di movimentazione e distribuzione dei reflui si realizza prima di tutto all'interno delle singole aziende agro-zootecniche tramite installazione di sistemi di raccolta e registrazione di dati relativi ai quantitativi di reflui movimentati, ai percorsi seguiti e ai periodi di movimentazione.

A partire dai singoli Sistemi Informativi Aziendali, capaci di gestire e documentare le attività di distribuzione, mettendo inoltre i dati raccolti a disposizione dell'Autorità di Sorveglianza, è possibile in un secondo momento porre in essere a livello regionale sistema integrato di tracciabilità degli effluenti di allevamento (ad avere quindi un *Sistema Informativo Territoriale* o SIT) in grado di integrare e gestire le informazioni derivanti dalle molteplici aziende agro-zootecniche.

L'implementazione pratica di questo sistema si realizza tramite l'installazione sui mezzi di trasporto di una serie di sistemi elettronici.

Per i trasporti costituiti da due unità fondamentali, la *motrice* (deputata a fornire la potenza necessaria alla trazione) e il *rimorchio* (preposto al trasporto del carico), esistono possibili filosofie di installazione (*Tractor oriented, Implement oriented*) giungendo ad evidenziare come risulti migliore un'architettura del sistema di tipo *Implement oriented*, in cui la componentistica elettronica principale è montata sull'attrezzo (carrotte). Il sistema non necessita infatti di alcun

adattamento o installazione che coinvolga il trattore e quindi è possibile utilizzare differenti trattori con lo stesso attrezzo oppure utilizzare un trattore non di proprietà (es. di un contoterzista).

La rilevazione della composizione chimica degli effluenti deve essere effettuata con sonde che possiedano particolari requisiti: facilità di installazione e di manutenzione, robustezza ed affidabilità, velocità di misurazione, facilità d'uso, completa automazione, utilizzo in immersione diretta, nessun reagente e nessuna generazione di sostanze tossiche.

Tra queste si sono individuate come particolarmente adatte le sonde che misurano la variazione della conducibilità elettrica dei liquami e la cui parte di misura è conformata come un connettore tipo “*Jack*”: la concentrazione dei cationi  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{K}^+$  è infatti significativamente correlata alla conducibilità elettrica (la correlazione lineare tra l' $\text{NH}_4^+$  e la CE spiega più dell'82% della varianza all'interno dei vari tipi di liquame).

#### 4.8.1 Componenti da installare sui trasporti

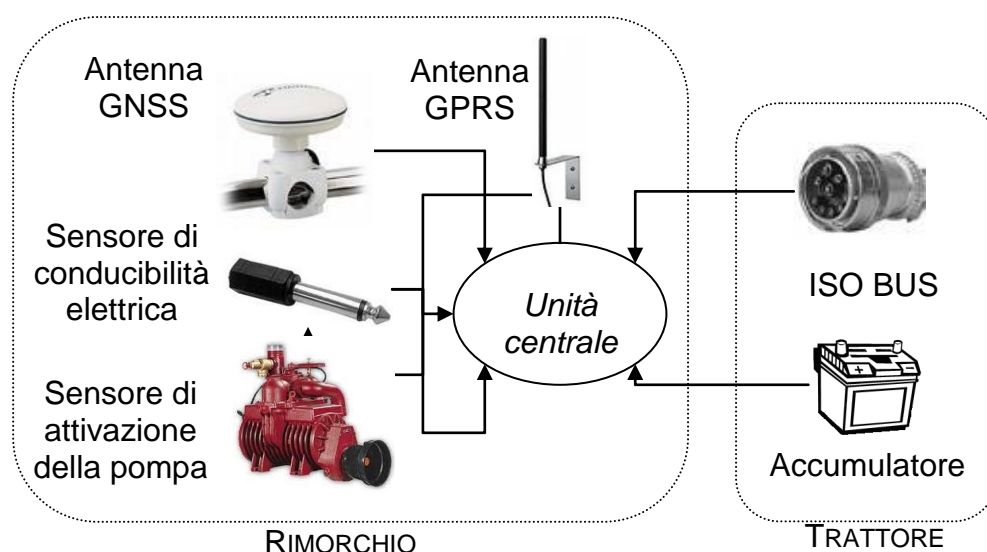
Le funzioni che devono essere svolte dalla componentistica installata sui trasporti sono le seguenti:

- rilevare la posizione, la velocità e quindi lo stato del mezzo (spento, acceso e in stand-by, acceso e in operazioni di carico/scarico, acceso e marciante);
- acquisire dei dati sul funzionamento del motore (ad es.: regime di rotazione, consumi istantanei) direttamente dal CAN BUS basato su ISO BUS oppure anche in maniera differente (tramite sensori collocati in posizioni opportune) per i mezzi che sono sprovvisti del sistema ISO BUS;
- acquisire dei dati provenienti da opportuni sensori installati sul mezzo ed utili ad una caratterizzazione completa del carico, quindi ad un riconoscimento dell'ammontare trasportato e della concentrazione di nutrienti nel liquame;
- disporre di tutti questi dati anche in un formato “grezzo”, quindi disponibili al gestore dei mezzi per elaborazioni successive all'acquisizione (elaborazioni statistiche sull'utilizzo, ad esempio: frequenza dei trasporti, carico medio trasportato da una singola unità in un periodo di riferimento).

Conseguentemente, nella configurazione più completa di un sistema come quello descritto, sarà necessario che sui trasporti siano installati i seguenti **sottosistemi** (Figura 4.19):

- sensore per la stima del contenuto di nutrimenti nel carico trasportato;
- sensori per la stima della quantità (massa, volume) di carico trasportata;
- interfaccia con il sistema CAN BUS – ISO BUS (oppure, in alternativa: sensore per la rilevazione del numero di giri dell'albero motore, sensore per la rilevazione dei parametri istantanei del sistema di alimentazione);
- centralina di acquisizione dei dati (analogici, digitali) dai diversi sensori (ad es. tramite un dispositivo di tipo “*multiplexer*”, anche detto “*mux*” o “*multiplatore*”) e di invio dei dati acquisiti all'unità centrale (la centralina descritta può essere integrata anche con l'unità centrale);
- antenna satellitare GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*);
- antenna di trasmissione dati GPRS (*General Packet Radio Service*);

- unità centrale per la gestione generale del sistema, dotata di: memoria di buffer da utilizzare in caso di impossibilità di invio dei dati acquisiti, di sistema di alimentazione autonomo a batteria ricaricabile, per garantire una certa autonomia al sistema in caso ad esempio di operazioni di carico scarico compiute a motore spento (in quanto effettuate tramite dispositivi esterni, ad esempio collocati presso il centro di conferimento) e di SIM telefonica (*Subscriber Identity Module*) per l'utilizzo della rete telefonica prescelta per il traffico dei dati;
- interfaccia con il sistema elettrico di bordo, per l'alimentazione del sistema a motore acceso e per la ricarica della batteria ricaricabile.



**Figura 4.19** – Componenti di un sistema per la tracciabilità dei reflui zootecnici da installare sui mezzi di trasporto.

#### 4.8.2 Architetture possibili per l'installazione di sistemi integrati per il monitoraggio di trasporti costituiti da motrice e rimorchio

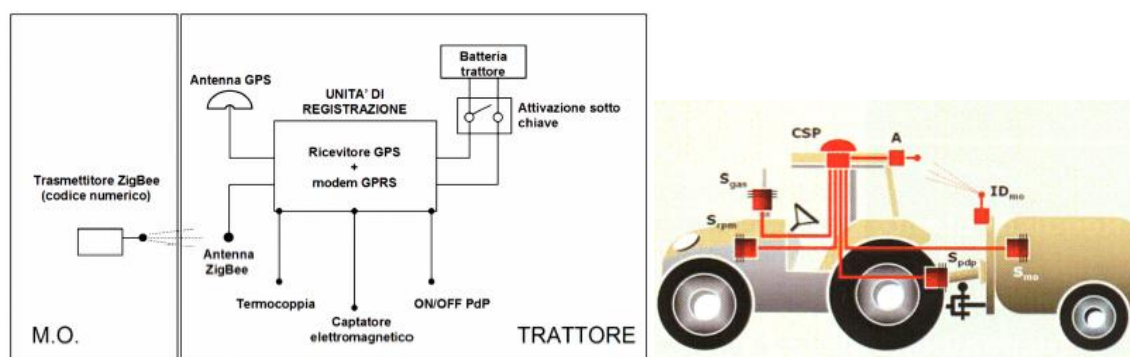
Quando un trasporto è costituito da due unità fondamentali, vale a dire la *motrice*, deputata a fornire la potenza necessaria alla trazione e quindi allo spostamento, e il *rimorchio*, preposto al trasporto del carico, con riferimento ai sistemi di acquisizione ed invio dei dati, sono possibili due architetture del sistema di monitoraggio integrato del mezzo:

- *Tractor oriented* (Figura 4.20), la componentistica elettronica principale (centralina, antenna GNSS e GPRS) è montata sulla motrice, in questo caso il trattore, appunto;
- *Implement oriented* (Figura 4.21), la componentistica elettronica principale (centralina, antenna GNSS e GPRS) è montata sull'attrezzo, in questo caso sul carro botte.

Nella seguente Tabella 4.1 è possibile avere un quadro sinottico riguardante le due architetture di installazione sopra nominate; in particolare si riportano i vantaggi e gli svantaggi conseguenti dall'adozione di tali filosofie nell'equipaggiamento di trasporti nuovi o già esistenti.

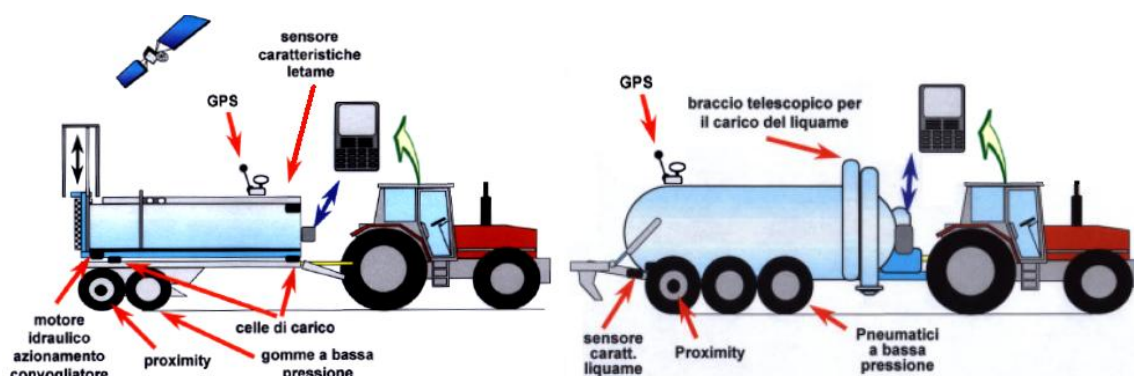
**Tabella 4.1** – Prospetto riassuntivo delle caratteristiche delle due architetture d’installazione dei sensori.

Architettura	<i>Tractor oriented</i>	<i>Implement oriented</i>
<b>Componenti montati sulla motrice</b>	Tutti i componenti tranne i sensori per la caratterizzazione completa del carico	Sensori per l’acquisizione dei dati del motore (solo per trattori sprovvisti di CAN BUS – ISO BUS)
<b>Componenti montati sull’attrezzo</b>	Sensori per la caratterizzazione completa del carico (sensore per la stima del contenuto di nutrienti nel carico trasportato; sensori per la stima della quantità di carico trasportata)	Tutti i componenti
<b>Vantaggi</b>	Il sistema non ha mai problemi di alimentazione né di acquisizione dei dati dal motore. Inoltre esso diviene vantaggioso nel momento in cui si debbano utilizzare più attrezzi con lo stesso trattore, magari per monitorare le differenti operazioni svolte con la stessa motrice (rendicontazione aziendale dei costi, sorveglianza interventi di manutenzione, compilazione quaderni di campagna).	Il sistema non necessita di alcun adattamento o installazione che coinvolga il trattore e quindi è possibile utilizzare differenti trattori con lo stesso attrezzo oppure utilizzare un trattore non di proprietà (es. di un contoterzista) con un attrezzo di proprietà.
<b>Svantaggi</b>	Il sistema necessita di un collegamento fisico tra la centralina sul trattore e i sensori montati sull’attrezzo nonché di un sistema per il riconoscimento automatico dell’attrezzo utilizzato nel caso esso debba interfacciarsi con attrezzi aventi funzioni uguali ma dimensioni differenti (es.: carri botte a uno, due o tre assi) oppure addirittura con attrezzi del tutto differenti. Sussiste inoltre la necessità di installare dei componenti su tutte le macchine motrici ed operatrici di cui si compone il parco macchine. Infine, ogni attrezzo presente nel parco macchine deve essere strumentato e compatibile con il sistema montato sui trattori.	È necessario portare l’alimentazione ai sistemi installati sull’attrezzo tramite il cavo che normalmente si utilizza per l’alimentazione della fanaleria posteriore dell’attrezzo. Quando l’attrezzo rimane inutilizzato per lunghi periodi però c’è la seria possibilità che la batteria interna dei sistemi si scarichi del tutto con possibile perdita di dati acquisiti, memorizzati e non inviati. Nel caso si vogliano acquisire anche dei segnali dal CAN BUS – ISO BUS è necessario collegare un secondo cavo al trattore.



**Figura 4.20** – Esempio di architettura “tractor-oriented” con riconoscimento automatico dell’attrezzo trainato; schema a blocchi e diagramma con il posizionamento dei sensori.





**Figura 4.21** – Esempi di installazione di una serie di dispositivi di rilevamento su di un carro spandi concime e su di un carro spandiliquame in un’ottica “*implement-oriented*” (Mazzetto et al., 2009; Mazzetto et al., 2006; Landonio e Azzoli, 2010).

Sulla base dei vantaggi e degli svantaggi evidenziati in Tabella 4.1 e considerando che gli interventi previsti da un’installazione “*implement oriented*” su mezzi esistenti senza necessità di rilevazione dei parametri motoristici della motrice sono limitati ai soli attrezzi, si indica la citata tipologia di installazione come la migliore.

#### **4.8.3 Considerazioni sulla rilevazione dei parametri operativi del motore**

I parametri funzionali del motore, pur interessanti in un’ottica di rendicontazione dettagliata dei consumi e delle emissioni, possono essere ricavati in maniera indiretta tramite appositi diagrammi (es.: piano quotato dei consumi) e conoscendo le specifiche tecniche dei mezzi utilizzati (sia per quanto riguarda la motrice sia per quanto concerne il rimorchio).

A seguito di quanto esposto, si ritiene non prioritaria la loro rilevazione, per lo meno nella prima fase di collaudo del sistema; conseguentemente, il sistema di monitoraggio dei mezzi può essere ulteriormente semplificato.

#### **4.8.4 Considerazioni sulla rilevazione del quantitativo di carico trasportato**

Poiché i reflui zootecnici tal quali o trattati, come i liquami o il chiarificato, sono dei liquidi elettricamente conduttori, con una notevole capacità corrosiva nonché con un alto potere di imbrattamento e tendenza alla sedimentazione, è sconsigliabile l’utilizzo di sensori di portata con parti a diretto contatto con i reflui (ad es. misuratori a turbina) oppure che causino turbolenze o punti di ristagno della corrente (es. boccagli). È possibile piuttosto l’impiego dei misuratori di portata del tipo “*ad induzione magnetica*”, montati direttamente dal costruttore su di un tubo di passaggio dotato di flange (Figura 4.22). Con questi sistemi, infatti, si misura la velocità della corrente per mezzo della forza elettromotrice indotta quando un liquido si muove in un campo magnetico trasversale generato dallo strumento stesso, posizionato esternamente alla tubazione in cui scorre il fluido.

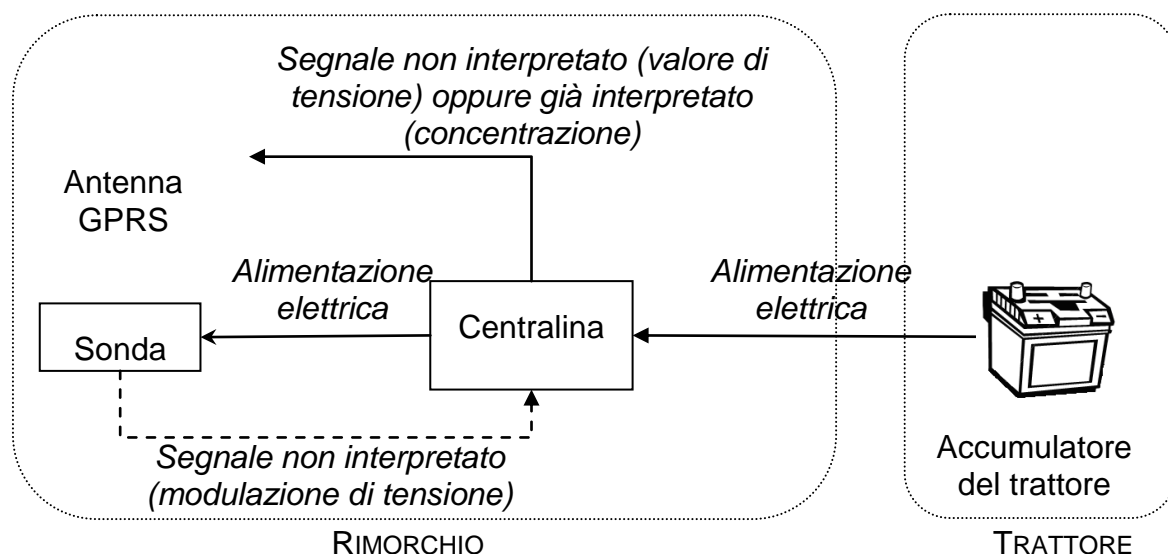


**Figura 4.22** – Misuratore di portata del tipo “ad induzione magnetica”.

#### **4.8.5 Considerazioni sui sistemi per la rilevazione della composizione chimica degli effluenti**

Le caratteristiche ricercate nei sistemi per la rilevazione della composizione chimica degli effluenti da installare a bordo dei carribotte sono le seguenti:

- facilità di installazione e di manutenzione;
- robustezza ed affidabilità;
- facilità di calibrazione, automazione dell'operazione di calibrazione, assenza della necessità di una frequente calibrazione della sonda;
- facilità di utilizzo, automazione della funzione di rilevazione delle specie chimiche, nessun utilizzo di reagenti da miscelare al campione, nessuna generazione di sostanze chimiche tossiche durante il processo di misurazione;
- velocità di misurazione della concentrazione, possibilità di utilizzo in immersione diretta, senza necessità di estrazione di un campione;
- possibilità di alimentazione in corrente continua alla tensione fornita dalla batteria del trattore;
- possibilità di disporre di un'uscita in corrente continua proporzionale alla tensione elettrica e con una differenza di potenziale sufficiente per la rilevazione da parte dei sistemi di acquisizione commerciali; conseguentemente, possibilità di utilizzo della sonda anche senza la centralina per la correlazione immediata del segnale elettrico in grandezza misurata (Figura 4.23).



**Figura 4.23** – Interazione tra i diversi componenti di un sistema automatico per l'analisi dei liquami installato su di un carro botte.

I sensori capaci di stimare il contenuto di nutrienti in maniera *indiretta* (tramite misurazione delle proprietà fisiche dei liquami che sono correlate alla concentrazione delle specie chimiche presenti) sono (Mazzetto e Calcante, 2007):

- sensori che misurano la variazione di *proprietà elettriche* dei liquami tramite rilevazione della conducibilità elettrica;
- sensori che misurano la variazione delle *proprietà ottiche* dei liquami tramite utilizzo della spettrofotometria NIR (*Near InfraRed*) o UV.

#### 4.8.6 Problemi e criticità dei sistemi satellitari di tracciabilità

I maggiori **problemi** per l'ottenimento di un flusso di dati corretti e coerenti con l'attività del mezzo su cui è stato installato un sistema satellitare simile a quello testato, possono essere:

- la necessità di provvedere all'alimentazione del sistema (12 VDC) ogni volta che il carrobotte viene utilizzato tramite collegamento dell'impianto luci del rimorchio all'impianto elettrico del trattore; poiché quest'ultima operazione è obbligatoria solamente nel momento in cui il mezzo viaggia su strada e assolutamente volontaria nella marcia all'interno di aziende molto estese, essa è passibile di dimenticanza oppure anche di omissione volontaria;
- l'assenza di un qualche sottosistema per la rilevazione immediata da parte dell'utente di un malfunzionamento o di un guasto del dispositivo e per il discernimento da parte del controllore di una mancata attivazione per cause tecniche da una manomissione;
- la necessità di disporre di copertura del segnale satellitare e della rete telefonica; il sistema è quindi esposto a tutte quelle situazioni in cui ci potrebbe essere una certa difficoltà a trovare i satelliti o la copertura telefonica (cielo nuvoloso, alberi, strutture murarie o altri ostacoli)
- la impossibilità, per questi sistemi, di controllare le movimentazioni di liquame all'interno delle aziende dotate di una rete fissa di tubazioni; in questi casi

è necessario ripensare l'architettura del sistema, posizionando ad esempio un sensore di livello sulla vasca di accumulo del liquame.

In un contesto istituzionale e legato al territorio (es. Regione del Veneto o una sua emanazione), la disponibilità di personale, di sistemi informatici ma soprattutto l'accesso diretto e privilegiato alla cartografia regionale rendono inadatta e sovrabbondante l'offerta delle aziende di controllare il sistema tramite il web. Nell'ottica dell'adozione di un sistema regionale di tracciabilità è quindi necessario verificare la possibilità di tali aziende a sviluppare un applicativo da implementare direttamente nei server istituzionali, per ragioni di delicatezza dei dati trattati ma anche per poterli incrociare coi dati territoriali senza problemi di compatibilità di formati. L'implementazione di un sistema siffatto avrà ripercussioni anche sull'ente controllante, necessitando la creazione di un apposito reparto (sorveglianza del sistema, rilevazione delle anomalie, helpdesk per gli utenti).

#### **4.8.7 Possibilità di introduzione di un sistema di tracciabilità dei reflui zootecnici a livello politico**

Un sistema di tracciabilità dei reflui zootecnici è di fatto un sistema di controllo delle aziende agro-zootecniche quindi la sua adozione difficilmente può essere lasciata alla volontà dei soggetti imprenditoriali.

Piuttosto si propone di seguito un percorso in quattro fasi finalizzato alla sua introduzione, la cui tempistica dovrà essere decisa a livello istituzionale:

1. **Predisposizione** da parte degli enti pubblici competenti di un kit (o messa a punto di un protocollo di omologazione e certificazione per kit commerciali) per l'implementazione in ambito aziendale della tracciabilità dei reflui, grazie anche all'esperienza maturata con il progetto "RiduCaReflu"; tale kit dovrà avere le seguenti caratteristiche: semplicità di installazione, facilità di manutenzione e diagnosi dei guasti, assoluta immodificabilità senza lasciare tracce di manomissione (ad es. in base a quanto detto sopra, la unità centrale dovrebbe essere una scatola nera corazzata e sigillata, impermeabile, protetta da polvere e urti, con sigilli che ne segnalino l'apertura da parte di personale non autorizzato ed un sistema diagnostico automatico che segnali malfunzionamenti o manomissioni delle varie periferiche collegate);
2. **Promozione** di detto kit volta ad evidenziarne gli aspetti tecnologici e avanguardistici (sensoristica, automazione, integrazione con i sistemi di *Variable Rate Application* – VRA) nonché le opportunità ed i vantaggi agronomici (integrazione con altre pratiche dell'Agricoltura di Precisione) presso i canali media specializzati (trasmissioni televisive e stampa di settore);
3. **Agevolazione** della penetrazione dei sistemi di tracciabilità tramite: erogazione di contributi per l'acquisto del kit (in caso di *retrofitting* di attrezzature già esistenti) o delle attrezzature stesse (nel caso di acquisto di attrezzature nuove se già dotate all'origine di tali sistemi omologati), possibilità di evitare dei controlli diretti di rispetto della Direttiva Nitrati nel caso in cui il responsabile dell'azienda rilasci il consenso all'accesso al sistema da parte delle Autorità di Sorveglianza;

4. **Imposizione** della dotazione dei sistemi di tracciabilità alle varie aziende con elevazione di contravvenzioni per quelle aziende che non si saranno dotate dei sistemi di tracciabilità entro una certa data ed eventualmente, contestuale blocco delle vendite di prodotti agroalimentari che non siano tracciabili anche dal punto di vista dell'aspersione di liquami nelle parcelle in cui siano stati prodotti.





## 5. ANALISI FUNZIONALE, ECONOMICA ED ENERGETICA DELLA DISTRIBUZIONE

### 5.1 Metodologia

#### 5.1.1 Analisi funzionale

Nel calcolo delle capacità di lavoro effettiva e operativa si sono tenuti in considerazione tutte le fasi di lavoro dei cantieri, determinandone i rispettivi tempi: il tempo effettivo impiegato nella distribuzione vera e propria (TE), i tempi accessori di lavoro (TA), che sono il tempo accessorio di voltata a bordo campo (TAV), il tempo accessorio per spostamenti (TAI) e il tempo accessorio per i rifornimenti del compost (TAS), tutti rapportati all'unità di superficie. Il TAV dipende dalle dimensioni della macchina; i tempi per gli spostamenti (TAI) sono calcolati in funzione della distanza dal punto di stoccaggio aziendale o extraaziendale, della capienza del cassone e della dose per ettaro (D). Nel caso la macchina operasse il trasporto già dal centro di stoccaggio, sono quantificati i tempi necessari a percorrere le distanze di 2, 5, 10, 20, 30 e 50 km in andata e ritorno, ad una velocità stradale media di 30 km/h.

Sommando insieme queste fasi si ottiene il tempo operativo (TO), cioè quel periodo necessario alla macchina per svolgere l'operazione di spargimento:

$$TA = TAV + TAI + TAS$$

$$TO = TE + TA$$

TO : tempo operativo

TA : tempi accessori

TE : tempo effettivo di lavoro

TAV : tempo accessorio per le voltate

TAI : tempo accessorio per gli spostamenti

TAS : tempo accessorio per i rifornimenti

Eseguendo il rapporto tra il TE e il TO si ottiene il coefficiente operativo (Ro), che indica l'efficienza della macchina durante il lavoro:

$$Ro = \frac{TE}{TO}$$

Ro : coefficiente operativo

TE : tempo effettivo di lavoro (min/ha)

TO : tempo operativo (min/ha)

Il lavoro che il mezzo può compiere nell'unità di tempo, viene definito come capacità effettiva di lavoro (Ce), e si ottiene moltiplicando la velocità effettiva durante il lavoro (Ve) e la larghezza di spargimento (Le):

$$C_e = 0,1 \cdot V_e \cdot L_e$$

$C_e$  : capacità effettiva di lavoro (ha/h)

$V_e$  : velocità effettiva di lavoro (km/h)

$L_e$  : larghezza effettiva di lavoro (m)

La capacità effettiva ( $C_e$ ) non tiene conto delle condizioni operative reali, cioè non considera i tempi accessori (TA), per questo motivo nei calcoli applicativi si utilizza la capacità operativa ( $C_o$ ), che si ottiene moltiplicando la  $C_e$  per il coefficiente operativo ( $R_o$ ):

$$C_o = C_e \cdot R_o \quad (\text{ha/h})$$

### 5.1.2 Analisi economica

I costi di esercizio delle macchine si dividono in costi fondamentali, ripartiti su base annua ( $C_{fa}$ ), che si sostengono indipendentemente dall'utilizzo della macchina, e in costi variabili ( $C_{uh}$ ), che aumentano proporzionalmente all'uso del mezzo.

A loro volta i costi fondamentali ( $C_{fa}$ ) sono suddivisi secondo il seguente schema:

- a) la quota annua di reintegra del capitale investito ( $Q_r$ );
- b) la quota annua degli interessi passivi del capitale ( $Q_i$ );
- c) la quota annua delle spese varie ( $Q_v$ ), suddivisibili in:
  - 1) spese per ricovero ( $Q_{ri}$ )
  - 2) spese per assicurazione ( $Q_s$ );
  - 3) spese per tasse ( $Q_t$ );
  - 4) spese varie per direzione, contabilità, etc. inerenti l'esercizio della macchina ( $Q_d$ ).

Anche i costi variabili ( $C_{uh}$ ) sono formati da diverse voci di spesa:

- a) le spese per la manutenzione e le riparazioni ( $Q_{mr}$ );
- b) le spese per i consumi di materiale ( $Q_c$ );
- c) le spese per la manodopera addetta alla guida e al servizio della macchina ( $Q_o$ ).

Di seguito sono brevemente descritte le formule utilizzate per ricavare i valori appena descritti, e altri collegati a questi.

La quota di reintegra ( $Q_r$ ) è stata calcolata con il metodo cosiddetto "lineare" che prevede una perdita costante di valore annuale:

$$Q_r = \frac{V_i - V_f}{n}$$

$V_i$  : valore iniziale del mezzo

$V_f$  : valore finale o residuo o di recupero

$n$  : durata prevista, ossia la vita economica del mezzo in azienda

La quota annua di interessi passivi ( $Q_i$ ) è rappresentata dal costo annuo del capitale investito, e viene determinata, supponendo un deprezzamento lineare della macchina durante tutto il periodo di utilizzazione. Essa si riconduce allo svolgimento della seguente equazione:

$$Q_i = r \cdot \frac{V_i + V_f}{2}$$

$V_i$  : valore iniziale

$V_f$  : valore finale o residuo o di recupero

$r$  : saggio d'interesse.

Le quote per le spese varie ( $Q_v$ ) vengono quantificate come percentuale sul valore della macchina e nello specifico:

$$Q_{ri} = V_i \cdot 0,5\%$$

$$Q_{ass} = \frac{V_i - V_f}{2} \cdot 0,6\%$$

$$Q_t + Q_d = V_i \cdot 1\%$$

$$Q_v = Q_{ri} + Q_{ass} + Q_t + Q_d$$

$Q_{ri}$  : quota di ricovero

$Q_{ass}$  : quota di assicurazione

$Q_t$  : quote per le tasse

$Q_d$  : quota per la direzione del lavoro

$Q_v$  : quote varie

$V_i$  : valore iniziale del mezzo

$V_f$  : valore finale o residuo o di recupero

Le spese per la manutenzione e la riparazione, includono tutti i costi aziendali ed extra aziendali di manutenzione ordinaria e straordinaria (riparazione), comprendente quindi sia le prestazioni di officina meccanica che le parti di ricambio, e viene calcolata come somma di due componenti, secondo il seguente calcolo:

$$Q_{mr} = \alpha \cdot \frac{V_i}{N_h} + \beta \cdot M$$

$Q_{mr}$  : spese per riparazioni e manutenzione

$\alpha$  : fattore di riparazione

$V_i$  : valore iniziale

$N_h$  : durata fisica espressa in ore

$\beta$  : frazione di ora di operaio addetto alla manutenzione

$M$  : compenso dell'operaio addetto alla manutenzione.

Nella voce spese per i consumi di materiali ( $Q_c$ ), vengono conteggiati i costi per l'acquisto di carburanti, lubrificanti e altri materiali utilizzati per il funzionamento della macchina; di seguito sono riportate le formule usate per calcolare le spese orarie di gasolio e lubrificanti:

$$C_g = cs \cdot W \cdot CM \cdot p$$

$$C_l = cs \cdot W \cdot p$$

$C_g$  : costo orario del gasolio consumato

$C_l$  : costo orario del lubrificante consumato

$cs$  : consumo specifico dei motori (pari a 0,2-0,3 kg/kWh per il gasolio, e a 0,001-0,003 kg/kWh per il lubrificante)

$W$  : potenza nominale del trattore espressa in kW

$CM$  : carico motore, indice dello sfruttamento della potenza rispetto la potenza nominale durante l'operazione

$p$  : prezzo del gasolio o dell'olio espresso in €/kg.

La quota di spesa per la manodopera ( $Q_o$ ) comprende la retribuzione oraria del conducente del trattore o dell'operatrice semovente e la retribuzione oraria di eventuali altri operatori coinvolti nell'operazione cui la macchina è adibita.

Per la determinazione delle spese orarie totali ( $Ch$ ) sostenute dal mezzo si procede come descritto dalla formula sotto riportata, ricordando che i calcoli per la definizione delle diverse quote vanno eseguiti per entrambe le macchine che compongono il convoglio (es.: trattore e spandicompost, trattore e rimorchio).

$$Ch = \frac{(Q_r + Q_i + Q_v)}{U} + (Q_{mr} + Q_c + Q_o)$$

$Ch$  : spese orarie totali (€/h)

$U$  : utilizzo annuo del mezzo (h/anno)

Conosciuti in questo modo i costi dell'intero cantiere (trasporto, carico e distribuzione), sapendo le capacità operative ( $Co$ ) dei vari mezzi e impostando una dose media da distribuire ( $D$ ), si ricava il costo necessario per distribuire una tonnellata di compost, che andrà confrontato con quello di cantieri organizzati in differenti maniere.

I parametri economici utilizzati per il calcolo comuni a tutti i cantieri e quelli diversi sono riportati nelle Tabelle 5.1 e 5.2.

**Tabella 5.1** – Parametri utilizzati per i calcoli economici e funzionali per i cantieri di gestione dei reflui liquidi.

<b>MOTRICE</b>	R12	R24	S24	SS
Potenza (kW)	95	157	157	280
Massa (kg)	5200	7400	7400	12000
Prezzo d'acquisto (€/kW)	780	790	790	1250
<b>OPERATRICE</b>				
Massa (kg)	2800	4500	4500	1500
Prezzo d'acquisto (€)	25000	55000	55000	20000
Capacità di carico (m <sup>3</sup> )	12	24	24	15
Velocità di trasferimento (km/h)	35	35	-	-
Velocità d'avanzamento (km/h)	5,5	7	7	10
Larghezza di lavoro (m)	3	3,5	3,5	6

**Tabella 5.2** – Parametri comuni a tutti i cantieri utilizzati per i calcoli economici e funzionali.

<b>MOTRICE</b>	
Valore di recupero (%)	15
Durata economica (anni) ( <i>n</i> )	10
Durata fisica (ore) ( <i>Nh</i> )	10000
Saggio d'interesse costo-opport. (%) ( <i>r</i> )	3
Quota spese varie di ricovero (%) ( <i>Qri</i> )	0,5
Quota altre spese varie (%) ( <i>Qs+Qt+Qd</i> )	0,6
Fattore di riparazione ( <i>α</i> )	0,7
Tempo di manutenzione (h man./h lav.) ( <i>β</i> )	0,07
Utilizzazione annua (h/anno) ( <i>Uo</i> )	800
Compenso manutentore (€/h)	25
Consumo specifico carburante (kg/kWh) ( <i>cs</i> )	0,25
Consumo specifico lubrificante (kg/kWh) ( <i>cs</i> )	0,001
Carico motore ( <i>CM</i> )	0,6
Prezzo gasolio (€/kg)	0,7
Prezzo lubrificante (€/kg)	5
<b>OPERATRICE</b>	
Valore di recupero (%)	15
Durata economica (anni) ( <i>n</i> )	15
Durata fisica (ore) ( <i>Nh</i> )	4000
Saggio d'interesse costo-opport. (%) ( <i>r</i> )	3
Quota spese varie di ricovero (%) ( <i>Qri</i> )	0
Quota altre spese varie (%) ( <i>Qs+Qt+Qd</i> )	0
Fattore di riparazione ( <i>α</i> )	1
Tempo di manutenzione (h man./h lav.) ( <i>β</i> )	0,05
Quantità di lubrificante (kg/h)	0,025
Compenso manutentore (€/h)	25
Prezzo lubrificante (€/kg)	5
<b>CANTIERE</b>	
Persone occorrenti (Numero)	1
Compenso del personale (€/h)	25
Durata giornata lavorativa (h/gg)	8
Tempo di carico (h)	0,15
Tempi accessori (h)	0,08
Lunghezza appezzamento (m)	300
Tempo di svoltata (h/svolta)	0,007

### 5.1.3 Analisi energetica

L'approccio utilizzato nell'analisi energetica può essere riferito al modello di analisi della scuola I.F.I.A.S. (International Federation of Institutes for Advanced Study), detto della Richiesta Lorda di Energia (Gross Energy Requirement), con la variante che nel calcolo è stato attribuito un valore energetico anche al lavoro umano (Borin et al., 1997; Sartori et al., 2005).

Per ogni voce e cantiere sono state rilevate le quantità e convertite in valore energetico mediante l'impiego di coefficienti medi raccolti in letteratura.

I coefficienti di conversione impiegati sono il risultato di una ponderazione, a partire dai valori forniti da diversi autori. Si è ritenuto opportuno usare questo criterio in quanto i coefficienti riportati in bibliografia sono risultati spesso di valore notevolmente diverso (Tabella 5.3).

Nella quantificazione energetica dei vari fattori sono stati usati i seguenti criteri:

- meccanizzazione indiretta: la massa delle macchine e attrezzature è stata convertita in contenuto energetico mediante un opportuno coefficiente (108 MJ/kg) e successivamente ripartita sulle ore di vita stimate permettendo così di calcolare il costo energetico orario;
- meccanizzazione diretta: ottenuta moltiplicando il consumo orario di carburanti e lubrificanti per le ore di impiego nelle varie operazioni colturali;
- fertilizzanti: sono stati valutati moltiplicando le quantità utilizzate per il loro costo energetico unitario all'azienda, escluso il costo per la distribuzione il quale risulta computato nella meccanizzazione diretta, indiretta e nel lavoro;
- energia umana: è stata conteggiata sulla base di 1,93 MJ/h (Pimentel and Pimentel, 1979), valore questo che corrisponde all'energia biochimica potenzialmente consumabile da una persona considerando coefficienti di riduzione che tengono conto della quota non utile al lavoro e della gravosità dello stesso. Questo criterio viene confortato anche da altri lavori presenti in letteratura (Jarach, 1985) in cui si riportano coefficienti energetici di 1.2-2.5 MJ/h.

**Tabella 5.3** – Costi e contenuto energetico dei mezzi e dei prodotti utilizzati durante la coltivazione.

<b>Manodopera</b>	(MJ/h)	1,93	Borin et al., 1997
<b>Trattori e operatrici</b>	(MJ/kg)	108,00	Hülsbergen et al., 2001
<b>Combustibile</b>	(MJ/kg)	46,20	Borin et al., 1997
<b>Lubrificanti</b>	(MJ/kg)	40,70	Rosenberg et al., 2001
<b>Liquame</b>	(MJ/dm <sup>3</sup> )	0,303	Zentner et al., 1989 Rosenberg et al., 2001;
<b>Fertilizzante azotato</b>	(MJ/kg)	60 o 79	Dalgaard et al., 2001; Hülsbergen et al.,
<b>Fertilizzante fosfatico</b>	(MJ/kg)	11 o 12	2001; Gezer et al., 2003; Aggarwal et al.,
<b>Fertilizzante potassico</b>	(MJ/kg)	6 o 9	1995; Teixeira et al., 2005; Deike et al.,
			2008; Rathke and Diepenbrock, 2006

### 5.1.4 Analisi delle emissioni di Anidride Carbonica

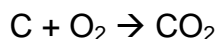
Nel calcolo sono state considerate le voci relative all'emissione di CO<sub>2</sub> diretta (combustione di carburanti) o indiretta (processi di ottenimento concimi e macchinari che consumano energia emettendo una certa quantità di CO<sub>2</sub>).



Le emissioni di CO<sub>2</sub> sono strettamente correlate al costo energetico delle varie voci in bilancio.

I coefficienti CO<sub>2</sub> ottenuti sono stati stimati in relazione alla fonte energetica impiegata.

In generale, dall'ossidazione completa di una sostanza contenente una certa quantità di C si ottiene CO<sub>2</sub> secondo l'equazione:



In termini di unità di massa è possibile ricavare le masse molecolari delle singole sostanze e quindi i rapporti tra loro esistenti:



quindi :

$$\Delta CO_2 = 44/12 \Delta C;$$

per ogni g di C sottoposto a combustione si ottengono 3,67 g di CO<sub>2</sub>.

Si ha emissione di CO<sub>2</sub> dovuta a :

- combustione dei carburanti e utilizzo dei lubrificanti durante i processi di lavorazione in campo;
- processi di produzione di fertilizzanti e prodotti fitosanitari quali fungicidi, erbicidi e geodisinfestanti;
- costruzione dei macchinari agricoli e utilizzazione di energia per riparazioni e manutenzioni.

Per i carburanti, il loro consumo energetico (in MJ) è stato utilizzato come dato di riferimento per ottenere la CO<sub>2</sub> emessa nel processo di combustione. Il coefficiente impiegato è stato:

$$\text{EQ. CO}_2 \text{ gasolio} = 84,33 \text{ g di CO}_2/\text{MJ}.$$

Per i lubrificanti, il consumo energetico è stato determinato pari ad una percentuale del consumo di carburante, utilizzando sempre lo stesso equivalente CO<sub>2</sub> (anche se dall'ossidazione del lubrificante si ottiene una minore liberazione di CO<sub>2</sub> in quanto è un prodotto già parzialmente ossidato).

$$\text{EQ. CO}_2 \text{ lubrificante} = 0,035 \text{ EQ. CO}_2 \text{ gasolio}$$

Nel caso dei fertilizzanti, il valore di riferimento è ancora il costo energetico. L'emissione di CO<sub>2</sub> dipende dal procedimento di lavorazione adottato per la produzione del particolare tipo di concime. La tecnologia di produzione utilizzata può presentare un diverso impiego delle fonti energetiche.

Per esempio, nella produzione di una unità di fertilizzante azotato, viene impiegata energia proveniente per il 5% dal petrolio e derivati, per il 90% dal gas naturale e per il 5% dall'energia elettrica. Nel caso della produzione del fertilizzante fosfatico o potassico il procedimento adottato, e quindi le fonti energetiche impiegate, differiscono, come pure l'emissione di CO<sub>2</sub>.

La Tabella 5.4 visualizza i coefficienti di CO<sub>2</sub> relativi ai fertilizzanti azotati e fosfo-potassici utilizzati per i calcoli.

**Tabella 5.4** - Fonti energetiche impiegate nella produzione degli input colturali con relativa emissione di CO<sub>2</sub> espressi in g di CO<sub>2</sub>/MJ. Fonte Borjesson, 1996 (tabella modificata).

Input	Petrolio+deriv.	Gas naturale	Carbone	Elettricità	Totale
Fert N	4,22	59,40	0	2,63	66,25
Fert P o K	25,30	16,50	0	23,70	65,50
Macchinari	16,87	3,30	33,00	23,70	76,87

Punto di partenza per il calcolo delle emissioni dirette è la determinazione del fabbisogno energetico necessario per la costruzione delle macchine.

La CO<sub>2</sub> emessa indirettamente, dovuta all'ammortamento effettuato in seguito all'utilizzo per un certo tempo, viene determinata moltiplicando il costo energetico dell'operazione colturale per l'EQ. CO<sub>2</sub> relativo alle fonti energetiche impiegate nel processo di fabbricazione. La quantità di CO<sub>2</sub> emessa per ogni MJ impiegato nella costruzione del macchinario sono pari a 76,87.

## 5.2 Analisi funzionale dei cantieri per la distribuzione dei materiali palabili

Le configurazioni dei cantieri che sono state considerate sono due: la distribuzione congiunta con il trasporto e quella separata da questo. Nel primo caso (cantieri riuniti) la macchina distributrice funge anche da trasportatore del materiale, mentre nel secondo (cantieri separati) le due funzioni sono svolte da due macchine distinte.

### 5.2.1 Distribuzione a cantieri separati

Nella distribuzione a cantieri separati la sequenza delle operazioni prevede la ripresa del materiale trasportato deposto in cumuli nei pressi degli appezzamenti con le varie soluzioni previste per il carico e successivamente la distribuzione in campo.

I sistemi di carico più funzionali si dimostrano quelli con il caricatore telescopico e lo scavatore perché, a differenza della benna e della pala frontale, presentano una capacità di carico superiore (Tabella 5.4)

**Tabella 5.4** – Alcune caratteristiche dei possibili sistemi di carico.

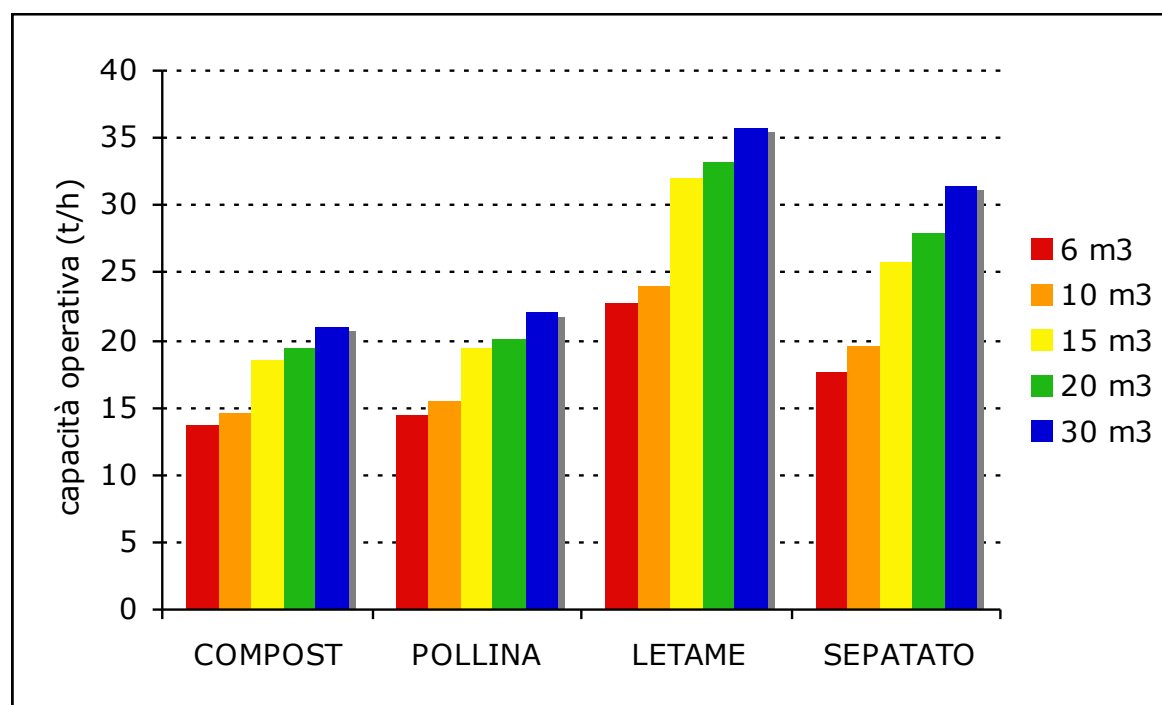
Mezzo	Tempo per bennata (s)	Capienza bennata (m <sup>3</sup> )	Tempo di carico totale (min/ha)
Benna mordente	35	0,7	20,00
Pala frontale	48	1	19,20
Telescopico	71	2	14,20
Escavatore	25	0,8	12,50

La distribuzione si effettua con le tipologie di macchine descritte e caratterizzate da diversa dimensione del cassone, che naturalmente influenza tutti i tempi operativi. La capacità effettiva dipende dalla larghezza di lavoro e dalla velocità di avanzamento, ossia dalla capacità del sistema di alimentazione di erogare il materiale. La capacità effettiva oscilla da 3,6 ha/h per le macchine di piccole dimensioni a 6 ha/h per i mezzi di capacità elevata. Le variazioni sono dovute anche al tipo di materiale con valori più bassi per il letame e più alti con la pollina.

La capacità operativa, che tiene conto anche delle voltate e dei tempi di rifornimento, risulta ridotta di valori dal 35 al 50% rispetto alla capacità effettiva.

**Tabella 5.5** – Capacità effettiva e operativa dei distributori a diversa dimensione del cassone e per vari tipo di materiale. I valori riferiti ad ettaro corrispondono ad una dose distribuita pari ad un quantitativo di N di 170 kg/ha.

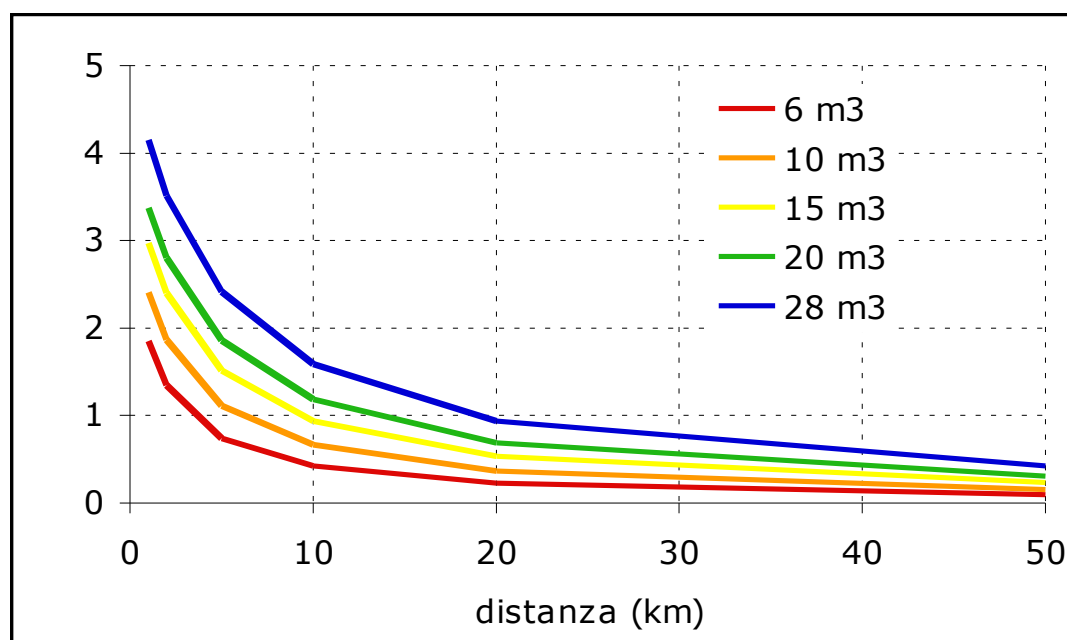
Capacità del rimorchio (m <sup>3</sup> )	6	10	15	20	28
<b>COMPOST</b>					
Portata del rimorchio (t)	3	5	7,5	10	14
Capacità effettiva (ha/h)	3,3	3,96	4,62	5,28	6,6
Capacità effettiva (t/h)	30	36	42	48	60
Capacità effettiva (m <sup>3</sup> /h)	60	72	84	96	120
Capacità operativa (ha/h)	1,51	1,61	2,04	2,13	2,31
Capacità operativa (t/h)	13,70	14,66	18,55	19,32	21,01
Capacità operativa (m <sup>3</sup> /h)	27,40	29,33	37,09	38,64	42,02
<b>POLLINA</b>					
Portata del rimorchio (t)	3,6	6	9	12	16,8
Capacità effettiva (ha/h)	3,44	4,13	4,82	5,51	6,88
Capacità effettiva (t/h)	30,00	36,00	42,00	48,00	60,00
Capacità effettiva (m <sup>3</sup> /h)	50,00	60,00	70,00	80,00	100,00
Capacità operativa (ha/h)	1,66	1,78	2,22	2,31	2,53
Capacità operativa (t/h)	14,47	15,54	19,34	20,16	22,01
Capacità operativa (m <sup>3</sup> /h)	24,12	25,90	32,23	33,61	36,69
<b>LETAME</b>					
Portata del rimorchio (t)	3,6	6	9	12	16,8
Capacità effettiva (ha/h)	2,65	3,18	3,71	4,24	5,29
Capacità effettiva (t/h)	60,00	72,00	84,00	96,00	120,00
Capacità effettiva (m <sup>3</sup> /h)	100,00	120,00	140,00	160,00	200,00
Capacità operativa (ha/h)	1,00	1,06	1,41	1,47	1,58
Capacità operativa (t/h)	22,68	24,02	32,07	33,31	35,79
Capacità operativa (m <sup>3</sup> /h)	37,80	40,04	53,44	55,51	59,65
<b>SEPARATO</b>					
Portata del rimorchio (t)	3,6	6	9	12	16,8
Capacità effettiva (ha/h)	0,26	0,32	0,37	0,42	0,53
Capacità effettiva (t/h)	30,00	36,00	42,00	48,00	60,00
Capacità effettiva (m <sup>3</sup> /h)	50,00	60,00	70,00	80,00	100,00
Capacità operativa (ha/h)	0,16	0,17	0,23	0,25	0,28
Capacità operativa (t/h)	17,67	19,57	25,79	27,88	31,55
Capacità operativa (m <sup>3</sup> /h)	29,45	32,61	42,98	46,47	52,58



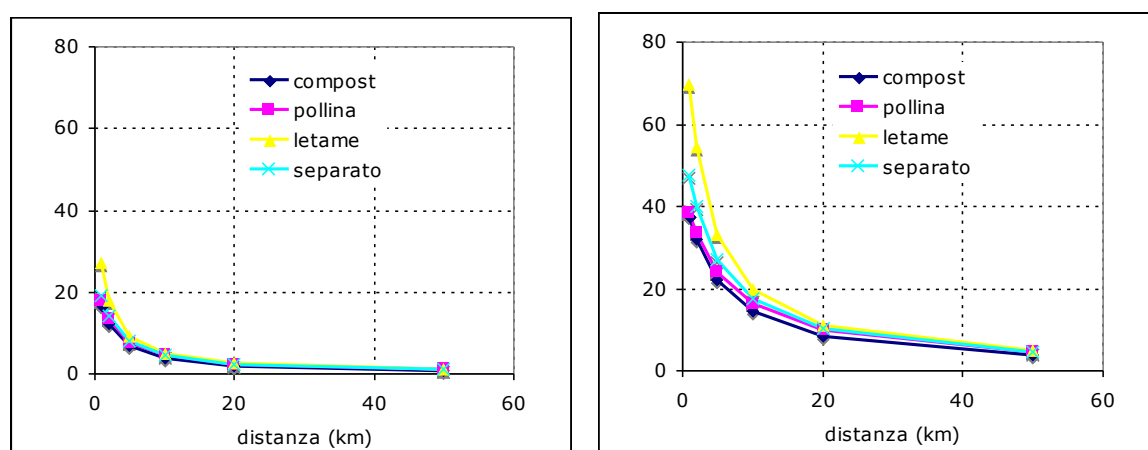
**Grafico 5.1** – Capacità operativa dei sistemi di distribuzione al variare della dimensione dei cassoni e dei tipi di materiale.

### 5.2.2 Distribuzione a cantieri riuniti

L'analisi delle capacità di lavoro mostra come questo parametro sia nettamente diverso tra i due cantieri perché maggiori sono i tempi improduttivi dovuti al tempo perduto per il rifornimento del materiale nel caso dei cantieri riuniti. La differenza si amplifica anche al diminuire della portata della macchina spanditrice, come si evidenzia nei Grafici 5.2 e 5.3 dove sono riportati i valori della capacità operativa al variare della dimensione del cassone e del tipo di materiale distribuito. Il principale responsabile della riduzione delle prestazioni è la distanza tra il luogo della distribuzione e quello di carico. Infatti per basse distanze le capacità di lavoro sono confrontabili con quelle dei cantieri separati, ma aumentando questo valore, la capacità di lavoro diminuisce drasticamente fino ad arrivare a valori prossimi allo 0 per distanze superiori a 50 km. Lo dimostra il Grafico 5.2 che rappresenta l'andamento della capacità operativa di lavoro al variare della distanza per il compost e per diverse capacità del cassone.



**Grafico 5.2** - Variazione della capacità operativa in funzione della distanza per la distribuzione del compost al variare della capacità dei mezzi distributori.



**Grafico 5.3** - Capacità operativa con cantieri riuniti al variare della distanza tra luogo di distribuzione e quello di stoccaggio per i 4 tipi di materiale palabile. A sinistra: caso di piccole macchine distributrici ( $6 \text{ m}^3$ ); a destra distributrici di grandi dimensioni ( $30 \text{ m}^3$ ).

Confrontando la capacità operativa ottenibile con il trasporto eseguito con il distributore (cantiere riunito), con successiva distribuzione, e quella in cui il trasporto è stato eseguito con altri mezzi, che necessita di un carico del cumulo sul campo e successiva distribuzione si nota come la convenienza funzionale tra il trasporto con spanditore a quello con altri mezzi si aggira attorno a qualche chilometro. Tale distanza aumenta con l'aumentare della capacità del cassone.

Non è consigliabile ridurre le prestazioni funzionali (capacità di lavoro) dei cantieri non solo per motivi economici, ma anche per ragioni agronomiche e di tempestività di intervento nei periodi spesso ristretti di spandimento.

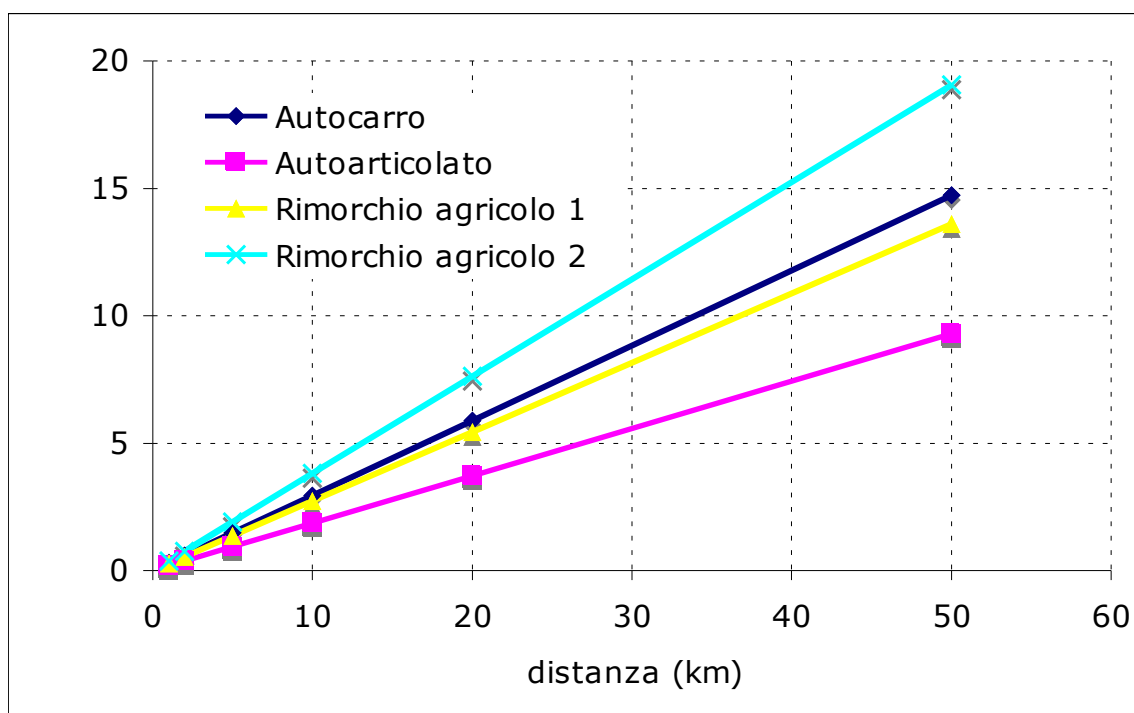
## 5.3 Analisi economica dei cantieri per la distribuzione dei materiali palabili

### 5.3.1 Cantiere di solo trasporto

I costi unitari per il trasporto del materiale palabile si aggira tra 0,14 a 0,38 €/t km in funzione della tipologia del trasportatore (Tabella 5.6). I valori inferiori in assoluto si ottengono con l'uso dell'autoarticolato che ha portata utile pari a 32 t, mentre quelli più alti con il rimorchio agricolo da 7,5 t. Dal momento che l'autoarticolato è di difficile reperimento, il mezzo più conveniente per trasportare questo materiale risulta essere il rimorchio agricolo di elevata capacità (14 t). A titolo di esempio si riporta il Grafico 5.4 che raffigura l'andamento dei costi unitari al variare delle distanze e delle tipologie di trasportatori per il separato solido.

**Tabella 5.6** – Costi per il trasporto del materiale palabile per tonnellata e per chilometro percorso.

Tipologia di trasporto	Portata utile (t)	COMPOST	POLLINA	LETAME	SEPARATO
Autocarro	13	0,35	0,20	0,22	0,29
Autoarticolato	32	0,22	0,12	0,14	0,19
Rimorchio agricolo 1	14	0,33	0,18	0,20	0,27
Rimorchio agricolo 2	7,5	0,46	0,25	0,29	0,38



**Grafico 5.4** – Costi di trasporto per tonnellata di prodotto (separato solido) in funzione della distanza.

### 5.3.2 Cantiere di sola distribuzione

Il costo della sola distribuzione per unità di prodotto oscilla tra 6 e 10 €/t al variare dei materiali utilizzati e si dimostrano relativamente costanti in funzione della capacità dei mezzi distributori. Questo è dovuto all'andamento concorde delle componenti di tale costo. Infatti sia la capacità di lavoro che i costi orari aumentano all'aumentare delle capacità del cassone (Tabella 5.7).

**Tabella 5.7** – Costi unitari per la sola distribuzione dei prodotti.

NB. Gli elevati costi per ettaro derivano dal fatto che è stata utilizzata una dose di materiale equivalente a un contenuto di N di 170 kg/ha.

capacità del cassone (m <sup>3</sup> )	6	10	15	20	28
costi orari distribuzione (€/h)	75	85	100	115	140
costi orari carico (€/h)	50	50	70	70	70
costi orari totali (€/h)	125	135	170	185	210
<b>COMPOST</b>					
costi unitari (€/ha)	82,9	83,7	83,3	87,0	90,9
costi unitari (€/t)	9,12	9,21	9,17	9,58	9,99
costi unitari (€/m <sup>3</sup> )	4,56	4,60	4,58	4,79	5,00
<b>POLLINA</b>					
costi unitari (€/ha)	75,30	75,72	76,65	79,98	83,16
costi unitari (€/t)	8,64	8,69	8,79	9,17	9,54
costi unitari (€/m <sup>3</sup> )	5,18	5,21	5,28	5,50	5,72
<b>LETAME</b>					
costi unitari (€/ha)	124,94	127,38	120,17	125,90	133,00
costi unitari (€/t)	5,51	5,62	5,30	5,55	5,87
costi unitari (€/m <sup>3</sup> )	3,31	3,37	3,18	3,33	3,52
<b>SEPARATO</b>					
costi unitari (€/ha)	801,79	781,88	747,10	751,99	754,44
costi unitari (€/t)	7,07	6,90	6,59	6,64	6,66
costi unitari (€/m <sup>3</sup> )	4,24	4,14	3,96	3,98	3,99

### 5.3.3 Cantiere separato

Sommando i costi della distribuzione e quelli del trasporto sopra calcolati, si ottiene il costo del cantiere separato che risulta poco dipendente dalla capacità del cassone di distribuzione e variabile in funzione del prodotto e della distanza di trasporto, come risulta dal Grafico 5.5. I valori oscillano tra 5-10 €/t per basse distanze a 20-25 €/t a distanze di 50 km.



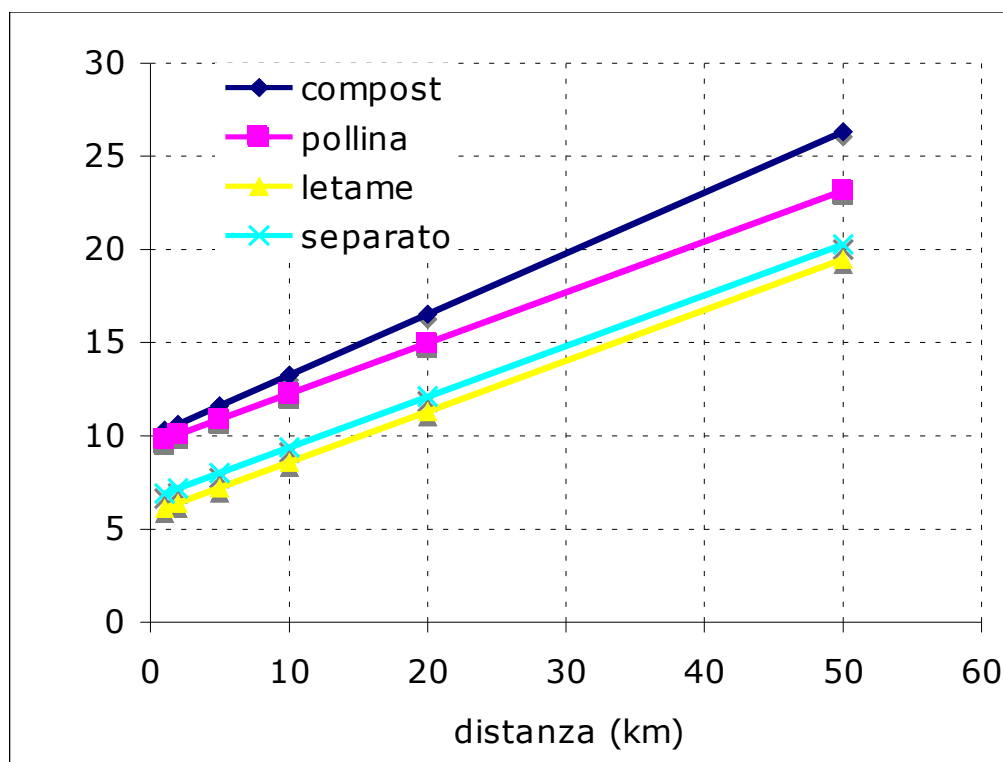


Grafico 5.5 – Costi totali di distribuzione di un cantiere separato (24 m<sup>3</sup>).

### 5.3.4 Cantiere riunito

L'analisi economica per i cantieri riuniti evidenzia un costo fortemente dipendente dalla distanza e dalla capacità del cassone di carico. A distanze elevate i costi di distribuzione sono di circa 30-36 €/t per le macchine di grande capienza, mentre tra 70 e 85 €/t per piccole macchine.

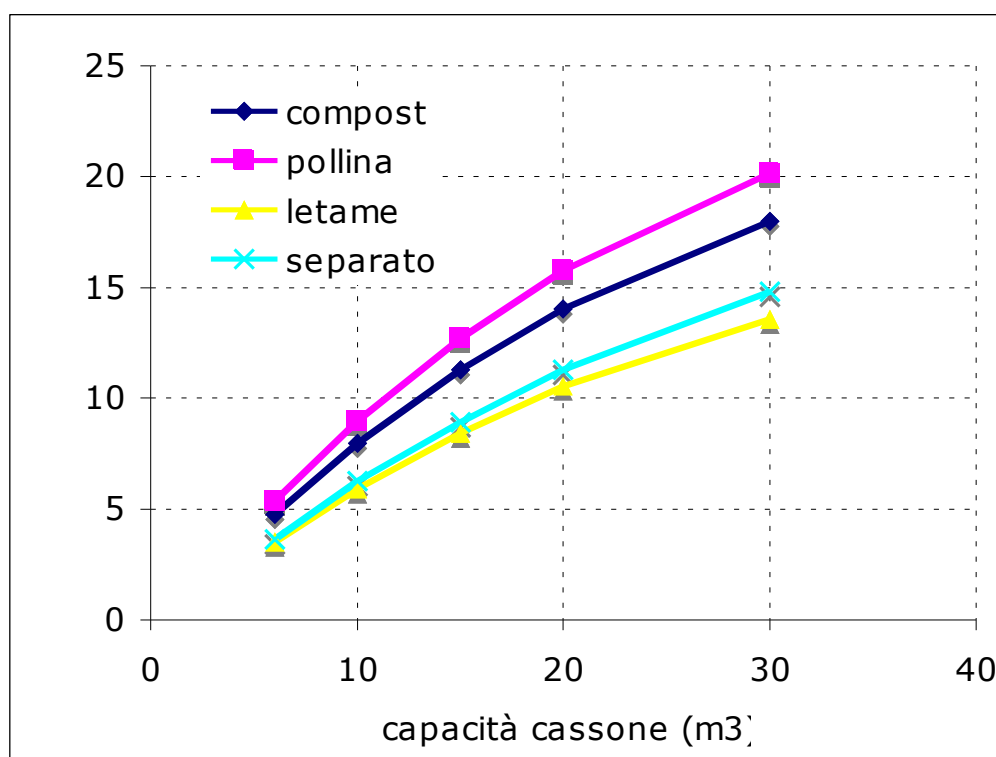
Tabella 5.8 – Costi di distribuzione per un cantiere riunito.

capacità del rimorchio (m <sup>3</sup> )		6	10	15	20	28
<b>COMPOST</b>						
Distanza (km)	1	4,45	3,88	3,70	3,75	3,71
	2	6,12	5,02	4,59	4,51	4,38
	5	11,12	8,42	7,25	6,81	6,38
	10	19,45	14,08	11,70	10,65	9,71
	20	36,12	25,42	20,59	18,31	16,38
	50	86,12	59,42	47,25	41,31	36,38
<b>POLLINA</b>						
Distanza (km)	1	4,19	3,71	3,57	3,65	3,63
	2	5,58	4,66	4,31	4,28	4,19
	5	9,74	7,49	6,53	6,20	5,85
	10	16,69	12,21	10,23	9,40	8,63
	20	30,58	21,66	17,64	15,78	14,19
	50	72,24	49,99	39,86	34,95	30,85

LETAME						
Distanza (km)	1	2,75	2,28	2,10	2,07	2,01
	2	4,14	3,23	2,84	2,71	2,56
	5	8,31	6,06	5,07	4,63	4,23
	10	15,25	10,78	8,77	7,82	7,01
	20	29,14	20,23	16,18	14,21	12,56
	50	70,81	48,56	38,40	33,38	29,23
SEPARATO						
Distanza (km)	1	3,91	3,34	3,16	3,08	2,95
	2	5,30	4,28	3,90	3,72	3,50
	5	9,47	7,11	6,12	5,64	5,17
	10	16,41	11,84	9,82	8,83	7,95
	20	30,30	21,28	17,23	15,22	13,50
	50	71,97	49,61	39,45	34,39	30,17

### 5.3.5 Confronto tra cantiere separato e riunito

La scelta tra un cantiere e l'altro dipende dalla dimensione della macchina distributrice e dal tipo di materiale trattato (Grafico 5.6). Con macchine spanditrici di piccole dimensioni che facciano anche il trasporto del prodotto non conviene superare distanze di 4-5 km dal centro di stoccaggio. Con cassoni di maggiori dimensioni e quindi con le attrezzature più evolute di distribuzione, la distanza oscilla tra i 13 km nel caso di trasporto di letame e i 20 km per la pollina. Situazioni intermedie si hanno per separato e compost. D'altra parte questa evidenza è riscontrabile anche nelle caratteristiche tecniche delle macchine distributrici di grandi dimensioni perché tutte sono attrezzate non solo per la distribuzione ma anche per il trasporto.

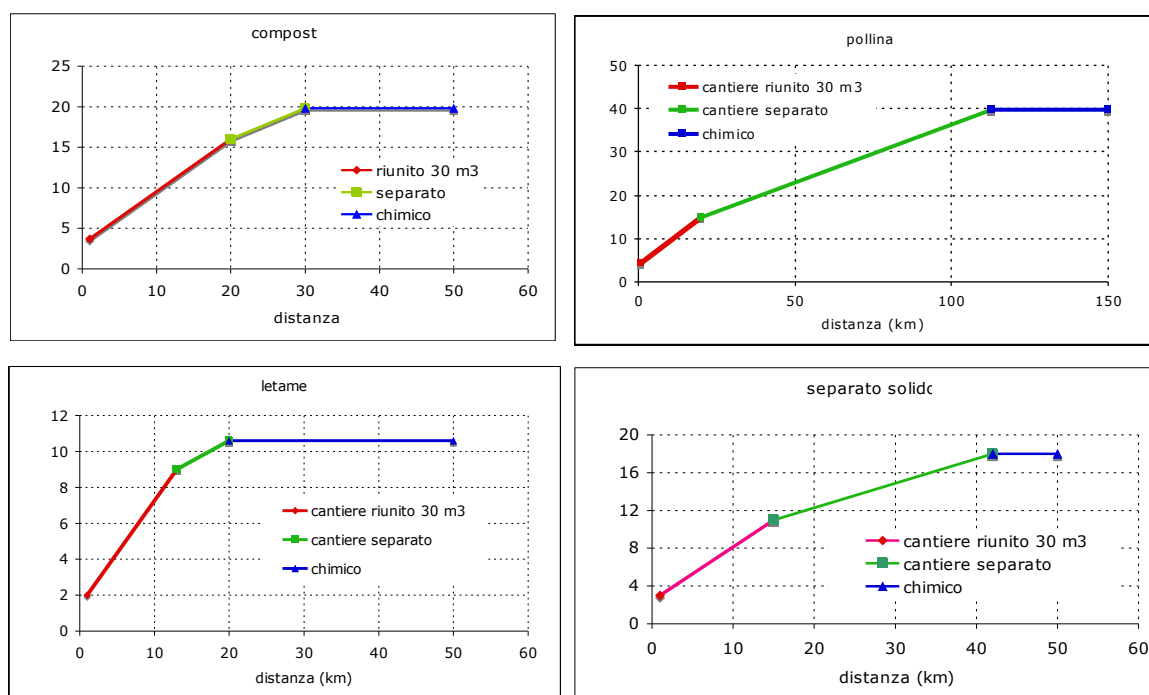


**Grafico 5.6** – Distanze oltre le quali non conviene spingersi con un cantiere riunito.

Prendendo in considerazione il valore di surrogazione dei diversi materiali, ottenuto attribuendo all'unità fertilizzante un valore di 0,94, 0,97 e 0,87 €/kg rispettivamente per N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, questo varia in funzione del "pregio" dei vari materiali e quindi oscillante da 10,6 €/t per il letame a 39,9 €/t per la pollina, con valori intermedi di 17,9 e 19,1 rispettivamente per il separato solido e il compost.

Tale valore di surrogazione permette di definire la distanza massima oltre la quale non conviene trasportare e distribuire il materiale palabile, ipotizzando che questo sia fornito a costo 0.

Naturalmente si ottiene (Grafico 5.7) che i materiali ad alto potere fertilizzante possono essere distribuiti a distanze ragguardevoli (la pollina fino a 113 km), mentre il letame a non più di 20 km.



**Grafico 5.7** – Distanze massime percorribili per la distribuzione dei vari materiali solidi effettuata con cantieri riuniti (di alta capacità), cantieri separati in confronto con l'uso di fertilizzanti chimici.

#### 5.4 Analisi funzionale dei cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi

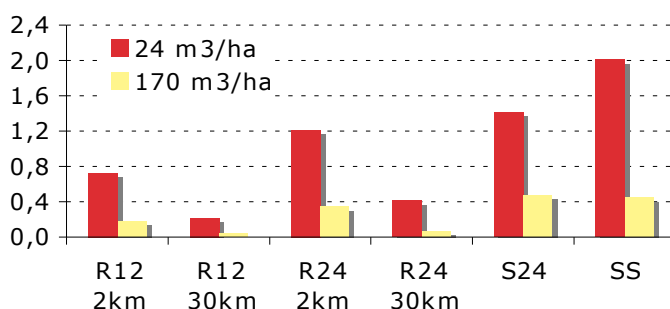
Sono stati scelti tra tutte le numerose possibilità per il trasporto e la distribuzione dei reflui 4 cantieri rappresentativi che differiscono tra loro sia per le capacità di trasporto che dalla separazione o meno di queste due fasi, mentre la distribuzione si considera per tutti quella interrata sottosuperficiale.

- Cantiere riunito con carrobotte a 2 assi della capacità di 12 m<sup>3</sup> trainato da un trattore da 95 kW (R12)
- Cantiere riunito con carrobotte a 3 assi della capacità di 24 m<sup>3</sup> trainato da trattore da 157 kW (R24)
- Cantiere separato con carrobotte a 3 assi della capacità di 24 m<sup>3</sup>, asservito da autocisterne della capacità di 30 m<sup>3</sup> (S24)
- Cantiere separato con trattore polivalente della potenza di 280 kW adibito per la distribuzione di liquami della capacità di 15 m<sup>3</sup> asservito da autocisterne della capacità di 30 m<sup>3</sup> (SS)

Le prestazioni delle quattro soluzioni considerate in termini di capacità di lavoro sono sensibilmente diverse tra loro e questo dipende essenzialmente dai seguenti fattori: le tipologie stesse dei cantieri, la quantità di prodotto distribuito per unità di superficie e la distanza tra l'appezzamento e il punto di prelievo come può essere rilevato nei grafici seguenti (Grafici 5.8 e 5.9).

La capacità reale di lavoro, in termini di superficie trattata nell'unità di tempo (Grafico 5.8) risulta sempre più elevata nei cantieri separati per effetto dei minori tempi morti dovuti al trasporto e carico del materiale necessari nei cantieri riuniti. La più elevata si riscontra per i cantieri semoventi per la maggior larghezza di lavoro adottata (6 m contro i 3 m per i mezzi trainati). I cantieri riuniti che utilizzano volumi di 24 m<sup>3</sup> hanno capacità di lavoro pressoché doppia rispetto a quelli di volume inferiore (12 m<sup>3</sup>) che fanno registrare valori anche bassissimi, soprattutto ad elevate distanze; tra i cantieri separati la capacità di lavoro risulta sempre maggiore per i mezzi semoventi rispetto a quelli trainati dal trattore tranne per elevate dosi di distribuzione a causa dei più frequenti rifornimenti dei semoventi a causa della bassa capacità di carico.

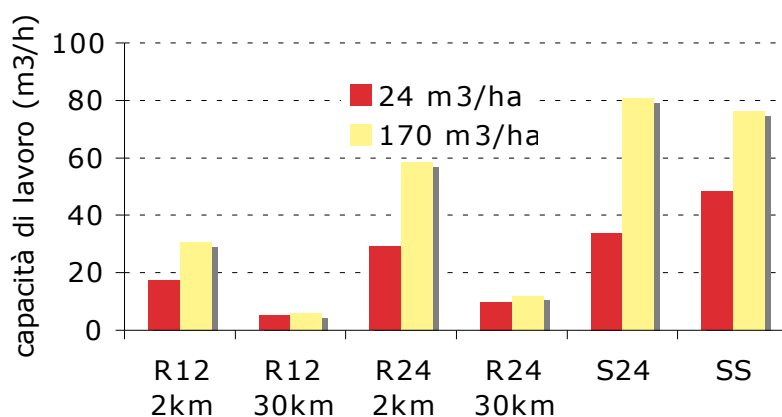
Per basse dosi di prodotto (24 m<sup>3</sup>/ha) la superficie coperta all'ora arriva in questi casi a superare i 2 ha/h nel caso dei mezzi semoventi. I cantieri riuniti risentono invece anche della percorrenza del trasporto e quindi fanno registrare capacità di lavoro sensibilmente più basse, soprattutto per quelle tipologie a bassa capacità di carico. Alla dose massima (170 m<sup>3</sup>/ha) tutte le prestazioni diminuiscono drasticamente non superando i 0,45 ha/h, valori ottenuti per i cantieri separati.



**Grafico 5.8** – Capacità di lavoro (ha/h) caratteristica dei vari cantieri e a diverse distanze per dosi minime e massime.

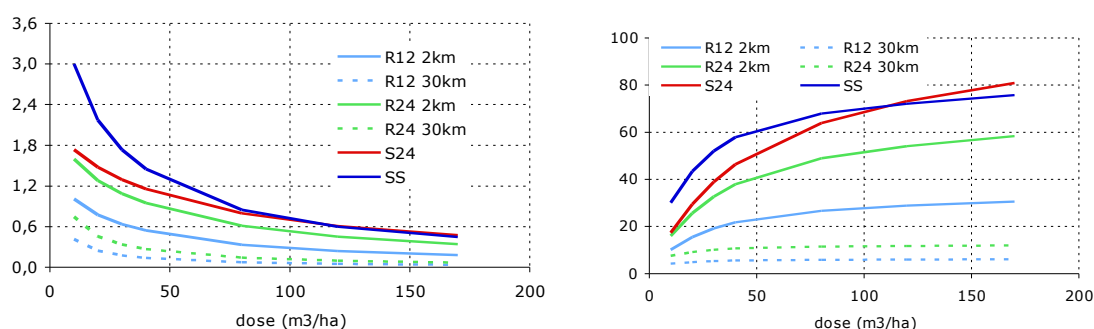
In termini prestazioni riferite al volume distribuito all'ora (Grafico 5.9), che equivale ad una portata reale di distribuzione, osserviamo che maggiori sono le portate all'aumentare delle dosi distribuite e che, in proporzione, le differenze tra i cantieri rimangono inalterate.

In pratica all'aumentare della dose di refluo (che varia in funzione della concentrazione di azoto ferma restando la prescrizione di 170 kg di N/ha) e quindi al diminuire del contenuto di fertilizzante nel liquame, aumenta la quantità di prodotto distribuito nell'unità di tempo, ma si riduce la superficie trattata.

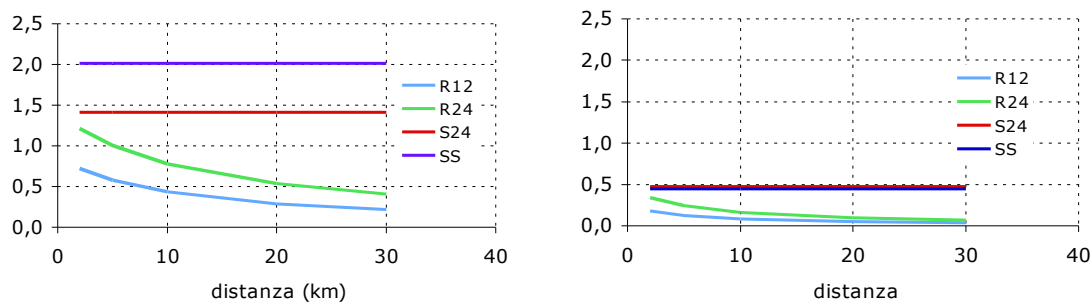


**Grafico 5.9** – Quantità oraria di refluo distribuita dai vari cantieri e per le dosi minime e massime.

L'effetto della dose risulta evidente nel Grafico 5.10 dove si mette in relazione la capacità di lavoro con le dosi utilizzabili. L'aumento delle quantità unitarie tende ad appiattare le prestazioni delle macchine e dei cantieri più complessi soprattutto in termini di superficie oraria, mentre aumentano le quantità orarie distribuite. Buone sono le prestazioni a basse dosi dei cantieri riuniti a 24 m<sup>3</sup> e quelli separati con semoventi, mentre con alti dosaggi le prestazioni delle semoventi sono simili a quelle del cantiere separato trainato (R24) se non inferiori.

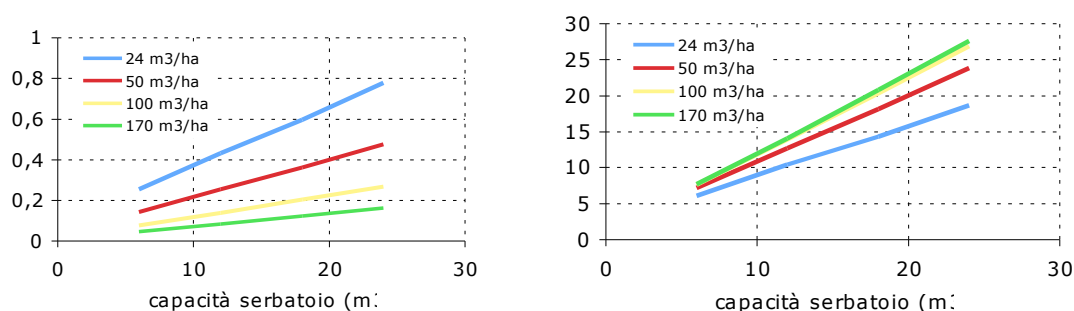


**Grafico 5.10** – Capacità di lavoro dei vari cantieri in funzione della dose adottata.



**Grafico 5.11** – Capacità di lavoro dei vari cantieri in relazione alla distanza tra il luogo di distribuzione e quello di accumulo: a sinistra con dosi di 24 m<sup>3</sup>/ha, a destra con 170 m<sup>3</sup>/ha.

Le prestazioni calano anche in relazione alla distanza tra il luogo della distribuzione e quello di stoccaggio almeno per i cantieri riuniti. Dal Grafico 5.11 sono evidenti le riduzioni della capacità di lavoro a causa dei maggiori tempi di trasporto. I cantieri separati invece non sono affetti da questa tara e mantengono inalterate le loro potenzialità. Anche in questo caso è evidente l'effetto della dose che quando è alta riduce drasticamente i valori di tutti i cantieri.



**Grafico 5.12** – Effetto della capacità del serbatoio della macchina distributrice a cantieri riuniti sulle capacità di lavoro.

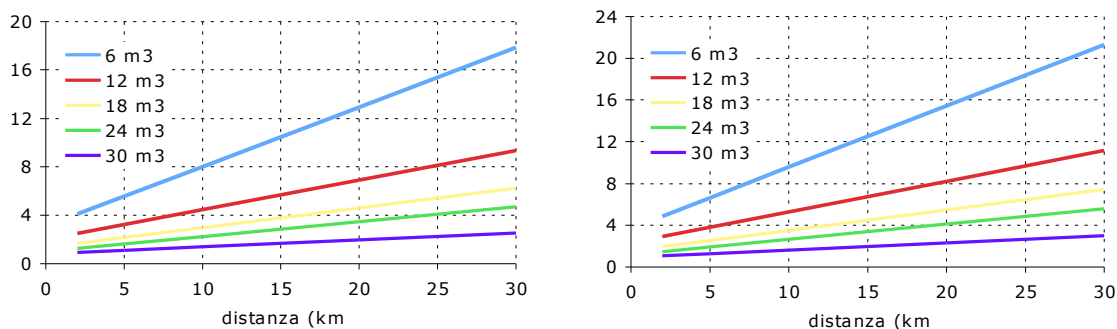
Per i cantieri riuniti la capacità del serbatoio condiziona le prestazioni come visualizzato nel Grafico 5.12. Ad esempio, a bassi dosaggi, passando da una capacità del serbatoio da 6 m<sup>3</sup> a 24 m<sup>3</sup> la capacità di lavoro triplica da 0,25 a 0,78 ha/h o, in termini di portata, da 6 a 17 m<sup>3</sup>/h.

Per quanto riguarda i cantieri separati, invece, a condizionare la capacità di lavoro sono, oltre alle dimensioni delle macchine distributrici, le dimensioni delle navette adibite al trasporto. Il loro numero è molto variabile e dipende anche dalle percorrenze tra appezzamento e centro di stoccaggio. In particolare, per mantenere la piena efficienza del cantiere, occorre un numero di navette tanto maggiore quanto maggiore è la distanza e minore sono le dimensioni del serbatoio; si ha così che per il cantiere S24 basta una navetta da 30 m<sup>3</sup> a 2 km di distanza e 3 a 30 km, mentre ne occorrono 4 e 18 da 6 m<sup>3</sup> rispettivamente a 2 e 30 km di distanza.

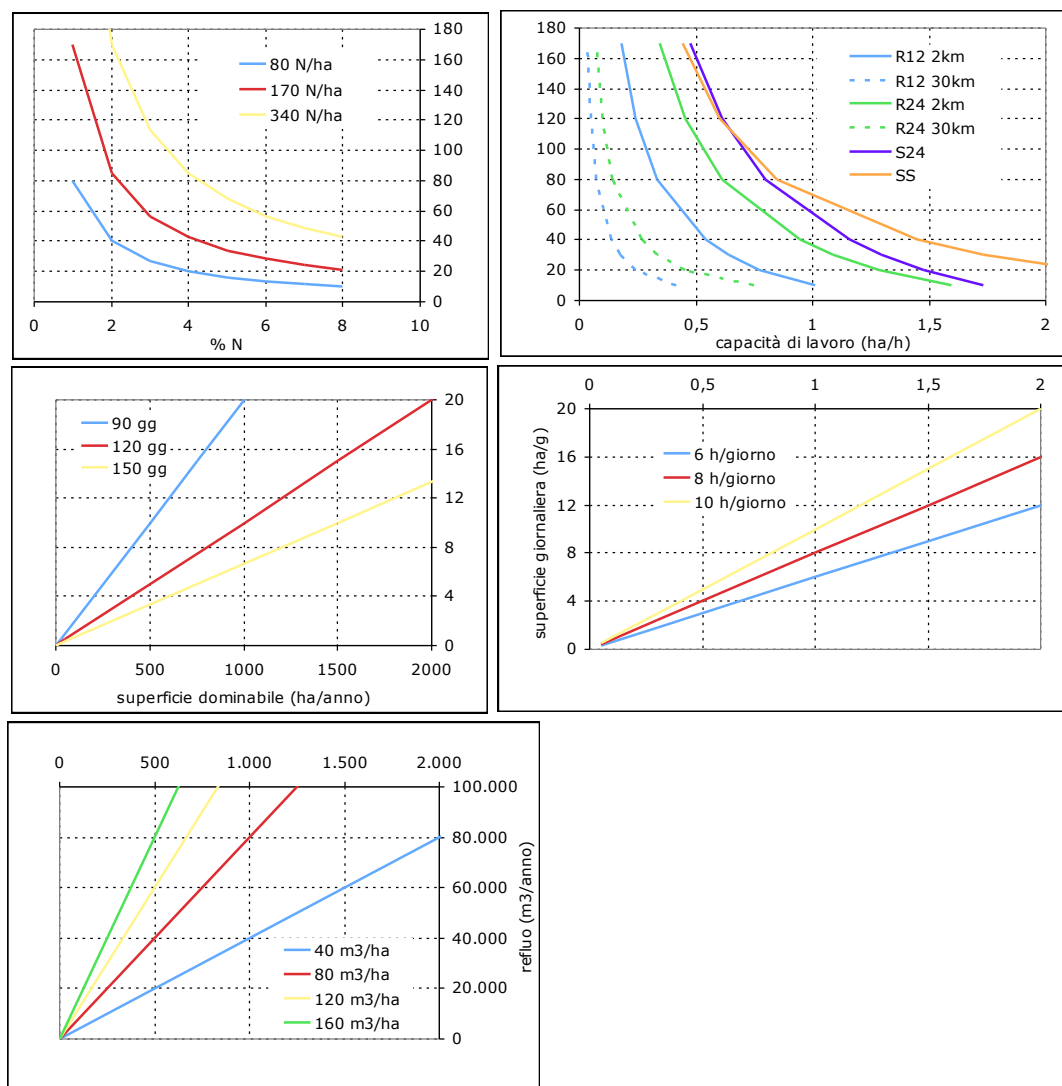
Per elevate distanze, come si vede, i cantieri diventano sempre più complessi e solo una corretta analisi economica permette di valutarne la convenienza.

Valori leggermente superiori si riscontrano per il cantiere SS che utilizza la semovente di elevata capacità di lavoro.

Se il numero di navette è inferiore a quello ottimale si costringe l'operatrice in campo a soste forzate per aspettare i rifornimenti e quindi la capacità di lavoro del sistema diminuisce.



**Grafico 5.12** – Fabbisogno di trasportatori di diversa capacità di carico per i cantieri separati al variare delle distanze. A sinistra il cantiere S24 a destra il cantiere SS semovente.



**Grafico 5.13** – Abaco che riassume il procedimento per dimensionare un cantiere di distribuzione a partire dalle dosi distribuite oppure dalle quantità prodotte annualmente.



L'analisi della capacità di lavoro è fondamentale per poter scegliere e dimensionare il giusto cantiere di lavoro. Un procedimento di questo tipo deve tenere in considerazione il quantitativo totale di refluo da distribuire, la superficie necessaria per la distribuzione e il periodo utile concesso per l'utilizzazione agronomica degli effluenti. D'altro canto occorre considerare anche la concentrazione azotata del prodotto e il limite massimo di questo distribuibile per unità di superficie (170 o 340 kg N/ha) previsto dalla normativa.

Chiaramente, come si evince dal primo riquadro del Grafico 5.13, maggiore è il contenuto in Azoto del liquame, minore sarà la dose distribuibile per ettaro, fermo restando il limite normativo. Ottenuto questo valore e conoscendo il quantitativo di refluo da distribuire annualmente, occorre calcolare il periodo utile di spandimento (in ore) che si ottiene moltiplicando i giorni disponibili per le ore di lavoro giornaliere. Dividendo il quantitativo di refluo annuo per le ore del periodo utile si ottiene la capacità di lavoro reale che dovrebbe avere il cantiere.

I cantieri meno produttivi hanno forti limitazioni quando occorre distribuire in ristretti periodi e con elevate quantità di prodotto. In questi casi è necessario prevedere l'introduzione di un numero sufficiente di mezzi per soddisfare la capacità di lavoro desiderata.

Se i cantieri disponibili sono in grado di soddisfare un ampio intervallo di prestazioni operative, da 0,2 a oltre 2 ha/h ad ogni livello di dose, altri parametri si dimostrano essenziali per il corretto dimensionamento tecnico dei cantieri, tra questi il periodo utile. Un allungamento del periodo utile per l'utilizzazione agronomica consente di aumentare la superficie dominabile e quindi di distribuire maggiori quantità di refluo oppure, a parità di superficie, permette di adottare un cantiere meno oneroso, più semplice ed economico.

#### 5.4.1 Aspetti funzionali dello spandimento con tubazioni

Occorre distinguere la fase di solo trasporto da quella della distribuzione. La fase di distribuzione è responsabile degli aspetti funzionali ed organizzativi, quella di trasporto influenza gli aspetti economici.

La fase di trasporto può essere realizzata con gli elementi sopra descritti fino al raggiungimento del liquido a bordo campo. La pompa e le tubazioni considerate nell'analisi hanno le caratteristiche riportate nella Tabella 5.9 e 5.10.

**Tabella 5.9** – Caratteristiche del gruppo di pompaggio.

<b>GRUPPO POMPAGGIO</b>				
Portata nominale (m <sup>3</sup> /h)	25	50	100	200
Potenza (kW)	20	45	90	150
Massa (kg)	400	500	700	1000
Prezzo d'acquisto (€/kW)	150	150	120	120
Durata economica (anni) (n)	10	10	10	10
Durata fisica (ore) (Nh)	10000	10000	10000	10000

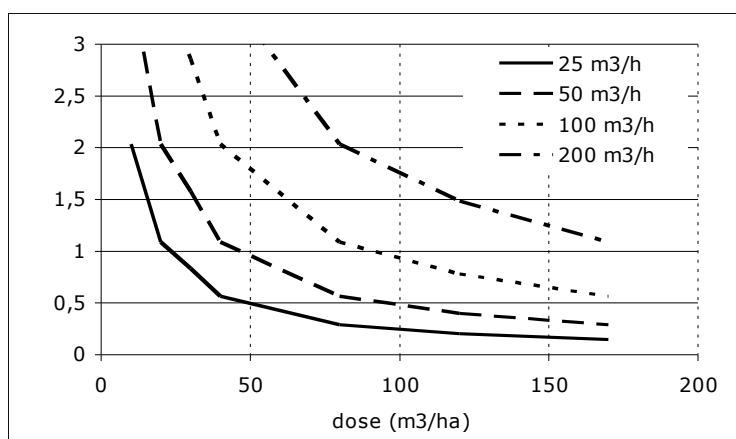
**Tabella 5.10** – Caratteristiche della tubazione.

<b>TUBAZIONE</b>	
Massa (kg/m)	10
Prezzo d'acquisto e posa (€/m)	25
Durata economica (anni) (n)	15
Durata fisica (ore) (Nh)	4000

La fase di trasporto non copre distanze maggiori di 10-15 km più per motivi tecnici che economici.

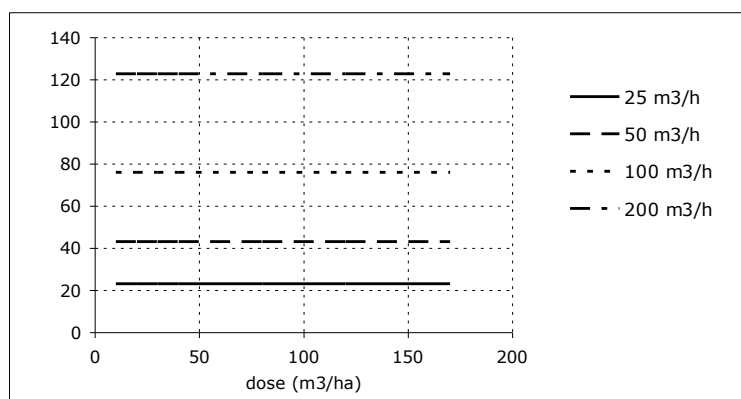
Infatti, dato il materiale da trasportare che presenta una certa viscosità e una discreta presenza di materiale in sospensione, al fine di mantenere costante la portata in uscita con una pressione minima di 3-4 bar, deve essere opportunamente dimensionata la tubazione nelle sue sezioni interne. Infatti, premesso la pressione in uscita, in entrata non si possono superare pressioni di 10-11 bar, a causa di limiti tecnici delle pompe impiegate e di pressioni non sostenibili dalle tubazioni stesse. Per ovviare a tale inconveniente, l'unica soluzione è porre delle pompe di rilancio con buffer di prelievo. Questa soluzione oltre a far moltiplicare i costi di installazione e di esercizio delle pompe, deve prevedere una serie di valvole di sovrappressione che vadano a arrestare o ripartire a cascata le diverse stazioni di pompaggio installate.

La capacità di lavoro nella fase di distribuzione, ipotizzata con interratori sottosuperficiali, è confrontabile con quella dei canteri separati, dal momento che non sono previste interruzioni per i rifornimenti, ma solo maggior cautela nelle voltate e nelle manovre a bordo campo. All'aumentare della dose (Grafico 5.14) si riducono progressivamente e sono maggiori negli impianti con maggior portata.



**Grafico 5.14** – Capacità di lavoro con rifornimento da tubazione.

Evidentemente la massima potenzialità dell'impianto non viene mai raggiunta a causa dei tempi accessori che si verificano in campo e dei tempi di preparazione del sistema. E' chiaro quindi che le capacità di lavoro espresse in quantità distribuita nell'unità di tempo sono quelle riportate nel Grafico 5.15 e si riducono ulteriormente quando la superficie da trattare è piccola. A questo proposito è bene che ciascuna particella non abbia una superficie inferiore a 2 ha.



**Grafico 5.15** – Capacità di lavoro espresso in quantità distribuita nell'unità di tempo.

## 5.5 Analisi economica dei cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi

La riduzione dei costi per trasporto e distribuzione sembra essere uno dei punti nodali della corretta gestione dei reflui. Le strade da seguire sono diverse: ridurre i volumi, arricchire o concentrare il prodotto e migliorare i cantieri di trasporto e distribuzione.

La riduzione dei volumi interessa essenzialmente la tipologia di stabulazione dell'allevamento e la relativa impiantistica, come pure il processo di concentrazione si può attuare nelle fasi di allevamento e soprattutto di trattamento successivo. Entrambi consentono di ridurre i costi di movimentazione e aumentare il valore fertilizzante del prodotto.

La possibilità di contenere i costi logistici dipende dalla scelta del sistema di trasporto da utilizzare, che deve essere dimensionato sulla base delle distanze da percorrere per raggiungere i terreni adibiti allo spandimento e delle quantità movimentate.

Innanzitutto la localizzazione dei nuovi centri di trattamento oppure il posizionamento di punti di accumulo temporanei e mobili devono essere quanto più possibile vicini sia ai produttori di deiezioni zootecniche, sia ai fruitori, collegati e magari adiacenti alla rete stradale e quanto più possibile distanti dai centri abitati (per problemi di traffico dovuto ai mezzi di trasporto e di rilascio di odori molesti nell'atmosfera).

A seconda poi delle caratteristiche del refluo (materiale liquido tal quale o trattato, separato, digestato, ecc.) i cantieri cambiano, ma fundamentalmente le configurazioni possono prevedere la distribuzione congiunta con il trasporto e quella separata da questo. Nel primo caso (cantieri riuniti) la macchina distributrice funge anche da trasportatore del materiale, mentre nel secondo (cantieri separati) le due funzioni sono svolte da due macchine distinte. Nella distribuzione a cantieri separati la sequenza delle operazioni prevede, dopo il trasporto, la ripresa del materiale deposto eventualmente in cisterne mobili di accumulo nei pressi degli appezzamenti con le varie soluzioni previste per il carico e successivamente la distribuzione in campo.

I cantieri di trasporto più economici sono quelli caratterizzati da elevata portata utile (> 30 t) come l'autoarticolato o l'autocisterna e da efficaci dispositivi per il rifornimento del materiale, mentre la convenienza tra un cantiere e l'altro dipende essenzialmente dalla distanza da percorrere, dalla capacità del serbatoio e dal tipo di prodotto movimentato. Nella determinazione delle distanze massime dominate da un cantiere, occorre infine ricordare che questo valore dipende anche dalla dose distribuita, il valore fertilizzante del refluo, il prezzo dei concimi minerali che verrebbero sostituiti dai reflui e della loro distribuzione, il costo sostenuto per l'asservimento di nuovi terreni su cui effettuare lo spandimento, ecc.

Nel caso specifico l'analisi economica è stata fatta confrontando i quattro cantieri analizzati precedentemente utilizzando le grandezze e i parametri riportati nella Tabella 5.11.

Tabella 5.11 – Principali parametri utilizzati per il calcolo dei costi dei vari cantieri.

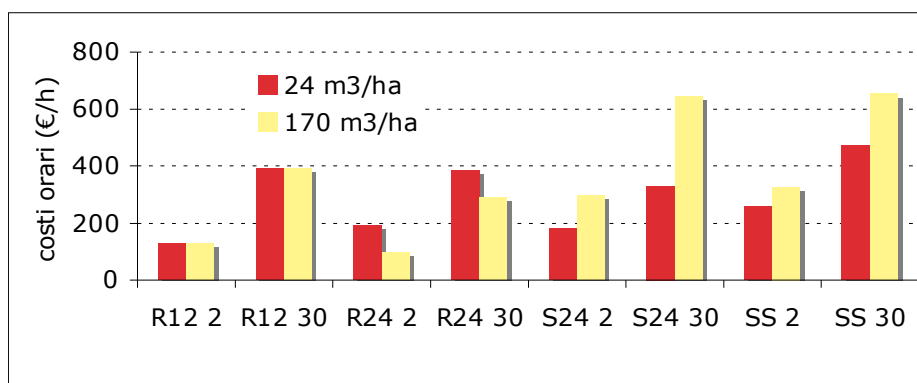
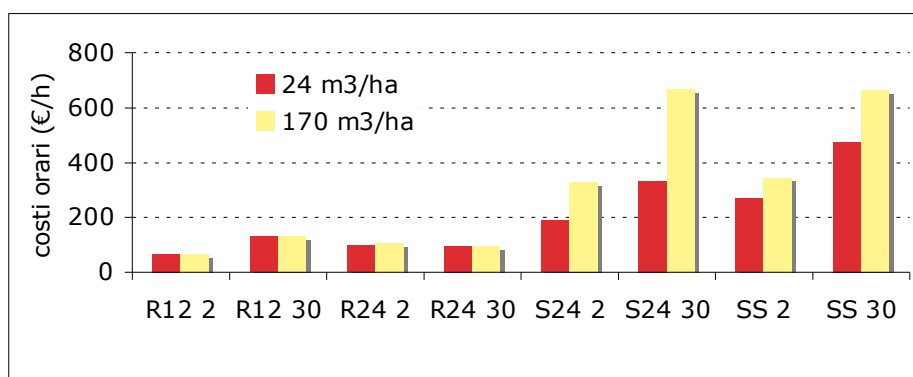
Cantieri	R12	R24	S24	SS
<b>MOTRICE</b>				
Potenza (kW)	95	157	157	280
Massa (kg)	5200	7400	7400	12000
Prezzo d'acquisto (€/kW)	780	790	790	1250
Valore di recupero (%)	15	15	15	15
Durata economica (anni) ( <i>n</i> )	10	10	10	10
Durata fisica (ore) ( <i>Nh</i> )	10000	10000	10000	10000
Saggio d'interesse costo-opport.(%) ( <i>r</i> )	3	3	3	3
Quota spese varie di ricovero (%) ( <i>Qri</i> )	0,5	0,5	0,5	0,5
Quota altre spese varie (%) ( <i>Qs+Qt+Qd</i> )	0,6	0,6	0,6	0,6
Fattore di riparazione ( $\alpha$ )	0,7	0,7	0,7	0,7
Tempo di manutenzione (h man./h lav.) ( $\beta$ )	0,07	0,07	0,07	0,07
Utilizzazione annua (h/anno) ( <i>Uo</i> )	800	800	800	800
Compenso manutentore (€/h)	25	25	25	25
Consumo specifico carburante (kg/kWh) ( <i>cs</i> )	0,25	0,25	0,25	0,25
Consumo specifico lubrificante (kg/kWh) ( <i>cs</i> )	0,001	0,001	0,001	0,001
Carico motore ( <i>CM</i> )	0,6	0,6	0,6	0,6
Prezzo gasolio (€/kg)	0,7	0,7	0,7	0,7
Prezzo lubrificante (€/kg)	5	5	5	5
<b>OPERATRICE</b>				
Massa (kg)	2800	4500	4500	1500
Prezzo d'acquisto (€)	25000	55000	55000	20000
Valore di recupero (%)	15	15	15	15
Durata economica (anni) ( <i>n</i> )	15	15	15	15
Durata fisica (ore) ( <i>Nh</i> )	4000	4000	4000	4000
Saggio d'interesse costo-opport.(%) ( <i>r</i> )	3	3	3	3
Fattore di riparazione ( $\alpha$ )	1	1	1	1
Coefficiente di manutenzione (h man./h lav.) ( $\beta$ )	0,05	0,05	0,05	0,05
Consumo di lubrificante (kg/h)	0,025	0,025	0,025	0,025
Compenso manutentore (€/h)	25	25	25	25
Prezzo lubrificante (€/kg)	5	5	5	5
<b>CANTIERE</b>				
Persone occorrenti (Numero)	1	1	1	1
Compenso del personale (€/h)	25	25	25	25

### 5.5.1 Costi orari

Effetto quantità annua di liquame: l'aumento della quantità annua di liquame porta ad un aumento del costo orario soprattutto per i cantieri riuniti passando da valori attorno a 100 €/h a 10.000 m<sup>3</sup>/anno a valori doppi o tripli per quantitativi di 50.000 m<sup>3</sup>/anno. Questo si verifica soprattutto se le distanze tra appezzamento e punto di stoccaggio sono elevate. Inoltre la bassa capacità di lavoro dei cantieri riuniti obbliga l'adozione di più cantieri per poter soddisfare le esigenze di tempestività e quindi i costi aumentano proporzionalmente. Per i cantieri separati, sia trainati che semoventi, i valori risultano decisamente superiori a quelli dei cantieri riuniti, soprattutto a bassi quantitativi, a causa dei maggiori investimenti richiesti, ma l'effetto dell'aumento della quantità di liquame non è evidente (Tabella 5.12 e Grafico 5.16).

**Tabella 5.12** - Costi orari dei cantieri per quantità di refluo annuo prodotto, dose e distanze.

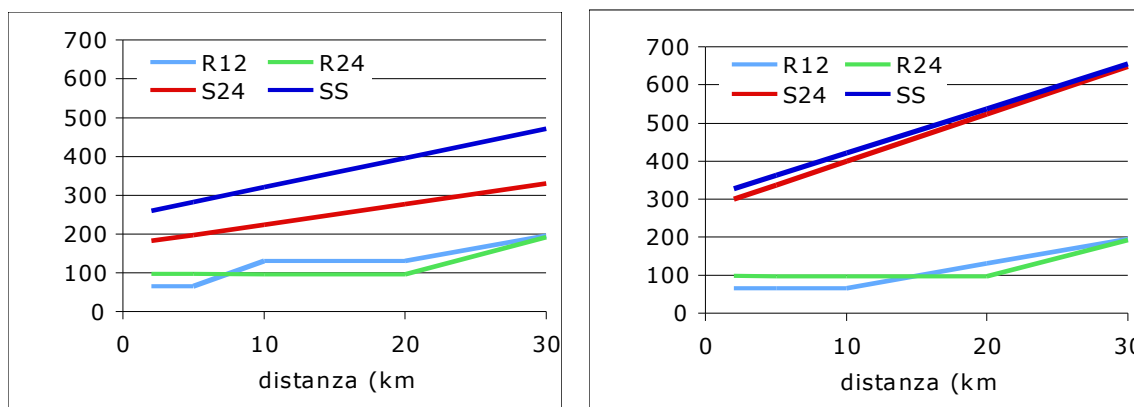
Sigle dei cantieri	Distanza (km)	10.000 m <sup>3</sup> /anno		20.000 m <sup>3</sup> /anno		50.000 m <sup>3</sup> /anno	
		24 m <sup>3</sup> /ha	170 m <sup>3</sup> /ha	24 m <sup>3</sup> /ha	170 m <sup>3</sup> /ha	24 m <sup>3</sup> /ha	170 m <sup>3</sup> /ha
R12	2	65,60	66,01	65,32	65,52	130,47	130,47
	30	130,47	130,47	195,71	195,71	391,41	391,41
R24	2	97,92	106,44	96,89	97,90	192,59	96,67
	30	96,55	96,69	192,59	192,59	385,17	288,88
S24	2	188,56	327,59	182,06	299,68	180,55	295,23
	30	332,88	667,32	330,36	648,80	329,12	644,99
SS	2	270,11	344,44	260,65	327,50	259,15	325,14
	30	475,57	662,76	471,79	654,61	470,69	652,86

**Grafico 5.16** – Costi orari dei cantieri in funzione delle dosi distribuite e delle distanze. Sopra con quantitativi di 10.000 m<sup>3</sup>/anno, sotto con 50.000 m<sup>3</sup>/anno.

**Effetto dose:** la dose distribuita per unità di superficie non sembra avere effetto sui costi orari nei cantieri riuniti, ma per i cantieri separati il costo orario di distribuzione aumenta all'aumentare di questa, avvalorando il concetto che tali macchine risultano più efficienti quando i quantitativi da distribuire sono limitati.

All'aumentare delle distanze aumentano i costi orari perché si deve ricorrere ad un maggior numero di mezzi per asservire il cantiere.

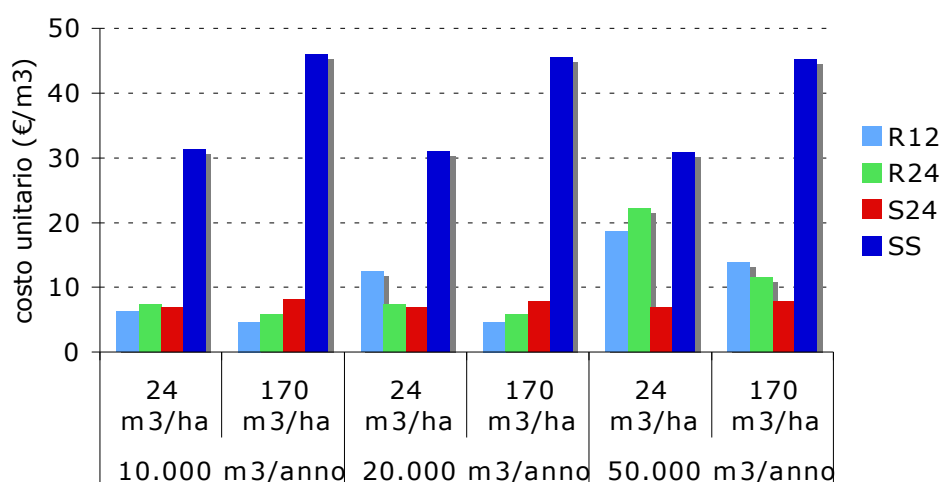
Nel Grafico 5.17 viene considerato l'effetto della distanza su costi orari per i vari cantieri e per dosi basse (24 m<sup>3</sup>/ha) e alte (170 m<sup>3</sup>/ha). Il cantiere semovente ha sempre i costi orari più alti ma si avvicinano al trainato per le alte dosi. I cantieri riuniti, a prescindere dalle dimensioni, sono caratterizzati da costi orari simili e sempre più bassi dei separati.



**Grafico 5.17** – Andamento dei costi orari dei cantieri al variare delle distanze da percorrere. A sinistra con dosi di 24 m<sup>3</sup>/ha, a destra con dosi di 170 m<sup>3</sup>/ha.

### 5.5.2 Costi unitari

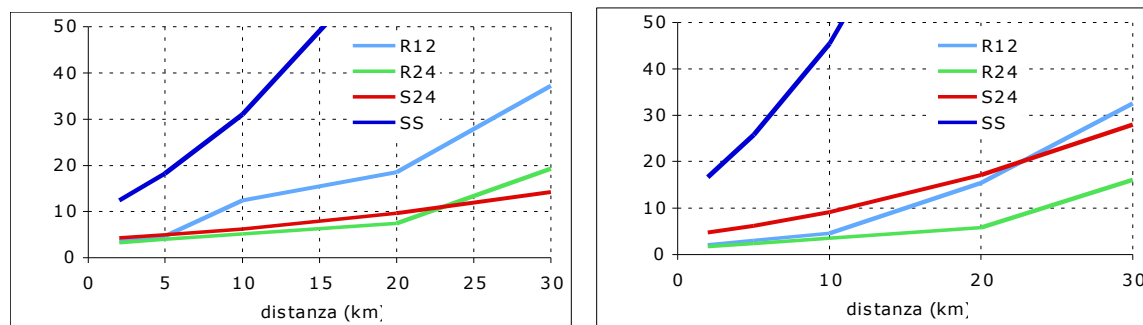
Il cantiere con semovente ha i maggiori costi unitari degli altri cantieri a causa dell'elevato costo di investimento e della bassa capacità di carico che lo rende poco economico anche nei confronti del cantiere separato trainato. In effetti se la capacità effettiva di lavoro risulta elevata per il sistema semovente, per la maggior potenza installata nella motrice che permette una velocità più elevata e una larghezza di lavoro maggiore, questa viene penalizzata dalla bassa capacità di carico che costringe a frequenti rifornimenti, tanto maggiori quanto maggiore è la dose distribuita. I minori costi unitari si hanno con il cantiere riunito da 12 m<sup>3</sup> per quantitativi distribuibili annualmente attorno a 10.000 m<sup>3</sup> e con alte dosi e con il cantiere separato trainato S24 per quantitativi maggiori e le basse dosi. Il Grafico 5.18 visualizza i risultati del confronto per distanze di 10 km.



**Grafico 5.18** – Costi unitari per i cantieri al variare delle dosi e dei quantitativi annui per distanze medie di 10 km.

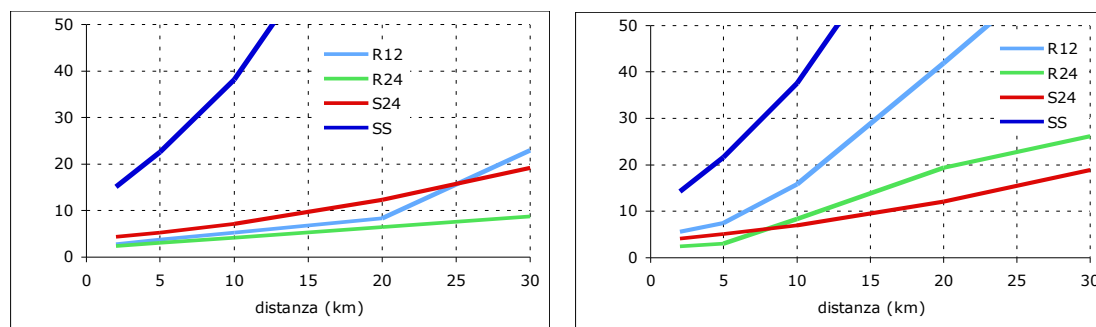
Al variare delle distanze otteniamo (Grafico 5.19) che i cantieri che risultano più economici per unità di prodotto distribuito sono quelli a maggiore volume di carico (24 m<sup>3</sup>): il cantiere riunito (R24) fino a distanze di 22 km per dosi basse (24

$\text{m}^3/\text{ha}$ ) e sempre conveniente per tutte le distanze con dosi elevate. Il cantiere separato S24 risulta conveniente oltre i 22 km per le dosi più basse.



**Grafico 5.19** – Andamento dei costi unitari all'aumentare delle distanze per i quattro cantieri con dosi basse (a sinistra) e alte (a destra) con quantitativi annui di  $20000 \text{ m}^3$ .

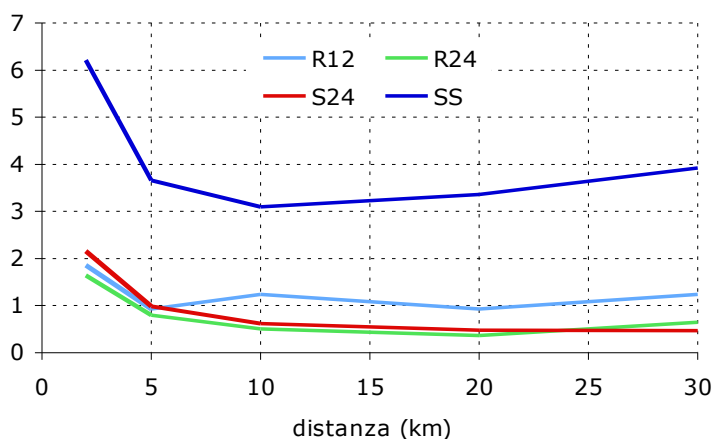
Anche le quantità distribuite ha effetto sui costi unitari soprattutto nella discriminazione tra i cantieri separati e riuniti alle più alte quantità di prodotto distribuibile annualmente (Grafico 5.20). Con bassi quantitativi annui risulta sempre conveniente (a dose di  $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) il cantiere riunito di  $24 \text{ m}^3$ , mentre con quantitativi più elevati conviene il cantiere separato S24 a partire da distanze di 8 km.



**Grafico 5.20** – Costi unitari dei cantieri al variare delle distanze per quantitativi annui di 10000 (a sinistra) e  $50000 \text{ m}^3/\text{anno}$  (a destra) con una dose di  $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

I costi unitari per chilometro oscillano tra  $0,4$  e  $2,1 \text{ €/m}^3 \cdot \text{km}$  in funzione delle distanze per tutti i cantieri tranne quello semovente che invece si mantiene attorno a valori di molto superiori ( $3-4 \text{ €/m}^3 \cdot \text{km}$ ), come visualizzato nel Grafico 5.21. I cantieri di maggior capacità di carico sono quelli più convenienti da questo punto di vista, sia separati che riuniti.

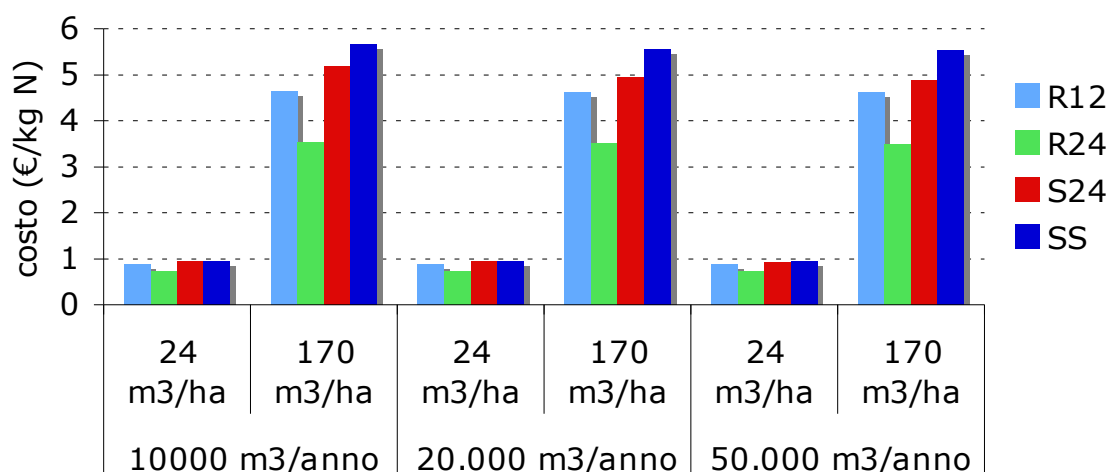




**Grafico 5.21** – Costi unitari chilometrici al variare delle distanze per i cantieri considerati. I calcoli sono stati eseguiti utilizzando basse dosi e quantitativi annui di 20.000 m<sup>3</sup>.

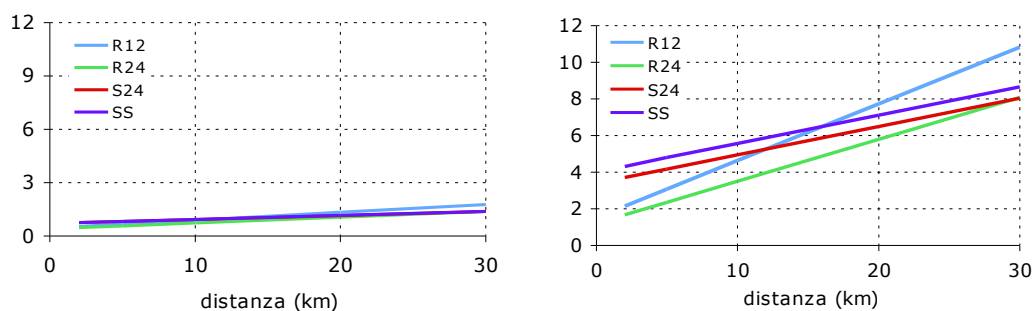
### 5.5.3 Costi per unità fertilizzante

Il costo per unità fertilizzante azotato viene utilizzato in questa relazione per comparare la distribuzione di fertilizzante organico liquido con quella di materiale chimico di sintesi. Tale costo varia orientativamente da valori inferiori all'unità fino a raggiungere e oltrepassare i 12 €/kg N. Le ampie variazioni sono essenzialmente dovute alla dose distribuita per ettaro e alla distanza. La quantità annua di prodotto ha scarsa influenza. Nel Grafico 5.22, dove sono visualizzati i costi per unità fertilizzante per distanze di 10 km, sono evidenti questi effetti. A questa distanza il cantiere meno dispendioso è quello riunito con capacità di 24 m<sup>3</sup>.



**Grafico 5.22** – Costi per unità fertilizzante azotata dei cantieri al variare delle dosi e dei quantitativi annui da distribuire e per distanze di 10 km.

Anche a distanze maggiori la convenienza del cantiere R24 si mantiene come dimostra il Grafico 5.23 che evidenzia anche l'effetto della distanza sui costi unitari. A basse dosi tale costo varia da 0,8 a 1,8 €/kg N per tutti i cantieri da 2 a 30 km di distanza, mentre alle dosi massime il costo varia parecchio per cantiere e per le distanze. Per il cantiere più economico (R24) i costi variano da 0,7 a 2,5 €/kg N passando da 2 a 30 km di distanza.

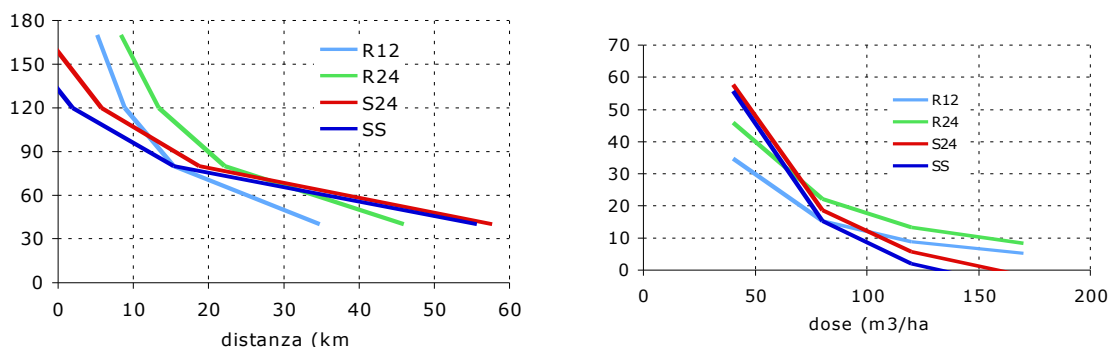


**Grafico 5.23** – Costi per unità fertilizzante dei cantieri al variare della distanza per basse dosi (a sinistra) e per alte dosi (a destra).

La determinazione del costo della distribuzione per unità fertilizzante contenuta nel refluo può essere utile per individuare per ogni cantiere la distanza massima oltre la quale non conviene spingersi per non rendere antieconomica la distribuzione organica. In altre parole, ipotizzando che al prodotto non venga attribuito alcuna valore economico, si cerca di confrontare il costo della distribuzione del refluo con la distribuzione di un concime minerale in cui, viceversa, il costo del fertilizzante è preponderante rispetto alla sola sua distribuzione.

Il valore di surrogazione del liquame è stato in questa sede calcolato considerando il valore di un concime complesso con un simile rapporto N:P:K del liquame (nello specifico un complesso 15 15 15). Il costo del concime minerale per unità fertilizzante è quindi risultato pari a 3,13 €/kg e questo valore è stato adottato come valore di soglia per definire la convenienza della fertilizzazione organica.

Si verifica, sulla base dei risultati esposti finora e per tutti i cantieri, che le distanze massime di convenienza si riducono all'aumentare della dose distribuita (Grafico 5.24) e che il cantiere R24 è effettivamente più conveniente fino a distanze di 25 km e per dosi superiori a 75 m<sup>3</sup>/ha. Per distanze superiori e con dosi più basse conviene utilizzare i cantieri separati a elevate capacità di carico sia trainati che semoventi.

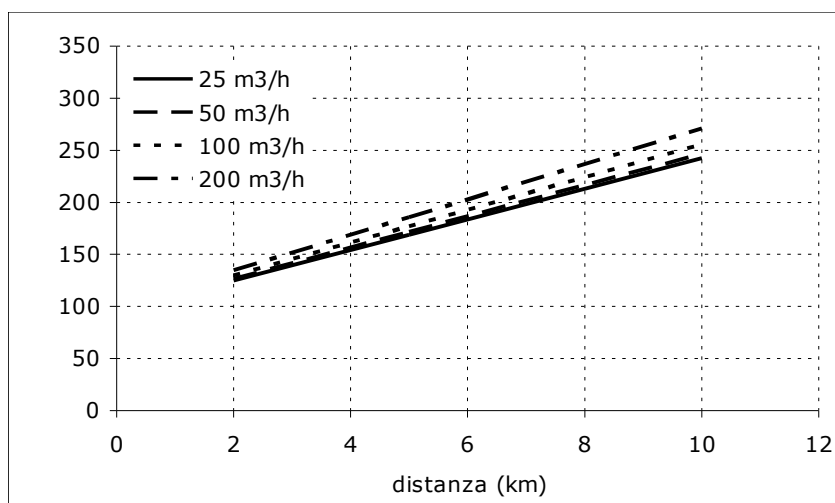


**Grafico 5.24** – Distanze e dosi di soglia per l'utilizzo economico del refluo zootecnico per i 4 cantieri prendendo come riferimento il costo dell'unità fertilizzante dei concimi minerali.

### 5.6 Analisi economica della distribuzione con tubazioni

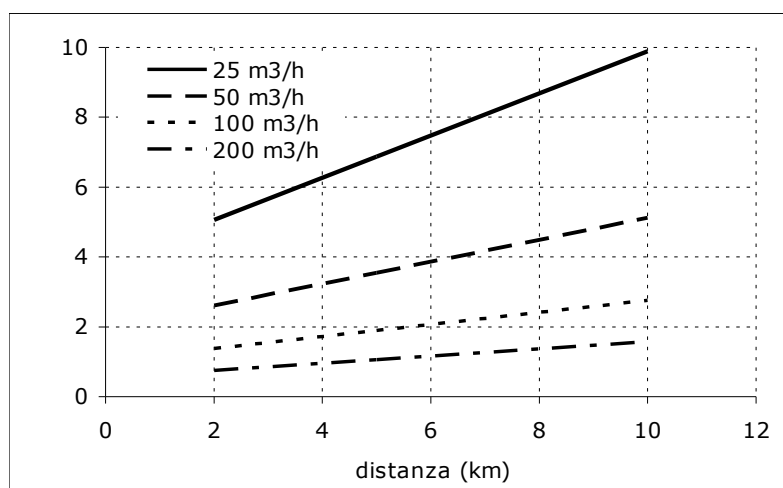
Il solo trasporto intra-aziendale costa, per distanze non superiori a 10 km fino a 3,5 €/m<sup>3</sup>: valori più alti sono attribuiti agli impianti di minor potenza (25 m<sup>3</sup>/h di portata) rispetto a quelli con pompe di portata di 200 m<sup>3</sup>/h. Il costo per unità di volume e di distanza è alto per bassi raggi d'azione ma tende a stabilizzarsi oltre i 2 km attorno a valori oscillanti da 0,1 a 0,6 €/m<sup>3</sup> km rispettivamente per alte e basse portate della pompe.

L'intero cantiere costa da 150 a 250 €/h di lavoro in funzione della lunghezza della tubazione e della potenza della pompa. Le differenze in questo senso sono di qualche decina di euro (Grafico 5.25).



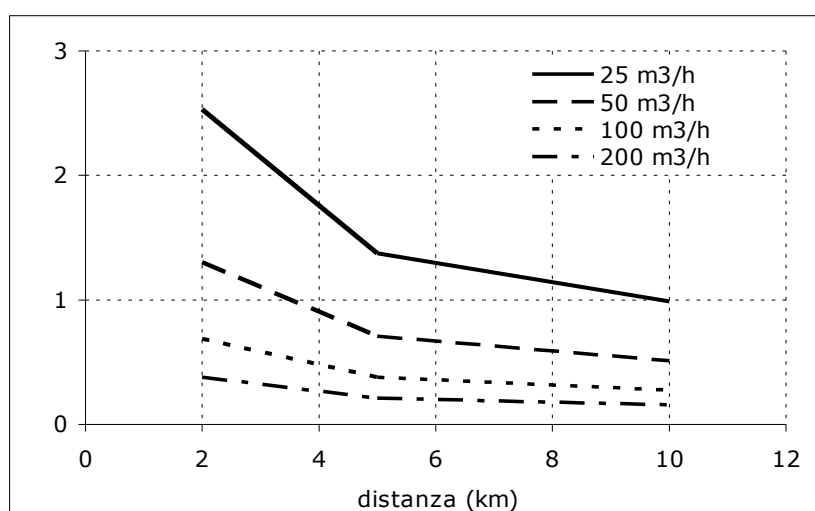
**Grafico 5.25** – Costo orario della distribuzione mediante trasporto con tubazioni.

Analizzando i costi dell'impianto in funzione delle quantità distribuite (Grafico 5.26) emerge che tali costi sono sempre confrontabili con quelli dei cantieri gommati e spesso hanno costi inferiori. Questo si verifica per gli impianti di maggior portata ad esclusione della pompa da 25 m<sup>3</sup> i cui costi unitari sono maggiori del cantiere gommato più economico.



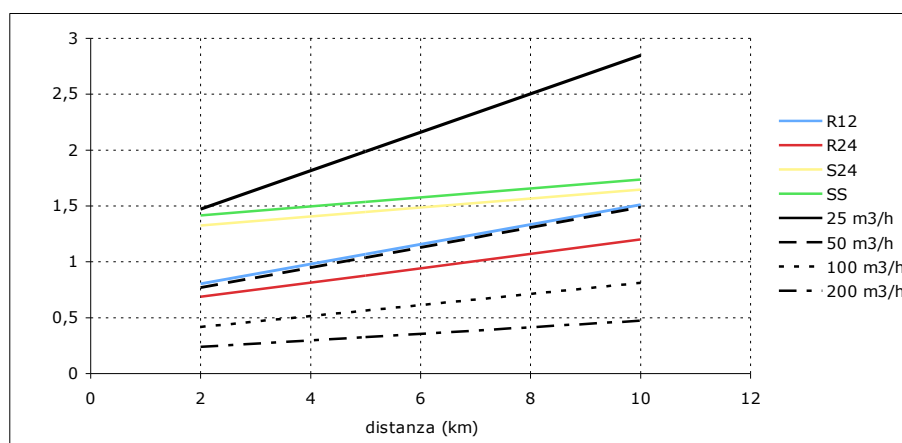
**Grafico 5.26** – Costo per quantità distribuita.

I costi per unità di prodotto e per chilometro sono anch'essi confrontabili con quelli gommati e inferiori a questi per gli impianti di elevata portata (Grafico 5.27).



**Grafico 5.27** – Costo per unità di prodotto.

Il costo per unità fertilizzante degli impianti a tubazione interrata oscilla di molto in funzione della dose distribuita e della portata delle pompe. All'aumentare delle dosi sembra convenire il trasporto su strada, mentre per dosi di 25-50 m<sup>3</sup>/ha sembra essere conveniente la tubazione con portata da 100 a 200 m<sup>3</sup>/h (Grafico 5.28).



**Grafico 5.28** – Costo della distribuzione per unità fertilizzante eseguita con sistemi gommati (cantieri riuniti e separati) e impianti di tubazione interrati di diversa portata con una dose di 50 m<sup>3</sup>/ha.

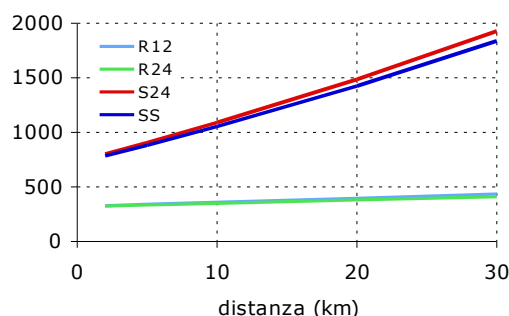
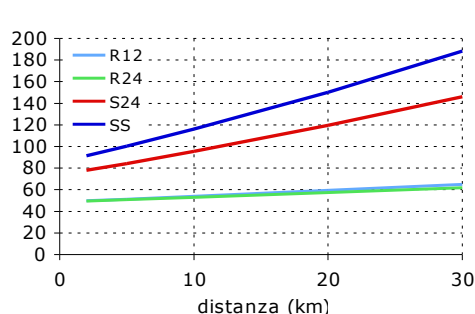
### 5.7 Analisi energetica e del Carbonio nei cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi

Il fabbisogno energetico unitario richiesto ricalca in qualche modo quello economico e ne segue gli andamenti. Si è comunque scelto il contenuto energetico per unità di fertilizzante azotato per poter confrontare tale costo con quello relativo alla produzione e distribuzione dei fertilizzanti chimici (nella fattispecie il concime complesso 15-15-15).

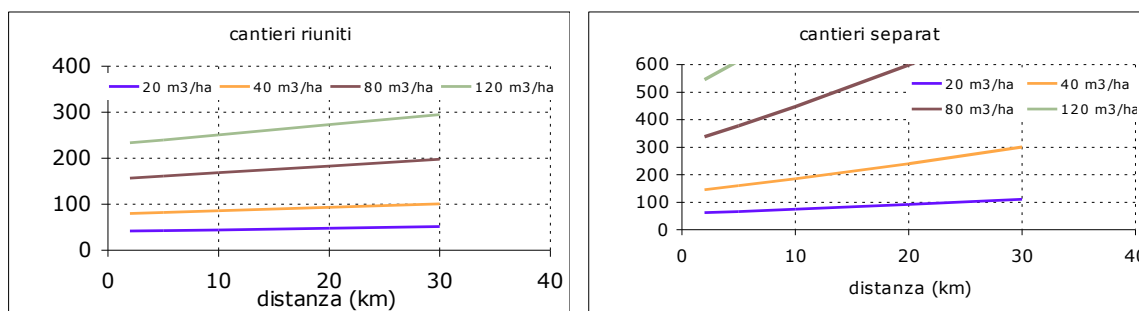
Il costo energetico per unità fertilizzante (Tabella 5.13 e Grafico 5.29) risente moltissimo della dose distribuita tanto che i valori differiscono per un ordine di grandezza a sfavore delle alte dosi. E' anche evidente la differenza tra cantieri riuniti (meno dispendiosi) e quelli separati.

**Tabella 5.13** – Costo energetico per unità fertilizzante al variare delle distanze per i quattro cantieri. La quantità annua è di 20.000 m<sup>3</sup>/anno.

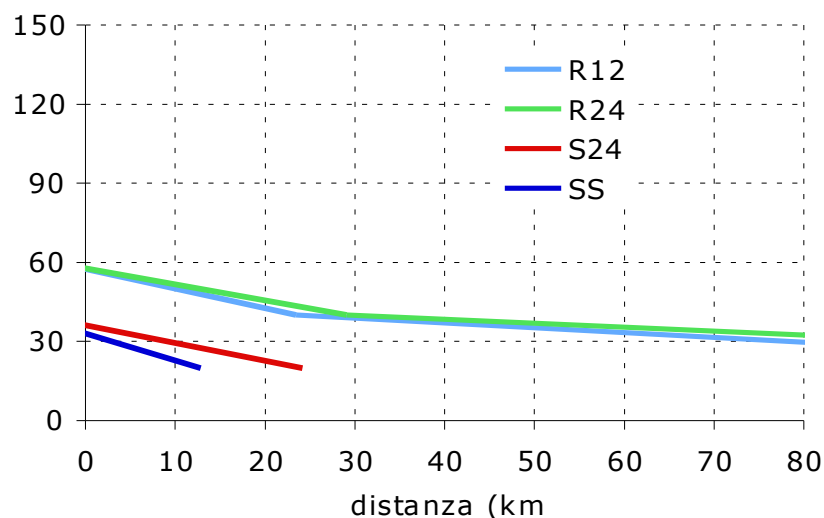
Distanza (km)	bassa dose				alta dose			
	R12	R24	S24	SS	R12	R24	S24	SS
2	49,72	49,54	78,03	91,27	328,91	325,13	802,93	784,34
5	51,33	50,86	84,35	100,27	340,22	334,36	907,05	881,90
10	54,03	53,05	95,40	116,01	359,08	349,73	1089,26	1052,63
20	59,42	57,45	119,49	150,31	396,80	380,48	1486,23	1424,56
30	64,80	61,84	146,22	188,35	434,52	411,22	1926,57	1837,15



**Grafico 5.29** – Costi energetici per unità fertilizzante al variare delle distanze e per basse dosi (a sinistra) e alte dosi (a destra).

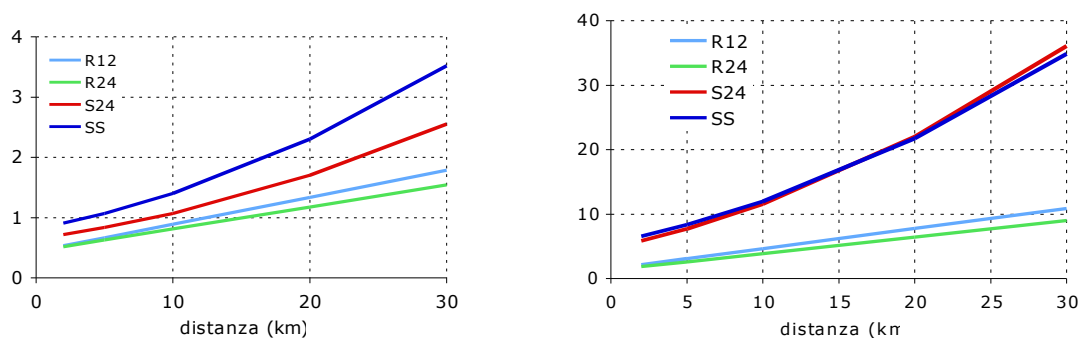


**Grafico 5.30** - Costi energetici per unità fertilizzante al variare delle distanze per i cantieri separati e riuniti.

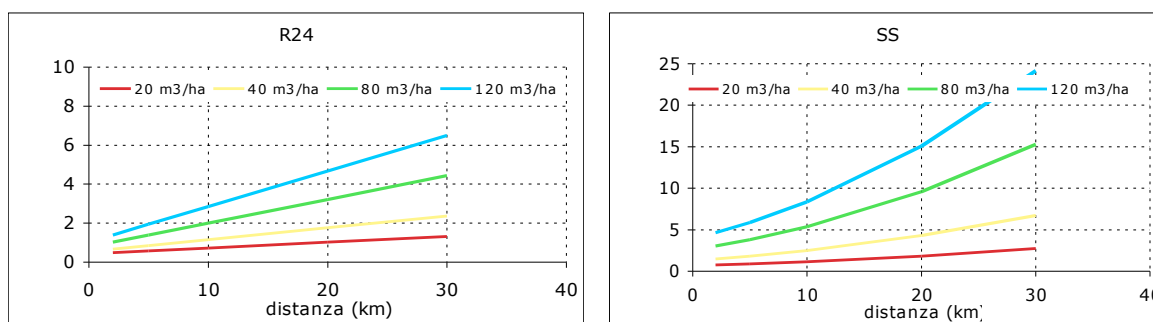


**Grafico 5.31** – Distanze e dosi di soglia per l'utilizzo del refluo zootecnico per i 4 cantieri prendendo come riferimento il costo energetico dell'unità fertilizzante dei concimi minerali.

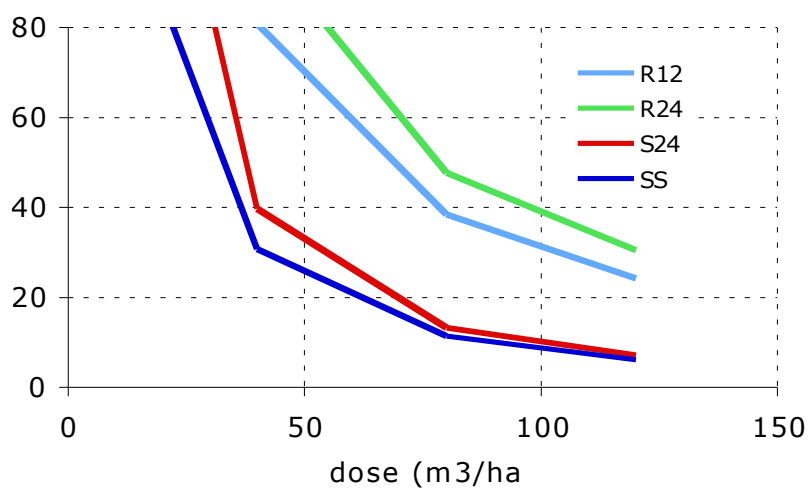
Per quanto riguarda le emissioni di anidride carbonica si possono trarre le stesse conclusioni espresse per l'analisi energetica (Grafici 5.32, 5.33 e 5.34), con una maggiore evidenza sulla convenienza dei cantieri riuniti ad alta capacità di carico.



**Grafico 5.32** – Emissioni di CO2 per unità fertilizzante al variare delle distanze e per basse dosi (a sinistra) e alte dosi (a destra).



**Grafico 5.33** - Emissioni di CO<sub>2</sub> per unità fertilizzante al variare delle distanze per i cantieri separati e riuniti.



**Grafico 5.34** - Distanze e dosi di soglia per l'utilizzo del refluo zootecnico per i 4 cantieri prendendo come riferimento le missioni di CO<sub>2</sub> per unità fertilizzante dei concimi minerali.



## 6. QUALITA' NELLA DISTRIBUZIONE DEI REFLUI SOLIDI E LIQUIDI

### 6.1 Il rispetto della dose

Una fertilizzazione ragionata, anche organica, richiede la conoscenza delle potenzialità del suolo, della coltura e del clima: essa adatta gli apporti dei fertilizzanti sulla base delle esigenze della pianta. Se la dose calcolata in questo modo non venisse rispettata si avrebbe, in caso di sottodosaggio, perdite di resa della coltura; per contro, se avviene un sovradosaggio si potrebbe verificare un inquinamento diffuso a causa della lisciviazione di elementi che non sono stati assorbiti, oppure un eccessivo accumulo nel terreno di sostanze contaminanti.

Il rispetto della dose deve quindi essere un imperativo. I principi dell'agricoltura di precisione e le sue tecnologie possono essere utilizzabili in questo senso, ma, per queste categorie di macchine, attualmente sembra prematura un loro introduzione, soprattutto per la loro difficile regolazione.

Nel caso della distribuzione di prodotti liquidi, la determinazione della dose distribuita si fa piuttosto agevolmente conteggiando il numero di carichi moltiplicato per la capacità del serbatoio e ripartito sulla superficie. Per un controllo in continuo, adottato nelle attrezzature provviste di DPA (Distribuzione Proporzionale all'Avanzamento), vengono utilizzati misuratori di flusso che permettono di misurare in tempo reale la portata e quindi la quantità distribuita nell'unità di tempo o di superficie.

I flussimetri utilizzati per il liquame sono generalmente ad induzione elettromagnetica perché non prevedono la presenza di parti in movimento all'interno delle tubazioni.

Un altro sistema per conoscere la portata è utilizzato per le pompe volumetriche dove viene installato un semplice misuratore di giri dal momento che per definizione queste pompe hanno una cilindrata costante.

Nel caso dei prodotti solidi i metodi sono più elaborati perché occorre: misurare il volume dello spanditore, misurare la densità del prodotto, ricavare il suo peso, calcolare la lunghezza del tragitto per distribuire la dose prevista, misurare la lunghezza effettiva per svuotare il rimorchio e infine effettuare le regolazioni del caso. Tuttavia la conoscenza della massa di prodotto, generalmente trasportata con rimorchi spesso stradali, agevola l'operazione perché, alla fine della distribuzione, per verificare la dose, basta metterlo in relazione con la superficie concimata. Per evitare però gli errori occorre mettere in atto le regolazioni prima della fine dello spandimento.

Lo sviluppo di celle di carico installate sotto i cassoni è attualmente la strada più adottata dai costruttori più evoluti. In questo caso il differenziale di peso del cassone nell'unità di tempo viene posto in relazione con la velocità di avanzamento e la larghezza di lavoro. Con queste informazioni il sistema computerizzato calcola la dose distribuita istantaneamente. A questo punto, in assenza di altri attuatori comandati dal computer di bordo, l'operatore legge la dose e modifica le regolazioni per ottenere il valore corretto.

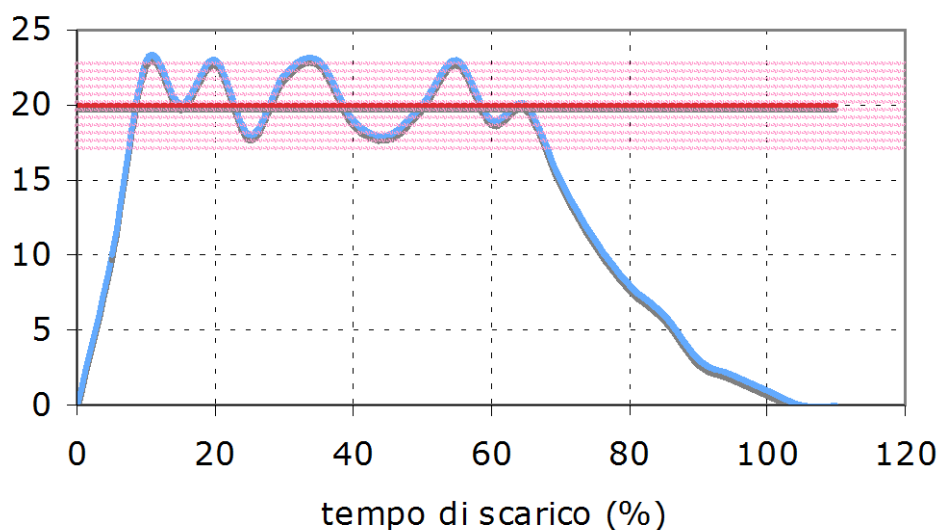
Quando non c'è possibilità di pesate dirette, conviene pesare alcuni carichi rappresentativi dei carri spanditori e rapportarli alla superficie dominata in modo da effettuare le regolazioni durante il lavoro e non solo alla fine.

## 6.2 Regolarità di distribuzione

Il rispetto della dose media su un appezzamento non è sufficiente per garantire una distribuzione di qualità. Bisogna ancora che tutto il prodotto sia distribuito regolarmente tanto in senso longitudinale quanto in quello trasversale all'avanzamento.

### 6.2.1 La regolarità di distribuzione longitudinale

Se la dose dipende dal flusso di prodotto verso l'esterno, occorre assicurare la costanza del flusso durante tutto il periodo di svuotamento del serbatoio o del cassone. La considerazione verso la regolarità longitudinale è stata sottolineata anche dalla normativa (UNI EN 13406:2003 – Macchine agricole: Spandilquame e dispositivi di spargimento – Protezione ambientale, Requisiti e metodi di prova per la precisione di spargimento e UNI EN 13080:2003 - Macchine agricole: Spandiletame – Protezione ambientale, Requisiti e metodi di prova per la precisione di spargimento) che prevede specifici test a riguardo. Si tratta di disporre sotto le ruote del trattore e del carro delle celle di carico e di effettuare lo svuotamento in forma statica. A partire dall'inizio dello svuotamento, vengono registrate le variazioni di massa nell'unità di tempo e misurato costantemente il flusso di prodotto, ottenendo il Grafico 6.1.



**Grafico 6.1** – Curva di variazione del flusso durante il tempo di svuotamento.

Tali curve caratteristiche dello svuotamento comprendono generalmente tre fasi: la prima di aumento del flusso, la seconda di flusso costante e la terza fase di

diminuzione. La portata caratteristica è la media dei valori della seconda fase. L'intervallo di tolleranza è la zona compresa tra la soglia inferiore e superiore pari a variazioni di  $\pm 15\%$ . Si può quindi determinare la percentuale di tempo di svuotamento compreso nella zona di tolleranza, che nella Figura 6.1, è del 67%. Il coefficiente di variazione (CV) delle portate durante il tempo di svuotamento è un secondo parametro di regolarità longitudinale. Sempre nella figura 1, il CV è pari a 26%.

Il CV è derivato dalla seguente relazione:

$$CV = \frac{\sigma \cdot 100}{\bar{x}}$$

dove:

$\sigma$  = deviazione standard dei valori

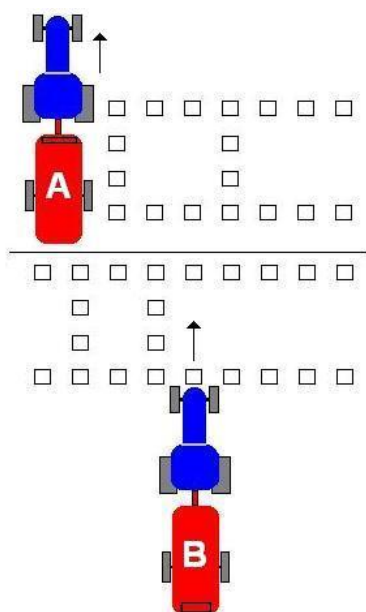
$\bar{x}$  = media

Le norme prevedono i seguenti valori limite entro i quali le macchine devono sottostare:  $CV < 40\%$  per gli spandiletame; tempo di svuotamento nella zona di tolleranza maggiore del 35% e del 90% rispettivamente per spandiletame e spandilquame.

In condizioni di campo tale valore può essere rilevato posizionando, ad una certa distanza lungo tutto il tragitto, una serie di cassette che verranno poi pesate dopo la distribuzione.

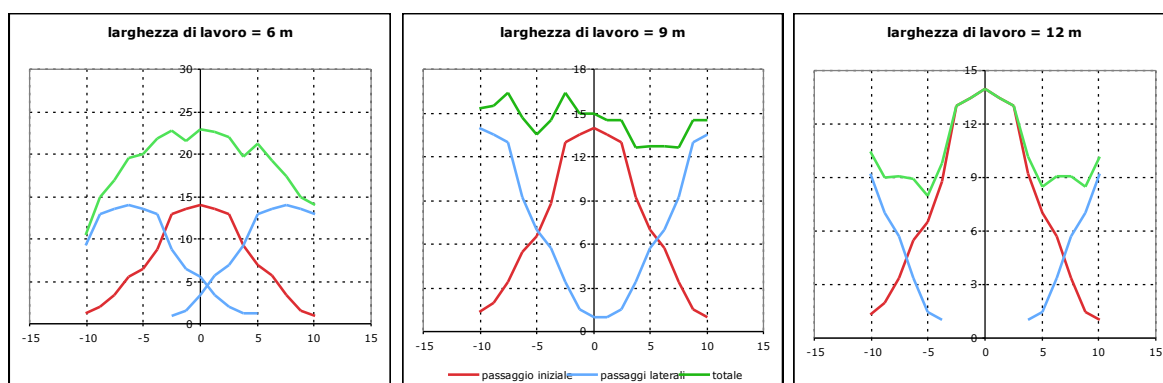
### 6.2.2 Regolarità di distribuzione trasversale

Le stesse norme sopra menzionate regolano anche la determinazione della regolarità trasversale. In questo caso si tratta di disporre vaschette di misura nota in posizione trasversale per tutta la larghezza di gittata della macchina (Figura 6.1). I valori pesati di ogni vaschetta corrispondono ad un passaggio.



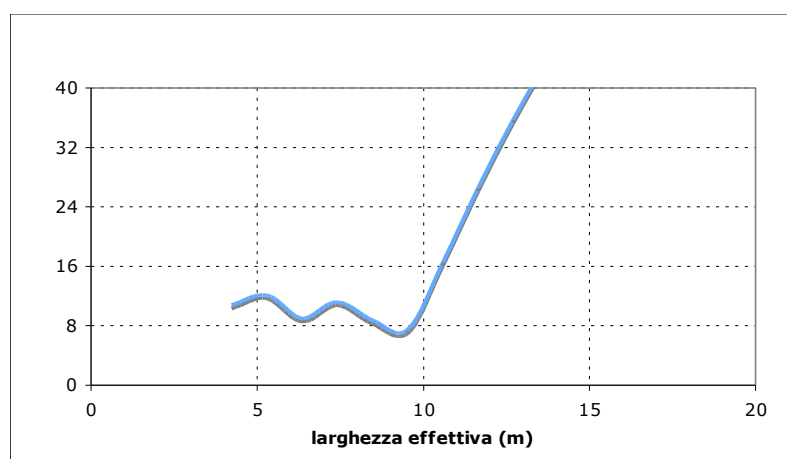
**Figura 6.1** – Disposizione delle vaschette per la valutazione dell'uniformità di distribuzione per lo spargimento laterale (A) e posteriore (B).

Questi valori non sono considerati singolarmente, ma vengono conteggiati anche le quantità distribuite nei passaggi adiacenti che però vengono derivate dal primo passaggio tenendo in considerazione che la successiva adiacente passata si svolge dopo una voltata di 180° e in senso opposto. Il metodo quindi tiene in considerazione anche distribuzioni non simmetriche. La procedura quindi si svolge a tavolino ipotizzando diverse larghezze di lavoro e quindi diverse sovrapposizioni con la curva di passaggio reale e quella cumulate (Grafico 6.2).



**Grafico 6.2** – Curve di ripartizione trasversale per larghezze di lavoro differenti a partire dallo stesso passaggio iniziale.

Naturalmente la curva cumulata, e quindi la dose media, assume valori tanto più alti quanto maggiore è il numero di sovrapposizioni. Inoltre la larghezza di lavoro effettiva sarà quella che garantisce la più omogenea ripartizione trasversale. Il parametro che la quantifica è il CV applicato alla curva cumulata relativa a ciascuna larghezza: la larghezza consigliata è quella che ha il CV più basso (Grafico 6.3).



**Grafico 6.3** – Esempio di evoluzione del CV al variare della larghezza di lavoro.

I valori limite del CV prescritti dalle norme ISO sono le seguenti: < 30% per gli spandiletame, < 20% per lo spandimento di liquami a spaglio e < 15% per lo spandimento localizzato.

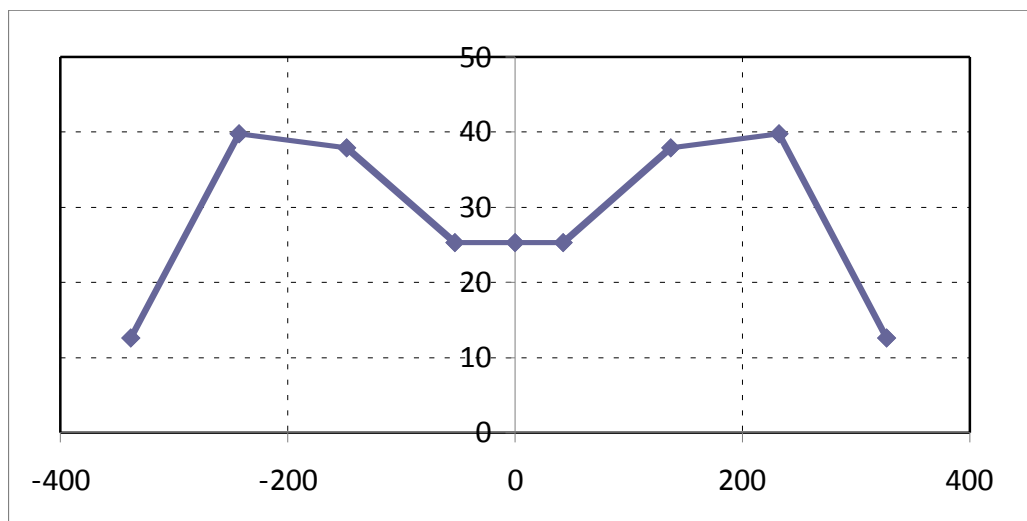
### **I piatti deviatori**

E' il sistema di spandimento meno caro e responsabile della distribuzione di tipo superficiale. Proiettando il liquido sottoforma di una lamina, grazie alla presenza di un piatto che intercetta il flusso uscente dal serbatoio, frazionano il prodotto che tende a vaporizzare e a diffondere cattivi odori. Diverse sono le soluzioni che tendono a ridurre il tempo di permanenza del fluido nell'atmosfera, ma il loro effetto risulta sempre inferiore a quello degli altri sistemi di spandimento.

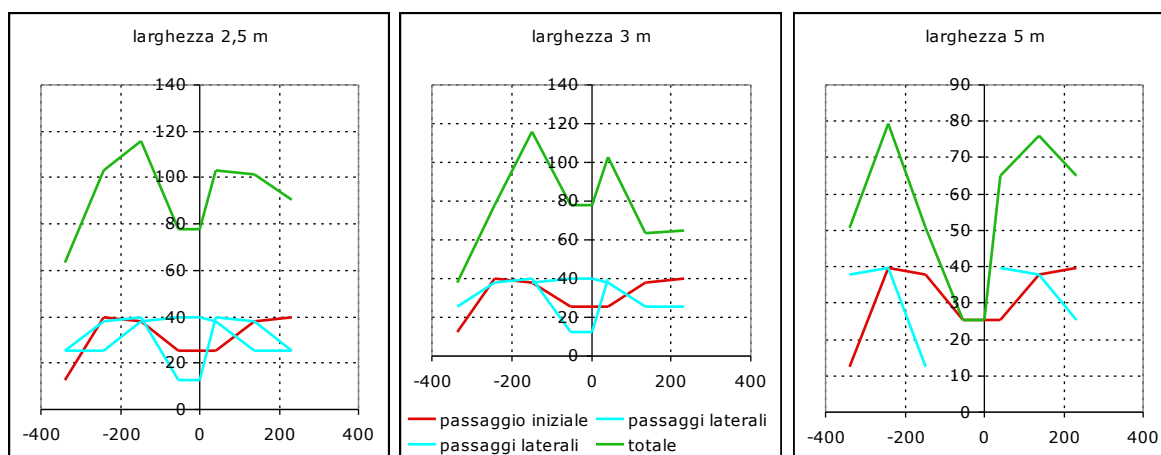
Per quanto riguarda la regolarità trasversale, il piatto deviatore è caratterizzato da basse prestazioni. Innanzitutto la sua collocazione ha l'inconveniente di non permettere una buona caduta sul piano orizzontale che verticale e quindi il getto spesso non è simmetrico. La larghezza di lavoro dipende dalla pressione di esercizio e dal posizionamento del piatto. Spesso il diagramma di distribuzione ha forma di "M" che offre poca tolleranza nella sovrapposizione perché, se questo è troppo serrato i picchi laterali si accumulano, mentre, nel caso inverso, su stabilisce un sottodosaggio tra le passate.

Il fenomeno è visualizzato nei Grafici 6.4, 6.5 e 6.6 dove risulta chiaro come la larghezza di lavoro in questi casi non coincida con la metà della gittata del liquame, ma sia inferiore per permettere la migliore uniformità di distribuzione trasversale. Il CV ammesso per questi materiali consiglia comunque di non superare una larghezza di lavoro di 4 m.

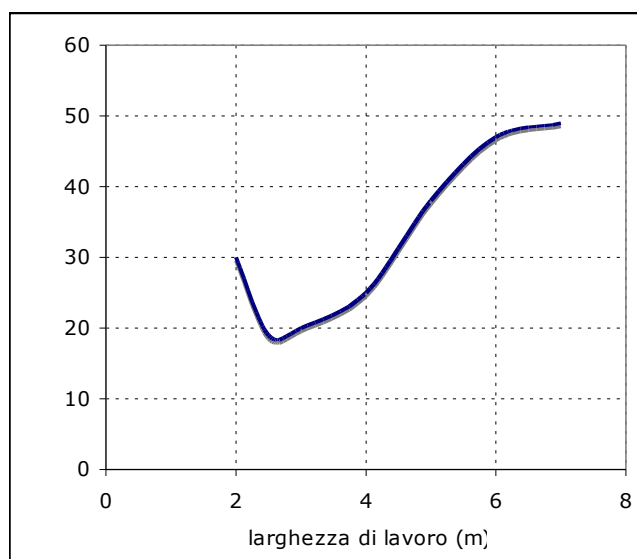
I carrobotte a piatto deviatore quindi non sono attrezzature idonee nelle buone pratiche agricole, ma hanno ancora interesse e giustificazione nelle aziende come macchine di soccorso e quando il prodotto è grossolano ed eterogeneo, difficile da distribuire con altri sistemi.



**Grafico 6.4** – Diagramma di distribuzione a M caratteristica sovente per le distribuzioni con piatti deviatori.



**Grafico 6.5** – Curve di ripartizione trasversale per larghezze di lavoro differenti a partire dallo stesso passaggio iniziale per il piatto deviatore.



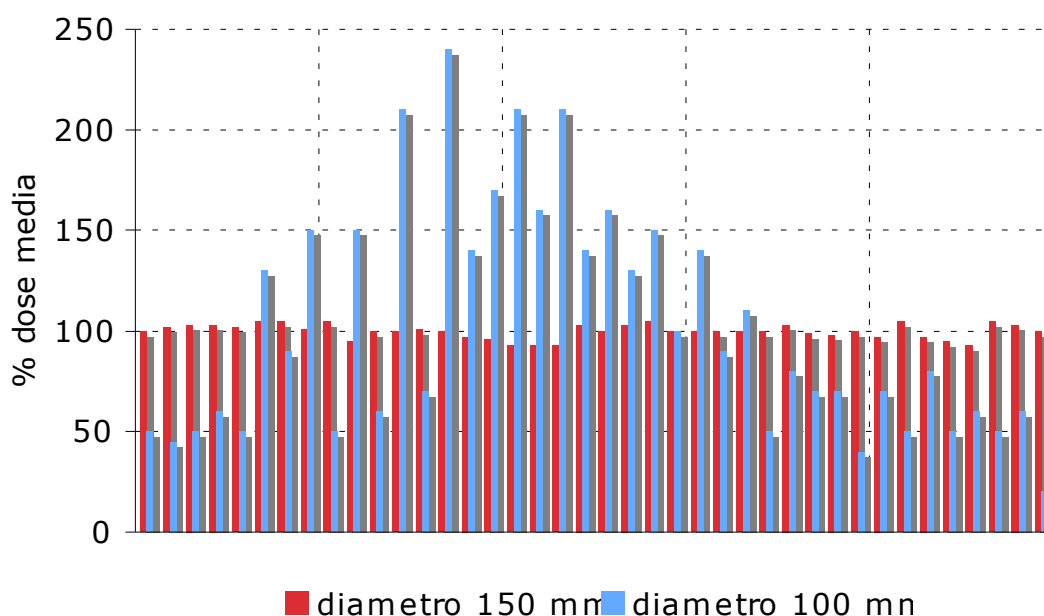
**Grafico 6.6** – Andamento del CV al variare della larghezza di lavoro nel caso di distribuzione con piatto deviatore.

### **Le barre distributrici rasoterra**

Hanno la caratteristica di avere una estremità delle tubazioni strisciante al suolo in modo da non imbrattare la vegetazione. Le barre hanno larghezze elevate e per consentire la giusta alimentazione di ogni calata, è necessaria la presenza di un ripartitore con funzione anche di tritatore. Il sistema è sensibile al materiale utilizzato che per ottenere la massima efficienza, deve essere omogeneo e senza materiali estranei.

Il ripartitore/trinciatore è il cuore della macchina e responsabile della buona distribuzione trasversale. Nella versione più comune è costituito da un rotore orizzontale azionato da un motore idraulico con due bracci muniti di coltelli: essi passano su una griglia e ripartiscono il liquame nei fori di uscita. Non si tratta di dosaggio volumetrico, ma un compromesso tra una buona ripartizione e una buona evacuazione. In caso di bloccaggio il senso di rotazione viene invertito.

La ripartizione trasversale è generalmente sufficiente. Per ottenere questo risultato occorre dimensionare correttamente il numero dei ripartitori e il diametro dei tubi di alimentazione. Se questo non avviene si assiste ad una distribuzione irregolare in cui le calate più lontane dal ripartitore ricevono minori quantità di liquido (Grafico 6.7).



**Grafico 6.7** – Ripartizione trasversale per una barra a calate con diverso diametro del tubo di alimentazione.

### **Gli interratori**

Possono essere classificati in funzione della coltura interessata (prato o coltura seminata in linea) o polivalenti.

Gli interratori su prato devono incorporare il liquido senza distruggere il cotico erboso posizionato in ridotta profondità. I dischi (piatti) sono la soluzione migliore perché tagliano verticalmente il suolo senza deteriorare il prato. Il liquame è introdotto da uno stretto iniettore piazzato a livello del solco creato dal disco. I vari elementi sono distanziati circa 20 cm l'uno dall'altro e la profondità del solco deve essere tale da accogliere tutto il liquame anche se ad alta dose. Un dispositivo più superficiale è costituito da elementi simili a falconi della seminatrice. In questo caso il suolo è solo graffiato e il prodotto deposto alla base delle piante. Il lavoro eseguito è buono, ma sussiste il pericolo di rischi sanitari.

La regolarità di distribuzione trasversale è legata all'efficienza del ripartitore e quasi sempre il CV non supera il limite del 15%.

Occorre durante il lavoro vigilare sulla pulizia delle calate e l'assenza di ostruzioni da parte di terreno o di materiale distribuito.



### 6.3 Le esperienze effettuate

Per ciascuna macchina sono state eseguite verifiche sull'omogeneità di distribuzione ponendo dei contenitori numerati in plastica sul terreno disposti perpendicolarmente e parallelamente alla direzione di avanzamento, al fine di valutare l'omogeneità di distribuzione trasversale.

In tal modo, procedendo normalmente con la macchina, si sono eseguite delle distribuzioni che sono state raccolte nei contenitori, in seguito pesati e catalogati. In particolare, il prodotto raccolto nei contenitori disposti trasversalmente, dopo ciascun passaggio, ha consentito di risalire ai valori della portata e di costruire il relativo diagramma di distribuzione.

Le prove comprendono misurazioni effettuate con diversi materiali organici e diverse macchine; in particolare si riferiscono alla distribuzione di compost di diversa origine e di liquami eseguite con carri spandiletame a distribuzione laterale e posteriore e spandiliquami con distribuzione superficiale, rasoterra in banda e interrata superficiale.

#### 6.3.1 Uniformità di distribuzione dei materiali solidi

Sono state utilizzate tre tipologie di spandicompost: Bossini modello SG 200, il Franzosi modello FVR 250 e il Ren Mark modello RP 140 Super (Figura 6.2).

Questi carri hanno distribuito ognuno due differenti compost provenienti da centri diversi, così facendo si è potuto valutare il diverso comportamento delle macchine con prodotti non uguali, e parallelamente misurare anche l'attitudine all'uso dei compost impiegati (Tabella 6.1).

**Tabella 6.1** – Caratteristiche del compost utilizzato per le macchine testate.

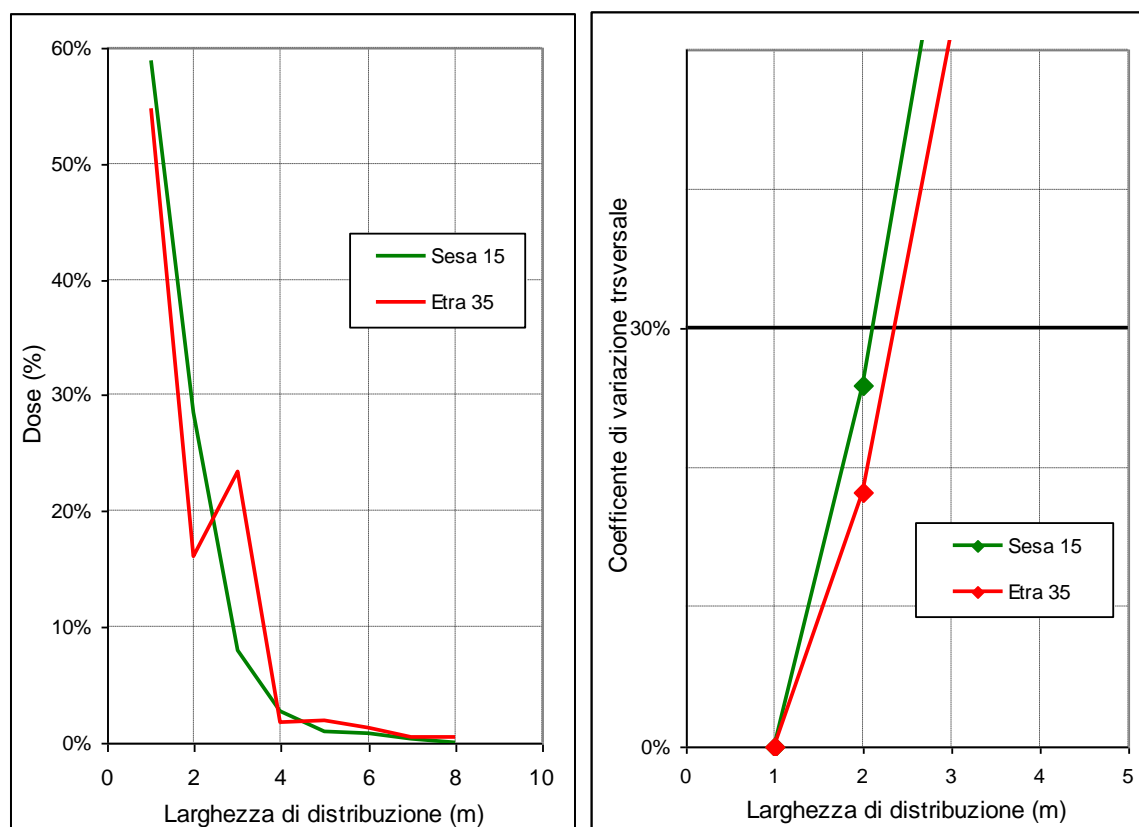
Tipo di compost	Vagliato a 40 mm	Vagliato a 35 mm	Vagliato a 15 mm
Produttore	Bertuzzo	E.T.R.A.	S.E.S.A.
Umidità (%)	50	27	15
Quantità distribuita (t/ha)	9,10	11,09	17,89
Macchine usate	Franzosi Ren Mark	Bossini Franzosi	Bossini Ren Mark



Figura 6.2 – Carri spandicompost utilizzati nelle prove di distribuzione.

Dalle prove sulla omogeneità di distribuzione effettuate in campo, emergono sostanziali differenze tra i diversi sistemi di distribuzione dei tre mezzi esaminati.

Lo spandicompost Bossini a scarico laterale anteriore ha distribuito i compost vagliati a 35 e a 15 mm con i risultati rilevabili nei Grafici sottostanti (Grafico 6.8).

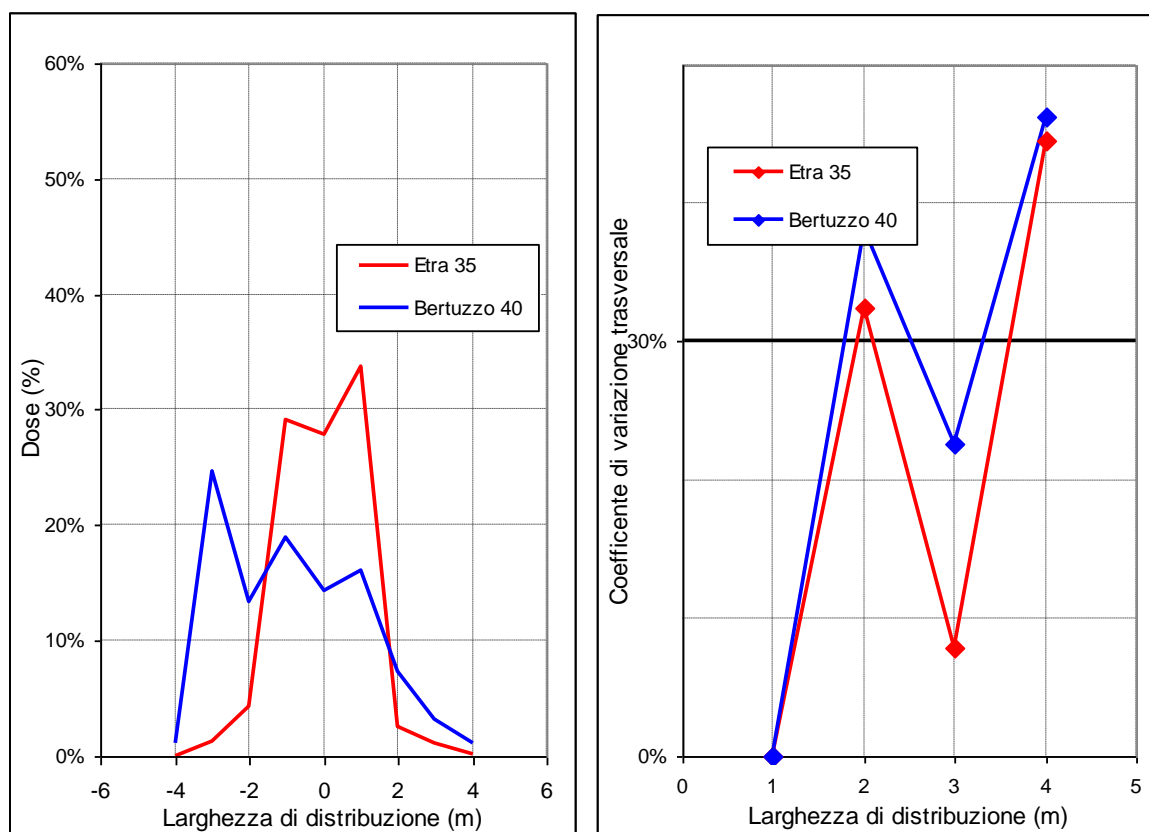


**Grafico 6.8** - Distribuzione trasversale della dose in percentuale dello spandicompost Bossini, e andamento del CV.

La macchina distribuisce il compost prevalentemente nei primi metri vicini ad essa (Figura 6.3), rendendo così necessario passaggi molto ravvicinati per mantenere il CV entro valori del 30%, andando in questo modo ad influenzare la larghezza di lavoro, che è compresa tra valori di 2 e 2,5 metri; questo sistema distributivo, non interagendo direttamente con la massa presente nel cassone, ma imprimendo solo una forza centrifuga per lanciare il materiale, ha fatto registrare un coefficiente di variazione longitudinale del 43% per il compost della ditta SESA, e del 54% per quello della ditta ETRA.



**Figura 6.3** - Spandicompost Bossini in distribuzione.



**Grafico 6.9** - Distribuzione trasversale della dose in percentuale dello spandicompost Franzosi e andamento del relativo CV.

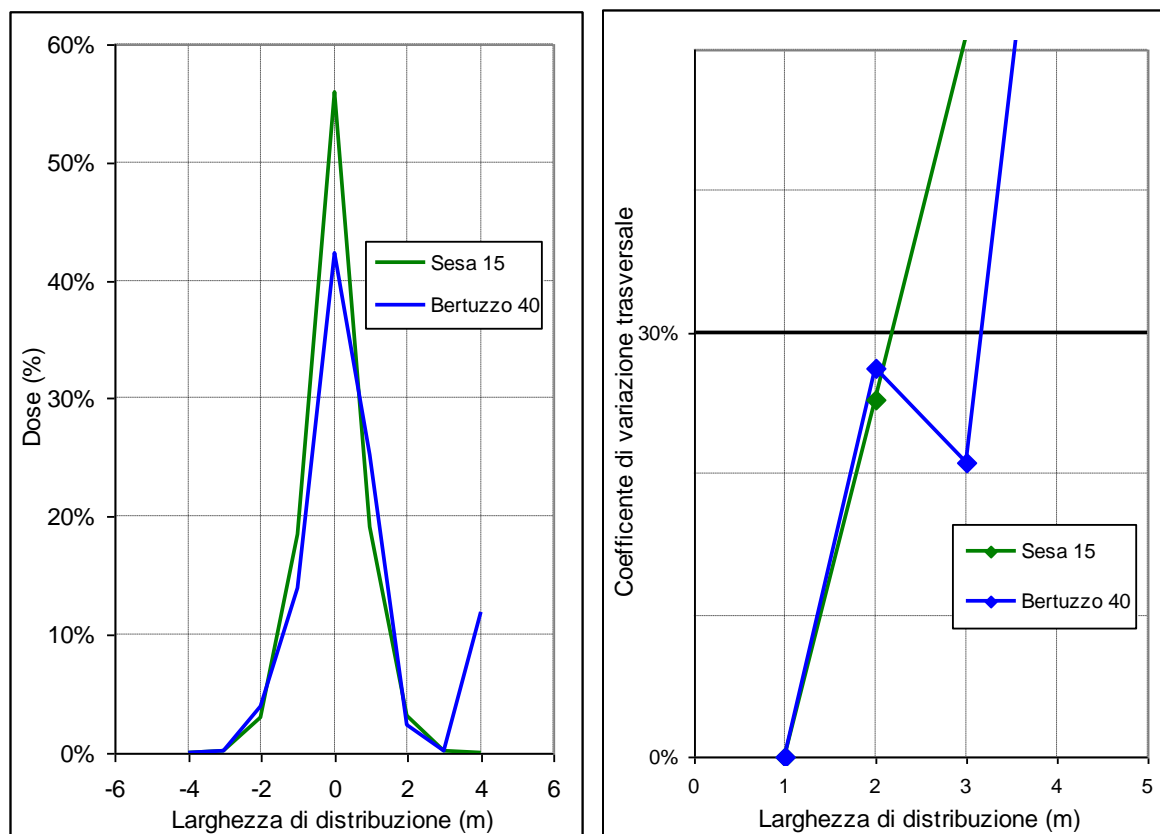
Lo spandicompost di Franzosi ha scarico posteriore con rulli verticali che disgregano la massa e la proiettano a terra: la qualità del lavoro svolto si può desumere dalle rappresentazioni riportate nel Grafico 6.9.

Nella fascia interessata dallo spargimento, la macchina crea una distribuzione omogenea, anche se è marcatamente diverso il comportamento tra i 2 compost usati nella prova: questa omogeneità nella distribuzione porta ad una maggiore larghezza di lavoro effettiva, che si attesta su valori di 3,5 metri; i valori del coefficiente di variazione longitudinale sono risultati soddisfacenti, con valori del 5% con il compost ETRA e del 17% con il Bertuzzo, a ribadire la regolarità della dose distribuita lungo il senso di marcia.



**Figura 6.4** – Spandicompost della ditta Franzosi in distribuzione.

Lo spandicompost della ditta Ren Mark presenta una distribuzione posteriore, eseguita con 2 dischi orizzontali controrotanti, i quali sono alimentati da due rulli orizzontali posizionati sopra di essi, con il compito di disgregare la massa. Nel Grafico 6.9 sono riportate la ripartizione della dose trasversalmente e il CVt a diverse larghezze di lavoro.



**Grafico 6.9** - Distribuzione trasversale della dose in percentuale dello spandicompost Ren Mark e andamento del relativo CV.

La macchina risulta lavorare in maniera diversa con compost che hanno caratteristiche fisiche differenti, facendone variare la larghezza effettiva di lavoro da 2 metri con il prodotto della ditta SESA (vagliato a 15 mm), a 3 metri con quello ottenuto dalla Bertuzzo (vagliato a 45 mm)



**Figura 6.5** – Spandicompost della ditta Ren Mark in distribuzione.

### **6.3.2 Qualità di distribuzione dei materiali liquidi**

Le prove sui liquami si sono concentrate sul ripartitore, elemento fondamentale nei moderni spandiliquami.

L'obiettivo della sperimentazione era la rilevazione, secondo la vigente normativa UNI EN 13406:2003, delle caratteristiche operative di un dispositivo ripartitore dotato di 32 uscite destinato all'impiego negli apparati distributori dei carro botte spandiliquame.

#### **Descrizione del ripartitore**

Il sistema esaminato di ripartizione del flusso del liquame in uscita dalla cisterna di un carro botte, di seguito denominato solo "*ripartitore*", si compone di (Figura 6.6):

- un **corpo cavo** di forma prismatica, con asse orizzontale trasversale rispetto all'asse del carro botte in cui andrà installato, dotato di opportuni portelli di ispezione, presentante una tubazione superiore di ingresso, avente un diametro interno di 111 mm, 32 tubazioni laterali di uscita, aventi un diametro interno di 43.7 mm, saldate alle pareti del corpo cavo, ripartite in numero di 16 per ciascun lato (destro e sinistro rispetto alla direzione di avanzamento del carro botte), situate su di una circonferenza di diametro 330.0 mm, aventi gli imbocchi situati su due livelli, a cui fissare delle tubazioni flessibili che collegano il ripartitore agli organi distributori del carro botte
- un **motore idraulico**, situato nel lato destro del ripartitore con riferimento alla direzione di avanzamento del carro botte, azionabile tramite tubazioni oleodinamiche flessibili standard da collegare alle prese idrauliche posteriori del trattore
- un **apparato trinciapaglia**, rotante all'interno del corpo cavo secondo un asse orizzontale trasversale rispetto all'asse del carro botte in cui il ripartitore verrà installato, mosso dal motore idraulico, dotato di opportuni coltelli striscianti sulle piastre che presentano gli imbocchi delle tubazioni di uscita ed avente la funzione dichiarata di regolarizzare l'erogazione e prevenire eventuali intasamenti delle tubazioni ad opera di piccoli sassi e steli di paglia presenti nei liquami in distribuzione
- una **manica cieca** in materiale flessibile, posizionata nella parte inferiore del corpo cavo e aperta verso l'interno dello stesso, utile per l'intercettazione dei corpi solidi che dovessero giungere al ripartitore tramite la tubazione di ingresso

#### **Metodologia di prova**

La configurazione di prova prevedeva l'uso di un *distanziatore* metallico per i terminali delle tubazioni flessibili di scarico e una serie di 32 *vaschette* per la raccolta del liquido (acqua o liquame) in uscita da ciascuna tubazione flessibile (Figura 6.7)

La massa di liquido accumulata in ciascuna vaschetta è stata misurata tramite una *bilancia* portatile meccanica. La prova è stata cronometrata tramite un *cronometro digitale*.



Durante le prove si è inoltre misurata la pressione all'interno della tubazione di ingresso e in 6 tubazioni di mandata (tre per ciascun lato del ripartitore) tramite una serie di *manovacuumetri* analogici meccanici.

La viscosità dei liquidi con cui si è testato il ripartitore (acqua di pozzo, percolato di concimaia, liquame suino, liquame bovino) è stata misurata indirettamente tramite rilevazione della durata di svuotamento di un recipiente di volume noto contenente lo stesso liquido. Il dispositivo utilizzato a tal proposito è denominato *fluidimetro*.

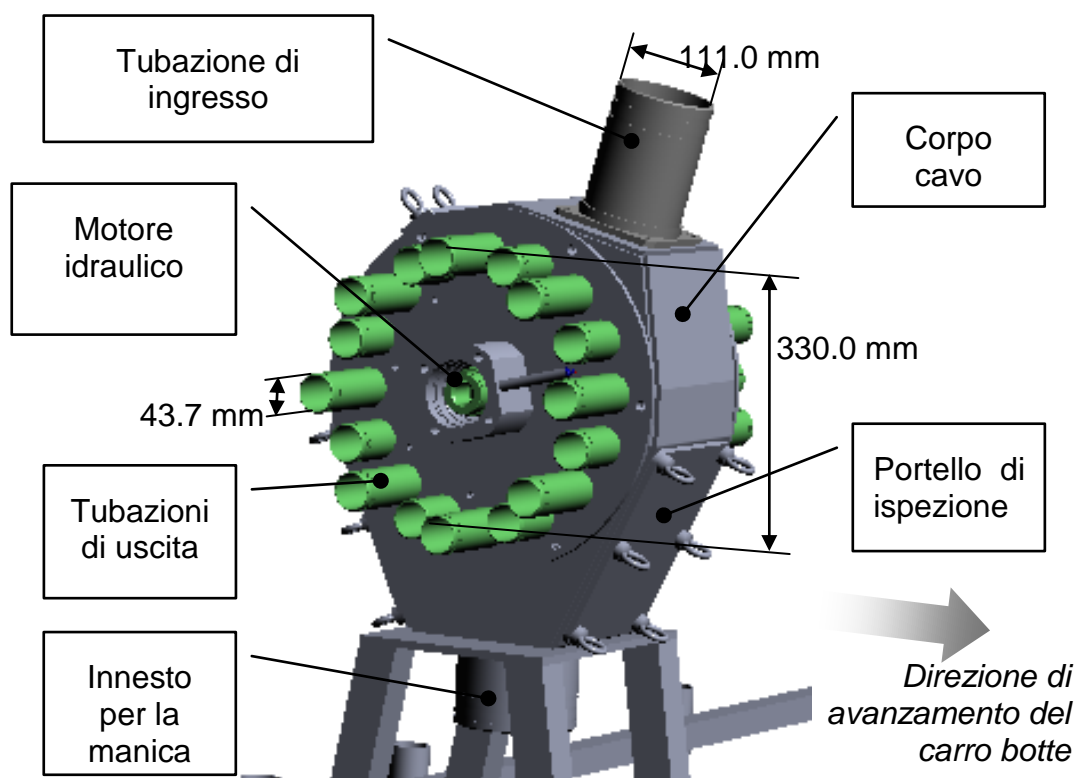


Figura 6.6 – Disegno tridimensionale del ripartitore.



Figura 6.7 – Configurazione di prova del ripartitore; sono visibili: il carro botte e il trattore necessario per l'azionamento del motore idraulico del ripartitore, le tubazioni flessibili terminanti in



appositi alloggiamenti del distanziatore, le vaschette per la raccolta del liquido, la bilancia per la pesatura delle vaschette.

Si sono eseguite più prove della durata di circa 15 s, a differenti valori della portata e con differenti liquidi.

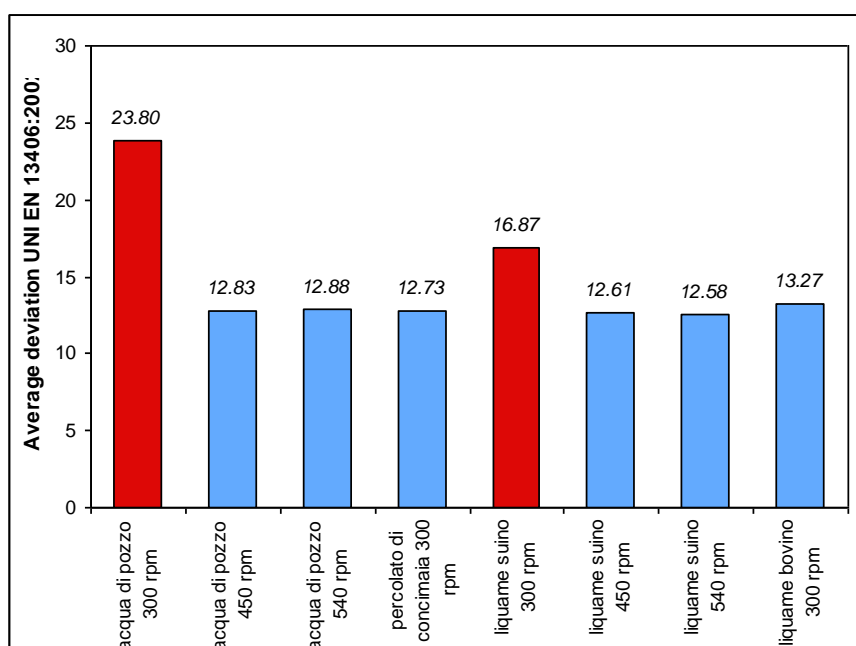
Il ripartitore è stato testato con quattro differenti liquidi: acqua di pozzo, percolato di concimaia, liquame suino, liquame bovino. Nella Tabella 6.2 si riporta il piano sperimentale seguito per la caratterizzazione del ripartitore. Le prove hanno riguardato i quattro liquidi prima discussi e tre velocità di rotazione della presa di potenza meccanica del trattore che azionava il gruppo pressurizzatore del carbotte.

**Tabella 6.2** – Piano sperimentale.

Numero della prova	Tipologia di fluido	Regime di rotazione pdp (rpm)
1	<i>Acqua di pozzo</i>	300
2		450
3		540
4	<i>Percolato di concimaia</i>	300
5	<i>Liquame suino</i>	300
6		450
7		540
8	<i>Liquame bovino</i>	300

### **Risultati ottenuti**

Di seguito si riportano in forma grafica (Grafico 6.10) i coefficienti di deviazione media ottenuti nelle diverse prove effettuate.



**Grafico 6.10** – Coefficienti di deviazione media ottenuti nelle diverse condizioni di prova (in rosso le prove i cui valori di deviazione sono superiori al 15%).

Osservando le figure si può notare che si sono ottenuti valori di deviazione media superiori al 15% solamente in due prove, entrambe corrispondenti al valore di rotazione di 300 rpm della presa di potenza meccanica del trattore che azionava il gruppo pressurizzatore del carro botte.

Il ripartitore ha quindi dimostrato di riuscire a garantire una sufficiente uniformità di ripartizione del flusso tra le diverse uscite anche con liquidi molto poco fluidi, come il liquame bovino, a patto che venga utilizzato con una pressione di alimentazione superiore a quella ottenibile al minimo della velocità di rotazione della pdp e quindi che si abbia una portata superiore a circa 55 dm<sup>3</sup>/s: gli unici valori della deviazione media superiori al 15% sono, infatti, solamente quelli relativi alla velocità di rotazione della pdp di 300 rpm.

Riportando in un piano “*portata-pressione*” i diversi punti operativi del ripartitore relativi a liquidi di fluidità confrontabile (si è quindi escluso il liquame bovino, troppo viscoso), è possibile ricavare una curva che lega le due grandezze fisiche in esame (Grafico 6.11).

Ad esclusione di un primo tratto pressoché rettilineo ed orizzontale, l'andamento dei punti operativi per portate superiori a 55 dm<sup>3</sup>/s è approssimabile da una legge esponenziale ( $R^2 = 0.893$ ) con la seguente equazione:

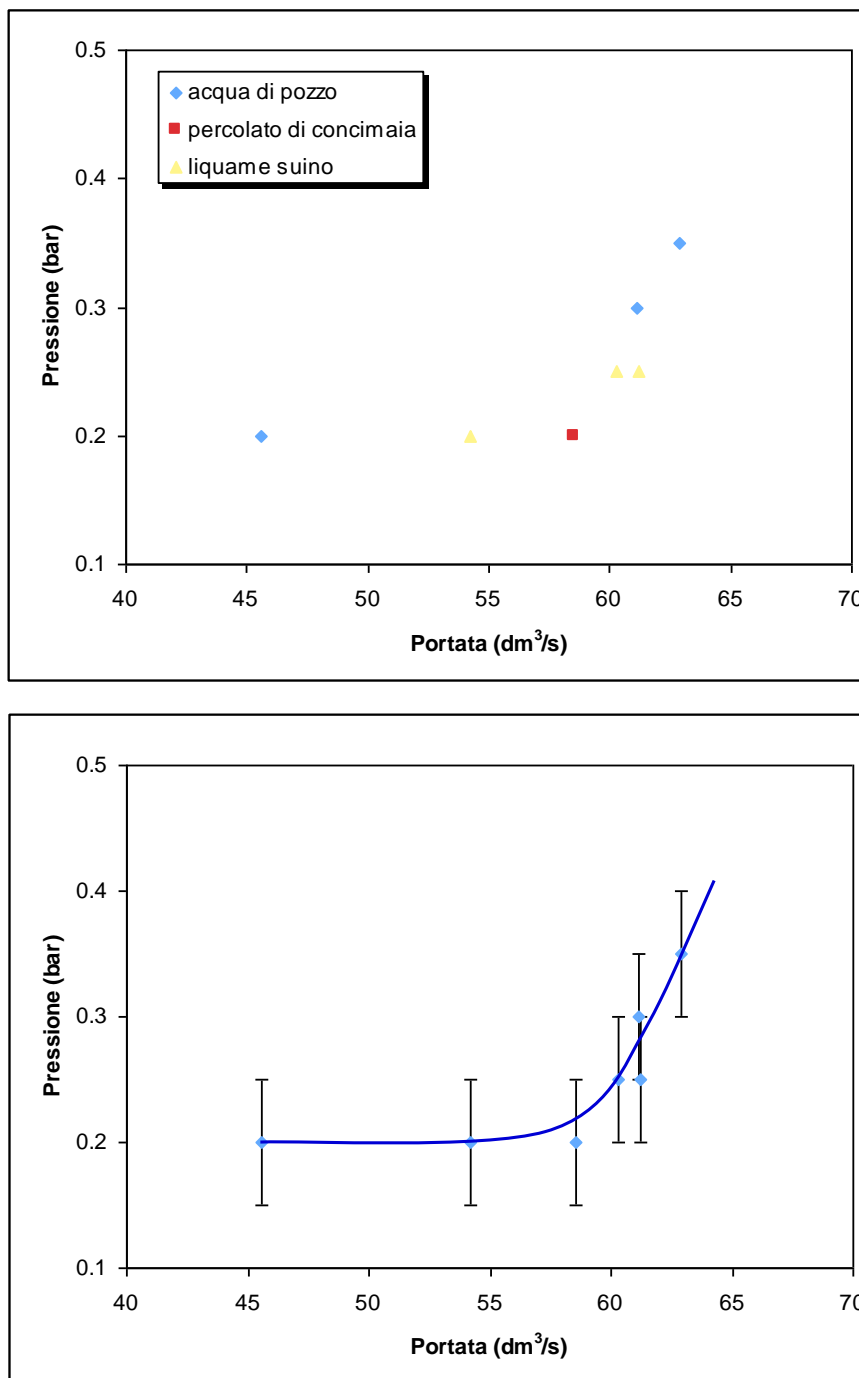
$$y = 0.000122 \cdot e^{0.126309x}$$

(x: portata in dm<sup>3</sup>/s; y: pressione in bar).

### **Considerazioni**

L'analisi delle tecnologie per lo spandimento dei reflui mostra diverse soluzioni. Nella maggior parte dei casi è possibile ottenere una regolarità di distribuzione soddisfacente a patto di accordare grande attenzione alla manutenzione e alla regolazione. Il mancato mantenimento del perfetto stato o una deformazione dell'attrezzatura si ripercuote sulla distribuzione e la sua omogeneità. Tutte le perturbazioni su una calata vanno a modificare il funzionamento delle altre e variano la portata e la dose.

I ripartitori sono in dotazione ai carri spandiliquami più evoluti in gradi di distribuire in banda rasoterra o interrata. Il loro utilizzo è raccomandabile con liquami che già hanno subito qualche trattamento (separazione, digestione, ecc.) e cioè caratterizzati da buona fluidità e omogeneità.



**Grafico 6.11** – Punti operativi del ripartitore con i diversi liquidi e curva caratteristica del sistema.



## 7. GLI UTENSILI PER L'INTERRAMENTO SUPERFICIALE

In linea generale i problemi connessi con le operazioni di spandimento eseguite con i cantieri convenzionali (piatti deviatori) sono da ricercarsi in:

- emissioni di odori molesti e perdite di azoto per volatilizzazione;
- compattamento del terreno;
- disomogeneità di distribuzione;
- ruscellamento del liquame verso reti di scolo o corsi di acqua;
- imbrattamento della coltura.

Allo stesso tempo diversi studi evidenziano, come si stiano cercando tecniche di distribuzione sempre a più basso impatto ambientale, nel rispetto di una buona pratica agricola. Sembra proprio che la distribuzione interrata (Figura 7.1) sia la soluzione ottimale in grado di soddisfare i diversi aspetti ambientali e normativi.



**Figura 7.1-** Distribuzione interrata di liquame zootecnico.

Essa infatti rappresenta l'unico sistema di distribuzione utilizzato nelle cosiddette "fasce di rispetto", che possono rappresentare una frazione considerevole della superficie aziendale soprattutto nelle aree densamente popolate.

Inoltre una distribuzione con interrimento permette di:

- ridurre le emissioni di odori;
- le perdite di azoto possono essere ridotte quasi dell'80% (Balsari e Gioelli, 2003), il che permette il conseguimento di rese produttive migliori rispetto la distribuzione superficiale. Da prove è emerso che si può avere un aumento di produzione anche del 20 % (Balsari et al., 1995);
- eliminazione dello scorrimento superficiale;
- minor ustioni e imbrattamenti della coltura;
- miglior appetibilità e sanità del foraggio.

Per contro tali sistemi evidenziano maggiori costi energetici, di investimento e di gestione.

### 7.1 Gli interratori profondi

Attualmente sono presenti diversi tipi interratori; i primi ad essere introdotti, e fortemente presenti sul mercato italiano sono costituiti da grosse ancore (simili a quelle dei ripuntatori), in genere 2 o 4 elementi poste nella parte posteriore del carrobotte, azionate da una serie di martinetti idraulici, in grado di lavorare ad una profondità di 40- 60 cm (Figura 7.2). Ad ogni ancora è fissato posteriormente un tubo adduttore attraverso il quale il liquame viene depositato per gravità o in pressione (0,5 bar), sul fondo del solco aperto dal dente.



**Figura 7.2** - Interratore in grado di iniettare il liquame ad una profondità di 40 cm.

Tale soluzione però, se risolve i problemi degli odori molesti, inietta il liquame ad una profondità non esplorata dall'apparato radicale della coltura, e anzi facilita la sua percolazione in falda soprattutto se si tratta di un terreno sciolto.



Inoltre queste grosse ancore necessitano di elevate forze di trazione (200-250 N per metro di larghezza di lavoro e per cm di profondità), quindi trattrici di elevata potenza con costi di manutenzione e gestione elevati, inoltre un elevato disturbo del terreno che richiede poi, un'ulteriore lavorazione per preparare il letto di semina. Tale sistema, sembra inoltre non favorire una distribuzione omogenea (Chen et al., 2002).

Proprio per questo motivo, i costruttori si sono indirizzati verso soluzioni che prevedono una minore e più appropriata profondità di interrimento impiegando sistemi simili a erpici o coltivatori, e in questi ultimi anni introducendo anche i dischi (Figura 7.3). Questa soluzione permette di ridurre le forze di trazione, quindi si hanno minori costi energetici, e rende possibile l'interrimento del liquame in copertura, con coltura in atto, cosa che prima era impossibile.

Inoltre tali sistemi oltre a favorire un buon interrimento del liquame, forniscono un'adeguata infiltrazione laterale (Chen et al., 2001).



**Figura 7.3** - Interratore a dischi (a sinistra) e ad ancore (a destra).

Tendenzialmente si cerca di lavorare tra i 50 e i 150 mm di profondità, la scelta della profondità di lavoro e delle attrezzature per interrare deve essere effettuata tenendo ben presente le caratteristiche del terreno e il tipo di coltura, se presente (Bisaglia, 1992), in quanto si deve cercare di creare il minor disturbo al terreno, soprattutto in caso di una coltura in atto (Figura 7.4).

Anche queste attrezzature sono poste nella parte posteriore del carrobotte e comandati da un attacco a 4 punti che garantisce la stabilità dell'attrezzo, mantenendo una costante profondità di lavoro e riducendo le oscillazioni orizzontali e verticali (Figura 7.5).





**Figura 7.4** - Diversi impatti sul terreno effettuati dagli interratori a dischi.



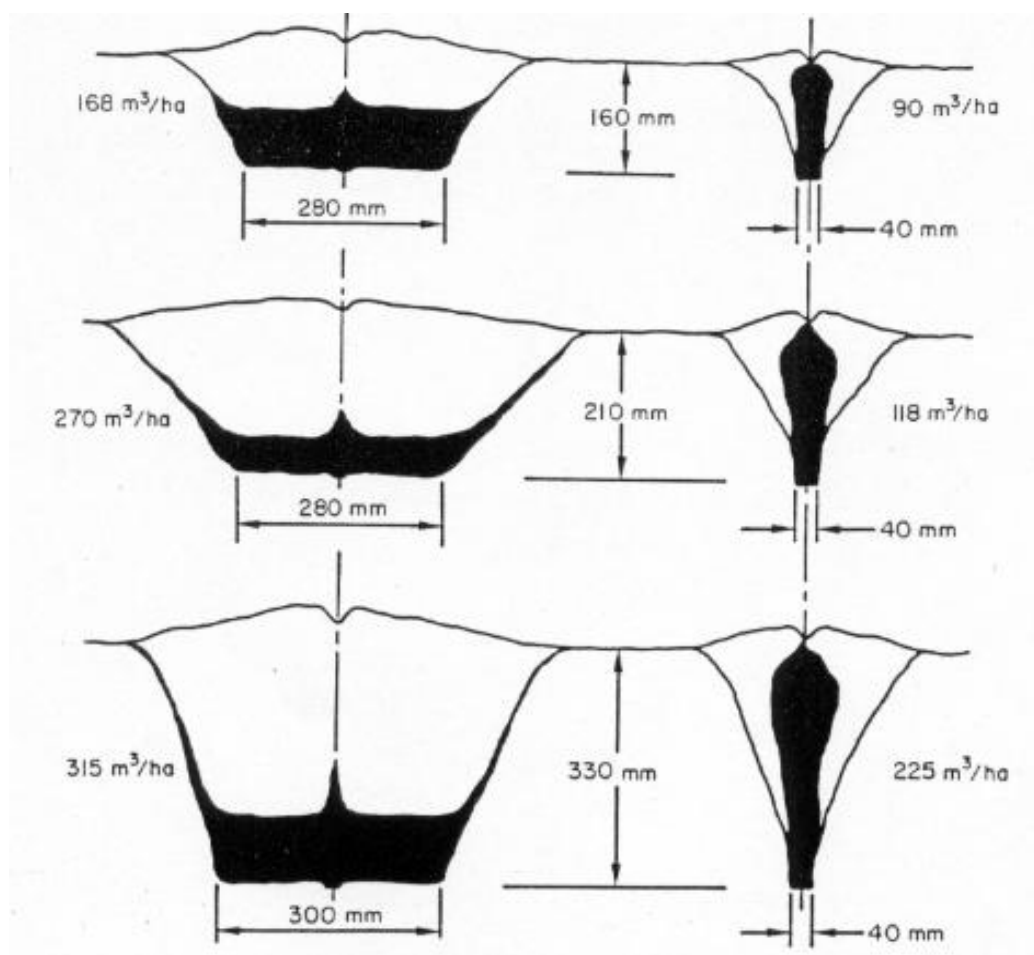
**Figura 7.5** - Attacco a 4 punti: permette il collegamento carrobotte- interrattore.

## 7.2 Gli interratori superficiali

In merito ai sistemi di interrimento, le principali problematiche sono collegate alle caratteristiche costruttive, con particolare riferimento alla forma dell'assolcatore e all'angolo di inclinazione, al fine di perseguire una riduzione degli sforzi di trazione in relazione alla profondità di lavoro adottata.

Per quanto riguarda il primo aspetto, i risultati migliori dal punto di vista dell'interazione interrimento/soilo, si ottengono impiegando assolcatori a forma di zappetta e dotati di alette laterali, si ottiene infatti un maggior dirompimento del terreno rispetto agli assolcatori a dente semplice e si può interrare una maggior quantità di liquame, a parità di profondità di lavoro. (Figura 7.6) (Warner e Godwin, 1998).

Dal punto di vista dell'interazione tra il disturbo arrecato al suolo e la forza di trazione richiesta, è emerso che in generale una zappetta con una maggiore superficie di taglio (es. larghezza pari a 570 mm e lunghezza pari a 490 mm) esercita la propria azione sul terreno richiedendo uno sforzo di trazione inferiore rispetto ad una zappetta simile ma con superficie di taglio inferiore (es. larghezza pari a 240 mm e lunghezza pari a 330 mm). Il maggior disturbo arrecato al terreno dalla zappetta alata si accompagna inoltre alla possibilità di iniettare nel terreno una maggiore quantità di liquame, a parità di profondità di lavoro: a fronte di un aumento apparente dello sforzo di trazione di circa il 35% rispetto alla zappetta semplice, la zappetta alata consente infatti, a parità di dose distribuita di ridurre la profondità di lavoro (con dosi superiori ai  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) anche del 50%, con un decremento dello sforzo di trazione variabile fino al 54% (Warner e Godwin, 1998).



**Figura 7.6** - Disturbo arrecato al profilo del terreno e quantità di liquame iniettato con zappetta alata (a sinistra) e zappetta semplice (a destra).

Per quanto riguarda la **profondità di lavoro** invece, un aumento di tale parametro comporta in generale un incremento della forza di trazione richiesta, a causa delle forze orizzontali, legate fundamentalmente alle resistenze d'attrito, mentre la stessa forma della zappetta può comportare richieste in termini di forza di trazione differenti a seconda della profondità cui essa è utilizzata. In particolare, la diminuzione della superficie di taglio dell'organo di lavoro determina un aumento dello sforzo di trazione non lineare, con una richiesta di forza di trazione maggiore per profondità superiori a 10 cm rispetto invece ad una zappetta con elevata superficie di taglio, per la quale l'aumento dello sforzo di trazione richiesto è caratterizzato da un andamento lineare, proporzionale alla profondità di lavoro. Da ciò consegue che, a parità di forza di trazione erogata, a seconda della forma dell'organo di lavoro si può eseguire l'interramento del liquame a profondità differenti. Una ridotta superficie di taglio si accompagna infine ad una maggiore azione negativa delle forze di resistenza verticale, con una considerevole maggiore richiesta di potenza nominale per l'erogazione della forza di trazione necessaria (Rahaman e Chen, 2001).

Mentre per quanto riguarda la **capacità di interrimento**, osservando il profilo del suolo, si può notare come le zappette creino un'area di disturbo di forma trapezoidale. Ovviamente più la zappetta si presenta larga, maggiore è la quantità di suolo disturbato, quindi questo implica che sia anche in grado di interrare una maggiore quantità di liquame (Chen et al., 1999). Le zappette più larghe sembrano essere inoltre in grado di interrare in modo migliore il liquame, in quanto queste mostrano una distribuzione superficiale del terreno più uniforme. Le zappette più strette invece al passaggio nel terreno creano una depressione centrale e dei cumuli ai lati (Figura 7.7).

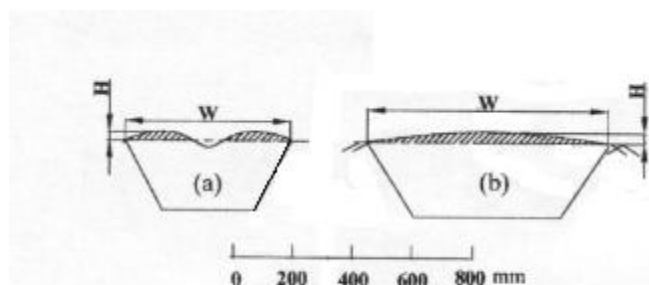


Figura 7.7 - Profilo del suolo disturbato dalla zappetta a e b.

Sembrirebbe anche esserci una relazione diretta tra la profondità di lavoro e la larghezza della porzione di suolo disturbato, in quanto aumentando la profondità, aumenta anche il disturbo arrecato al suolo. Talvolta però questo maggior disturbo, determinato in particolare, dalle zappette più larghe, sembra avere effetti negativi nel caso in cui si stia lavorando su prato o su un terreno nudo. Nel primo caso si può determinare un'eccessivo danneggiamento al cotico erboso, mentre nel terreno nudo si può osservare un'eccessivo disturbo che richiede un'ulteriore lavorazione per la preparazione del letto di semina.

Per quanto riguarda l'effetto dell'**inclinazione degli organi di lavoro**, sembrerebbe che l'angolo ideale potrebbe essere di  $45-50^\circ$  ( $\alpha_1$ ) (Payne e Tanner,

1959), in quanto ad ampiezze superiori la penetrazione è ostacolata con un conseguente aumento delle forze di traino e delle forze verticali, che possono aumentare fino ad un 500% con inclinazioni che variano da 50-160°. Successivamente è stato dimostrato che i cambiamenti maggiori si hanno quando l'inclinazione degli organi di lavoro supera gli 80°. Studi di Spoor e Godwin, dimostrano però, che riducendo l'angolo ( $\alpha_2$ ) che la punta dell'assolcatore forma con il terreno, le forze di trazione risentono meno delle variazioni di ampiezza dell'angolo  $\alpha_1$  (Figura 7.8).

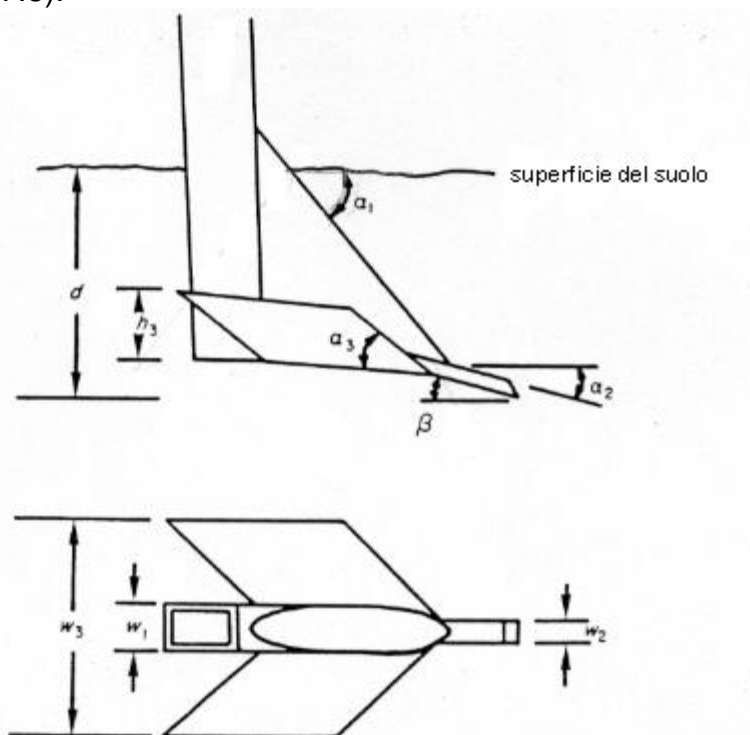


Figura 7.8 - Forma della punta dell'iniettore.

È stato poi notato che variando l'inclinazione dell'organo di lavoro (Figura 7.9) si ottengono risultati significativamente differenti: con inclinazioni di 45° rispetto al piano verticale l'ancora crea un maggior disturbo del terreno e quindi può essere impiegata in terreni che successivamente dovranno subire ulteriori lavorazioni, mentre con inclinazioni superiori di 105° sul piano verticale si ha un minor disturbo del terreno, con la possibilità di impiego di un organo di lavoro con forma a zappetta nei prati senza arrecare grossi danni al cotico erboso.

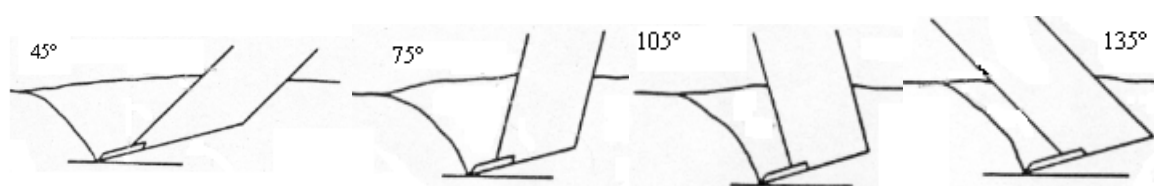


Figura 7.9 - Diverse inclinazioni degli organi interratori.

Al fine poi di ridurre gli sforzi di trazione Eggenmuller (1958) ha ipotizzato di applicare un sistema che potesse determinare una vibrazione dell'organo assolcatore. Dai risultati è emerso che tale sistema non ha effetti benefici sulla riduzione delle forze quando si ha un terreno plastico, mentre in terreni con un basso contenuto di umidità si sono manifestate delle riduzioni fino al 20%.

Warner e Godwin (1998) hanno cercato poi di determinare la spaziatura ideale tra gli interratori osservando gli effetti che questa ha sul raccolto di un prato. È stato visto che in un terreno argilloso la spaziatura di 650 mm dà i migliori risultati produttivi con un incremento di produzione del 31% e del 26% con le rispettive spaziature di 500 e 850 mm. Questo è determinato dal fatto che una ridotta spaziatura tra interratori provoca un danneggiamento dell'apparato radicale, mentre una spaziatura eccessiva determina un raccolto del prodotto a bande, a causa di una distribuzione non uniforme che fa sì che il liquame sia assorbito solo dalla vegetazione circostante l'area interessata dall'interratore.

In sostituzione della zappetta, si possono impiegare degli organi interratori aventi forma di disco, i quali sollevano e invertono lo strato di terreno interessato dalla lavorazione. Anche in questo caso le forze di trazione e le forze verticali aumentano con l'aumentare della profondità di lavoro (Reaves et al., 1981), anche se il movimento del disco, che rotola sul terreno, agevola la penetrazione negli strati superficiali (Rahaman e Chen, 2001). Sulla base poi della **disposizione degli organi di lavoro** è possibile ottenere dei risultati differenti in fase di distribuzione: un disco singolo, ad asse verticale e montato su una barra flessibile (Figura 7.11) che agisce sul terreno fessurandolo ed aprendo un solco, all'interno del quale viene iniettato il liquame, il quale viene poi ricoperto da uno strato di terreno; un organo interratore costituito invece da due dischi concavi ed opposti comporta l'apertura di un solco nel terreno in cui si ha un rimescolamento del liquame e del terreno.

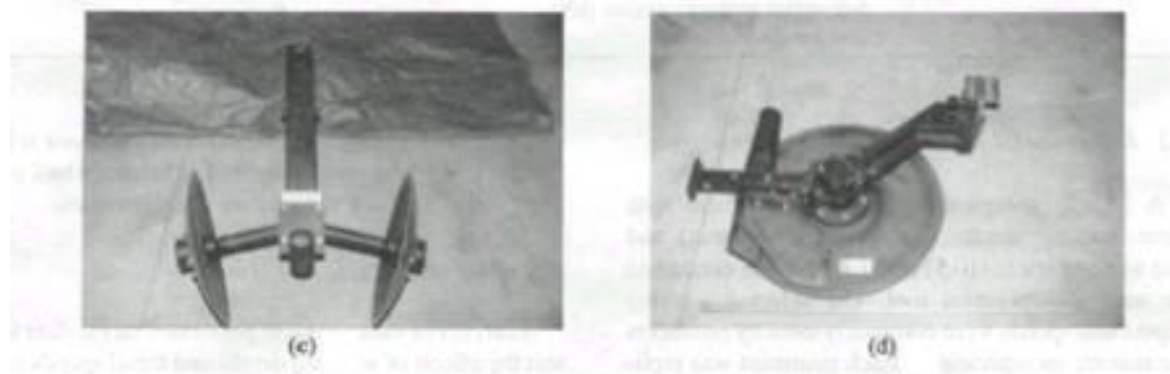


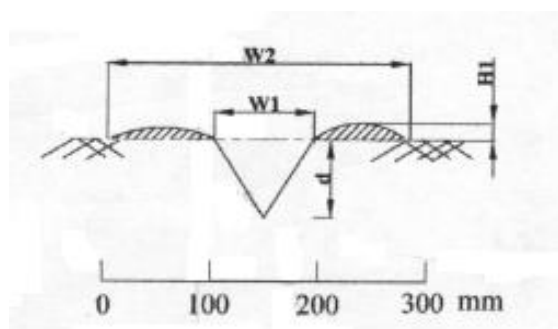
Figura 7.10 - Confronto tra due dischi.

Dall'analisi delle forze di trazione ( $F_x$ ) invece, si può affermare che per entrambe le tipologie di organo interratore, a singolo o doppio disco, tali forze aumentano con l'aumentare della profondità di lavoro, mentre la variazione di velocità non ha alcun effetto. In particolare, a parità di profondità il disco doppio manifesta delle forze di trazioni superiori a quelle richieste dal disco semplice. Questo è da attribuire al fatto che nel primo caso, i dischi che penetrano nel terreno sono due ed hanno un'inclinazione considerevole. In merito alle forze laterali ( $F_z$ ), diversamente da quello che succede per le zappette, decrescono con



l'aumentare della profondità di lavoro, mentre l'incremento della velocità anche in questo caso, non determina alcun effetto di rilievo, facilitando però la penetrazione del disco.

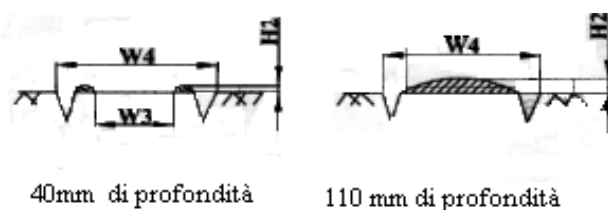
Per quanto riguarda il profilo di terreno disturbato, il disco semplice tende a smuovere il terreno accumulandolo ai lati, creando quindi un solco di forma triangolare al centro, nel quale viene iniettato il liquame (Figura 7.11).



**Figura 7.11** - Profilo del terreno disturbato dal disco d.

Un incremento di questo solco sembra quindi favorisca l'applicazione di una maggior quantità di liquame. Sembra comunque che il disco dia il massimo delle sue prestazioni ad una profondità di 150 mm con una velocità relativamente elevata, in quanto si verrebbe a favorire un buon interrimento del liquame (Rahaman e Chen, 2001).

Il disco doppio invece è stato testato a diverse profondità di lavoro ed è emerso che a profondità limitate i due dischi tendono a creare due cumuli ai lati e un solco all'interno che non viene ricoperto, di conseguenza il liquame posto in esso non è rimescolato con il terreno, determinando un'eccessiva emissione di odori e una perdita di nutrienti. A profondità superiori ai 100-110 mm l'area compresa tra i due dischi viene ad essere perfettamente coperta, e quindi questo assicura un buon interrimento del refluo (Rahaman e Chen, 2001) (Figura 7.12).



**Figura 7.12** - Profilo di suolo disturbato dal disco c.

Mettendo a confronto la zappetta con il disco si può affermare che, a parità di profondità di lavoro, il disco richiede uno sforzo di trazione nettamente inferiore della zappetta (tre volte più basso), per contro il disco è in grado di interrare una minor quantità di liquame (metà circa, di quello che è in grado di incorporare la zappetta) (Rahaman e Chen, 2001).

Il disco, comunque, risulta essere più adatto per l'interramento sui prati permanenti in quando crea un minor danno al cotico erboso, mentre i sistemi di interrimento convenzionali tendono a sradicare direttamente i cespi o provocare l'esposizione delle radici lungo il solco e il loro essiccamento (Warner et al., 1991). In genere la soluzione maggiormente adottata è costituita da due assolcatori estremamente ravvicinati, a doppio disco, con pattini costipatori laterali (Figura 7.13).



**Figura 7.13** - Interratore superficiale con doppio disco e pattini costipatori laterali.

L'elemento fondamentale che deve essere tenuto in considerazione è comunque dato dal fatto che, indipendentemente dalla tipologia di organo interratore, lo spandiliquame deve essere dotato di sistemi in grado di distribuire la dose prefissata. Nel caso di macchine dotate di serbatoio in pressione è possibile controllare il flusso di liquame in uscita, stabilizzando la pressione all'interno del serbatoio stesso e variando la sezione di uscita a mezzo di apposite valvole (Balsari et al., 1995). Schematicamente tale sistema è costituito da un pressostato, posizionato nella parte inferiore del serbatoio e collegato ad una valvola posta sulla tubazione che va dal compressore al serbatoio stesso. Essa ha la funzione di mantenere costante la pressione all'interno del serbatoio nel corso della distribuzione. Vi è poi una valvola che permette di regolare il flusso di liquame verso il sistema di distribuzione. Il tutto è gestito da una centralina elettronica che agisce sulla valvola di apertura del serbatoio in modo da mantenere costante la dose di distribuzione indipendentemente dalla velocità di avanzamento dello spandiliquame. Tale sistema richiede una taratura preliminare per tener conto di quelle caratteristiche fisiche del liquame distribuito che possono influenzare direttamente tale parametro.

Nel caso invece di spandiliquame dotati di pompa volumetrica la regolazione della dose risulta essere molto più semplice. La corrispondenza tra il regime di rotazione della pompa e la sua portata, e il trascurabile effetto delle caratteristiche fisiche del liquame su quest'ultima, permette, con l'aiuto di apposite tabelle, una facile regolazione della macchina.



### 7.3 La situazione italiana oggi

In Italia, si sono sviluppati sistemi di interrimento del liquame poco razionali perchè non dotati di regolazione o comunque di controllo della dose effettivamente distribuita, e perchè muniti posteriormente di ancore di elevate dimensioni che collocano il prodotto ad elevate profondità (30-40 cm). Questo può favorire la lisciviazione in presenza di terreni sciolti e annate particolarmente piovose e comporta l'accoppiamento a trattrici di elevata potenza per erogare forze di trazione di oltre 1000 daN per metro di larghezza di lavoro (Bechis e Piccarolo, 1994), con elevati consumi di gasolio. Inoltre il passaggio di queste macchine sul terreno agrario porta spesso al danneggiamento anche irreversibile del suolo sia in superficie che in profondità anche a causa della ridotta larghezza di lavoro.

Comunque i benefici derivanti dall'interrimento del liquame (Sorensen e Amato, 2002; Tanaglio e Ligabue, 1998) e la tendenza a mettere in atto cantieri di lavoro che razionalizzino gli sforzi di trazione (Rahman e Chen, 2001) hanno motivato il tentativo di interrare il liquame in superficie (10-15 cm) e con coltura in atto, al fine di poter distribuire i reflui zootecnici in un periodo più ampio e con efficacia confrontabile a quella dei comuni fertilizzanti di sintesi (Balsari et. al., 2002), cercando allo stesso tempo di contenere l'impatto sulle risorse naturali (Chen e Tessier, 2001; Chen e Ren, 2002). A tal proposito, l'evoluzione subita in questi ultimi anni dalle strumentazioni applicate agli spandiliquame ha puntato ad ottimizzare l'utilizzazione dei reflui conciliando le esigenze agronomiche dell'azienda con le tematiche ambientali, portando all'applicazione di sensori in grado di determinare la concentrazione di azoto nel refluo all'interno della botte, consentendone una distribuzione a dosaggio variabile o comunque in funzione delle esigenze dell'appezzamento (Balsari, 2002).

### 7.4 Le esperienze analizzate

#### 7.4.1 Obiettivi

In questo contesto, quindi è necessario indirizzare gli sforzi verso utensili che possano essere utilizzati non solo su terreno nudo, ma anche con colture in atto a file spaziate. La distribuzione anche durante la fase di coltivazione può essere importante per una corretta gestione dei liquami soprattutto nelle grosse aziende zootecniche e per una corretta gestione dell'azoto minerale che può essere sostituito con quello organico.

Nella distribuzione in copertura la quantità massima di liquame distribuibile deve essere tale da non provocare l'affioramento, visto che si è notato che senza affioramento le perdite di ammoniaca sono inferiori, e quindi la sezione lavorata dagli utensili deve essere elevata ma non arrivare troppo in profondità.

Il presente studio ha la finalità di testare le prestazioni di 6 differenti utensili per la distribuzione sottosuperficiale dei liquami. Nelle prove in campo sono stati valutati gli effetti su alcune proprietà del solco creato durante la distribuzione in copertura sul mais con lo scopo di investigare (*i*) la possibilità di polivalenza di tali ancore investigate, analizzare le interazioni suolo/ancora e determinare il volume ottimale di liquame che potrebbe essere iniettato nel suolo senza avere problemi di affioramento e quindi di perdite di ammoniaca.

### 7.4.2 Metodologia di prova

Le prove sono state condotte presso l'azienda agraria sperimentale "L. Toniolo" della Facoltà di Agraria (Università di Padova), situata a Legnaro (PD) e sono state coordinate dal Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali dell'Università di Padova, nell'ambito di una collaborazione con la ditta *Vendrame* (Silea, Treviso), che ha costruito il prototipo di carro-botte utilizzato nelle prove in campo e la barra distributrice dotata degli interratori con alette laterali diritte e la ditta *Tecnoagricola* (Teor, Udine), che ha costruito la barra distributrice dotata di interratori con alette laterali ricurve.

I test sono stati condotti su appezzamenti di tessitura franco-sabbiosa. (Tabella 7.1).

**Tabella 7.1** - Caratteristiche chimico-fisiche dell'appezzamento ospitante le prove.

Parametro considerato	Media (0-45 cm)
Argilla (%)	19
Sabbia (%)	33
Limo (%)	48
Tessitura <sup>1</sup>	franco-sabbioso
Sostanza organica (%)	1,4
Densità volumica (g cm <sup>-3</sup> )	1,4
Umidità (%)	17

Il carrobotte impiegato nelle prove è monoasse con serbatoio, a pressione atmosferica, di capacità massima di 3900 litri. La pompa centrifuga ha una pressione massima di esercizio di 6 bar, un range di potenza assorbita di 40-70 kW ed una portata massima di esercizio pari a 2100 litri/minuto. Il sistema di distribuzione è completato da un gruppo ripartitore con agitatore-tritratore idraulico e 6 calate verso la barra di distribuzione.

Nelle prove sono state utilizzate due tipi di telaio portautensili: il primo della ditta *Vendrame* (V) e il secondo della ditta *Tecnoagricola* (T).

Il telaio V (Figura 7.14) è composto da tre moduli a ripiegamento idraulico: il modulo centrale, munito di due ruotini di profondità ad altezza regolabile, presenta una lunghezza di 1280 mm ed è provvisto di dispositivo per l'accoppiamento all'attacco a quattro punti posteriore del telaio. Ciascun modulo laterale ha una lunghezza di 1300 mm ed è dotato di un ruotino laterale di appoggio per la regolazione della profondità di lavoro.

Ogni modulo presenta due organi interratori costituiti da un corpo centrale a doppia spirale su cui sono frangiate le varie zappette. Nella parte posteriore ciascun organo interrattore è provvisto di dispositivo per il distacco rapido del tubo adduttore, avente diametro di 2" e costituito da materiale plastico flessibile.



Figura 7.14 – Telaio V.

Il telaio T (Figura 7.15) è formato da tre moduli: al modulo centrale sono applicate due barre a doppia L solidali con l'attacco a 4 punti per l'accoppiamento al carrobotte e incernierati due bracci, i quali hanno il compito di sostenere i due moduli laterali. I bracci a loro volta sono collegati ad un pistone idraulico, il cui azionamento consente il sollevamento e la chiusura della barra, per le manovre di voltata ed il trasposto su strada.

Ad ogni modulo sono collegati due elementi interratori ognuno dei quali è formato da un organo lavorante ed un ruotino gommato, avente sezione di 220 mm, che regola la profondità di lavoro: quest'ultimo è agganciato anteriormente al telaio modulare e con il punto di inserzione.

Quest'ultimo è incernierato all'elemento a doppia L, in due punti, mediante una lama elastica lunga 300 mm e posizionata nella parte inferiore dell'elemento, ed una molla filettata allungabile della lunghezza di 315 mm nella parte superiore: in entrambi i casi i punti di attacco al telaio principale sono costituiti da elementi a cerniera che consentono lo spostamento dell'organo lavorante sul piano verticale così da poter variare la profondità di lavoro. In particolare, è possibile variare il punto d'inserzione dell'asta rigida sul corpo centrale dell'ancora, mentre lo spostamento della molla superiore consente di variare l'inclinazione dell'intero corpo lavorante, così da aumentare l'angolo di incidenza e quindi la capacità di penetrazione della zappetta.



Figura 7.15 – Telaio T.













Nel telaio V sono state inserite 5 tipologie di zappette di diversa conformazione (Tabella 7.2).

- **Zappa stretta:** utensile stretto a punte reversibili della larghezza di 6 cm e lunghezza di 30 cm.
- **Zappa media:** punta a forma di picca con larghezza massima di 10 cm e lunghezza di 30 cm
- **Zappa larga:** con punta a forma romboidale con diagonali di circa 20 cm
- **Alette strette:** al corpo centrale, nella parte distale, sono frangiate due alette laterali diritte, leggermente inclinate sul piano orizzontale in corrispondenza del punto di inserzione e munite di spunzone rinforzato per facilitare la penetrazione nel terreno; larghezza massima 33 cm.
- **Alette larghe:** come le ancore ad alette strette è provvista di alette laterali diritte leggermente più larghe e più inclinate delle precedenti.

Nel telaio T è inserito un solo tipo di zappette.

- **Alette ripiegate:** la barra è stata equipaggiata con un organo lavorante le cui caratteristiche sono già state analizzate mediante dei test in campo su seminatrice da sodo, utilizzato in questo contesto come organo interruttore per la peculiare azione di disturbo arrecata la suolo lavorato (Sartori L. e M. Bertocco, 2002), il quale è stato dotato posteriormente del supporto di fissaggio per il tubo adduttore. Esso è costituito da un corpo centrale a forma di doppia L capovolta, lunga 720 mm, larga 70 mm e spessa 18 mm; nella parte distale posteriore è applicato un coltro fessuratore in acciaio, dotato di due alette laterali, ripiegate nella parte terminale di 90° rispetto al piano orizzontale, trattate termicamente dopo la sagomatura ed eventualmente dotate di riporti antiusura per operare in condizioni sfavorevoli. L'interruttore è dotato anteriormente, nella parte inferiore, di uno scalpello alto 130 mm, con un lato obliquo di 170 mm e spessore di 15 mm, in grado di lavorare ad una profondità di 25-30 mm superiore rispetto alla profondità di lavoro delle alette laterali posizionate posteriormente. Questo permette di creare uno spazio maggiore per l'iniezione del liquame.

**Tabella 7.2 – Tutte le tipologie di zappette utilizzate.**

Telaio V	zappa media		
	alette strette		
	zappa larga		
	zappa stretta		
	alette larghe		
Telaio T	Tecnoagricola (alette ripiegate)		



Nell'ambito delle prove lo spandiliquame è stato abbinato ad una trattrice New Holland mod. TL90, della potenza di 67 kW.

Lo studio degli effetti dell'interazione con il suolo dei diversi utensili e della loro efficienza nell'interramento del liquame è stato condotto attraverso i seguenti indicatori:

- **SUPERFICIE BAGNATA:** Per la determinazione della superficie bagnata si è utilizzata la metodologia fotografica, rapportando i nodi in cui la superficie risultava bagnata con il numero di nodi totali e determinando infine la frazione percentuale di terreno con liquame in superficie o con terreno bagnato.
- **VOLUME DI LIQUAME INCORPORATO:** Al fine poi di poter determinare il volume di liquame necessario per evitare il fenomeno dell'"over flow" è stata fatta una simulazione usando una soluzione colorata in blu e, in corrispondenza della zona di lavoro della zappetta, è stata creata una trincea con due lamine di ferro a distanza di 50 cm e inserito un tubo forato collegato ad un imbuto. Nell'imbuto è stata riversata la soluzione colorata contenuta in un recipiente graduato, dal quale si è determinato il volume massimo applicabile. In particolare, nel versamento del liquido si è operato in due tempi, registrando in una prima fase la quantità di liquido necessaria per ottenere un primo inumidimento della superficie del terreno e nella fase successiva misurando il volume necessario fino alla comparsa del fenomeno dell'overflow.
- **PROFILI DI INFILTRAZIONE:** Dopo un'ora dall'iniezione del liquame in corrispondenza della sezione lavorata, sono state individuate delle trincee aventi profondità di 20-25 cm e trasversali al senso di avanzamento della macchina, centrate sulla sezione in cui aveva operato l'interratore. In corrispondenza della zona bagnata (visibile perché il liquido utilizzato era colorato di blu) sono state quindi rilevate manualmente la profondità di infiltrazione del liquame nella parte centrale e laterale della zona con terreno smosso rispetto alla linea superficiale del terreno.
- **SEZIONE LAVORATA:** Al fine di valutare il profilo creato dalla zappetta nel terreno, in seguito al suo passaggio, è stata scavata una trincea trasversale alla direzione di avanzamento dell'operatrice rimuovendo il terreno superficiale lavorato, in modo tale da riuscire ad individuare il profilo creato. Da qui poi sono state misurate la profondità di lavoro centrale e laterale e la larghezza di lavoro.

### **7.4.3 Risultati**

Per quanto riguarda la misura delle sezione lavorata, gli utensili sono stati fatti lavorare a diverse profondità, prima senza distribuzione di liquame e successivamente con iniezione di un quantitativo di acqua pari corrispondente ad una dose di 50 m<sup>3</sup>/ha. Nella Tabella 7.3 sono riportate tutte le misure effettuate. Da questa e dal Grafico 7.1 si nota come ciascun utensile si comporta in modo diverso e legato alla sua conformazione.

**Tabella 7.3** – Valori caratteristici per la definizione della sezione lavorata da ogni utensile e dello stato della superficie del terreno dopo una distribuzione di 50 m<sup>3</sup>/ha.

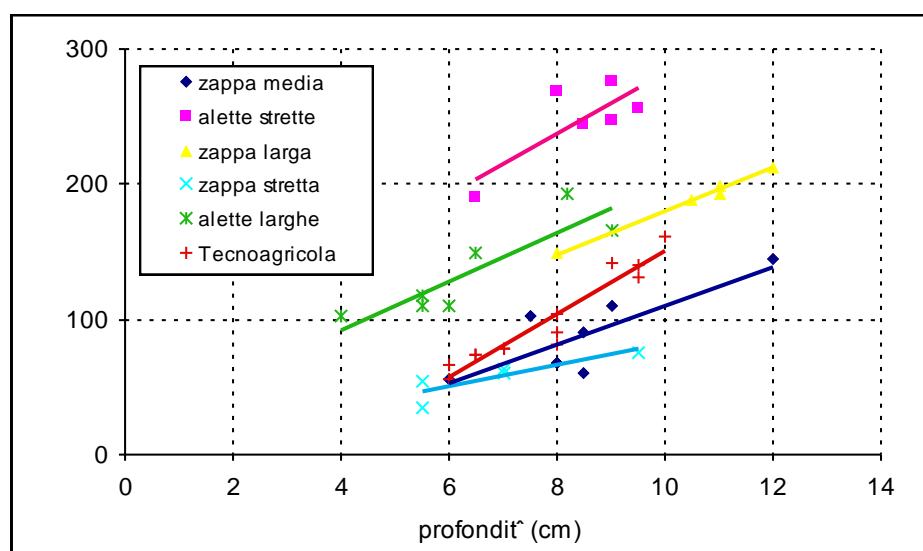
Tipologia di utensile	larghezza (cm)	profondità centrale (cm)	profondità sinistra (cm)	profondità destra (cm)	sezione lavorata (cm <sup>2</sup> )	superficie asciutta dopo iniezione di 50 m <sup>3</sup> /ha (%)
zappa media	20	7,5	7	6	103	77,32
	12	8	7	7,5	68	65,01
	14	8	5	6,5	68	
	12	8,5	5,5	6	60	
	20	9	6,5	6,5	110	100,00
alette strette	30	6,5	6,5	6	189	89,34
	30	8,5	8,5	7,5	244	100,00
	30	9	8,5	10	276	
	30	9	7,5	8,5	248	
	30	9,5	8	8,5	257	
zappa larga	27	8	7	7	149	77,55
	27	10,5	7,5	10	189	
	28	11	10	7,5	200	
	27	11	8,5	9	192	
	31	12	7	8,5	213	100,00
zappa stretta	11	5,5	4,5	5	54	
	7	5,5	5	4,8	35	
	9	7	6	8	63	
	9	7	6,3	7	61	
	8	9,5	9,5	9,5	76	
	15	10	8	10,5	142	74,38
	24	11,5	11,5	9	254	100,00
alette larghe	34	4	3	5	102	
	34	5,5	3,7	3,7	110	77,55
	34	5,5	3,8	4,5	117	
	34	8,2	8	6,5	193	
	34	9	4	6,5	166	100,00
	36	2	2	1,5	50	
	29	3,5	2	2,7	59	
	33	3,8	2	1,5	60	
	35	4,5	3,5	2,2	89	
	34	5	4,5	4,5	119	80,73
	30	5,3	5	4,5	111	
35	7,5	5,5	5	158	100,00	
alette ripiegate (Tecnoagricola)	30	6	1,5	1,5	55	
	32	6,5	2	2	74	76,42
	33	7	2	2	79	
	33	7	2	2	79	
	30	8	2	3	90	80,73
	32	8	2	2	82	
	33	8	2,5	3	105	
	34	9	3,5	4	141	
	33	9,5	4	3,5	140	
	33	9,5	3,5	3,3	131	84,13
34	10	4,5	4	161	100,00	

Risulta chiaro che la zappa stretta, pur lavorando alla stessa profondità delle altre, crea un solco di sezione inferiore rispetto agli altri (50-70 cm<sup>2</sup>). Seguono nell'ordine crescente la zappa media, le alette ricurve (Tecnoagricola), la zappa



larga e le due tipologie di alette. Lo stesso ordine viene mantenuto considerando l'effetto dirompente dell'utensile in funzione della profondità: il coefficiente angolare dei segmenti caratteristici di ciascun utensile presenti nella stessa figura rappresenta la maggiore o minore capacità di aumentare la sezione di terreno lavorato variando la profondità. Nella Tabella 7.4 è riportato il coefficiente angolare e il coefficiente di correlazione delle varie rette. Gli utensili privi di alette sono caratterizzati da un coefficiente angolare basso (8-16 cm<sup>2</sup>/cm), il che significa che anche aumentando la profondità, non si riesce a variare di molto la sezione lavorata. Viceversa succede per gli utensili provvisti di alette (coeff. angolare da 20 a 25 cm<sup>2</sup>/cm) che variando di poco la profondità riescono a aggredire un maggior quantitativo di terreno.

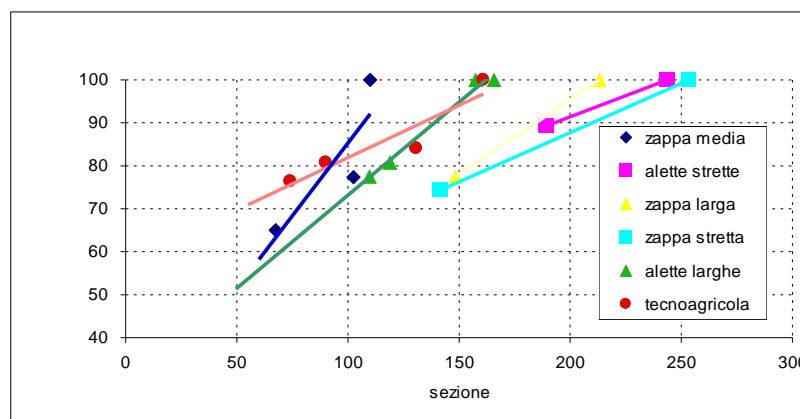
La maggior sezione di terreno smosso sembra avere anche interessanti correlazioni con la quantità di liquido che può essere ospitato all'interno del solco.



**Grafico 7.1** – Sezione lavorata da ogni utensile al variare della profondità di lavoro.

**Tabella 7.4** – Equazioni, coefficiente di correlazione e coefficienti angolari dei segmenti presenti nella figura precedente.

Tipologia di utensile	Equazione dei segmenti	Coefficiente angolare sezione/profondità	R <sup>2</sup>
zappa media	$y = 14,455x - 34,684$	14,45	0,66
alette strette	$y = 22,591x + 56,774$	22,59	0,61
zappa larga	$y = 16,042x + 20,063$	16,04	0,99
zappa stretta	$y = 7,8912x + 3,4105$	7,89	0,76
alette larghe	$y = 20,434x + 20,908$	20,43	0,88
alette ripiegate (Tecnoagricola)	$y = 23,28x - 82,684$	25,84	0,86

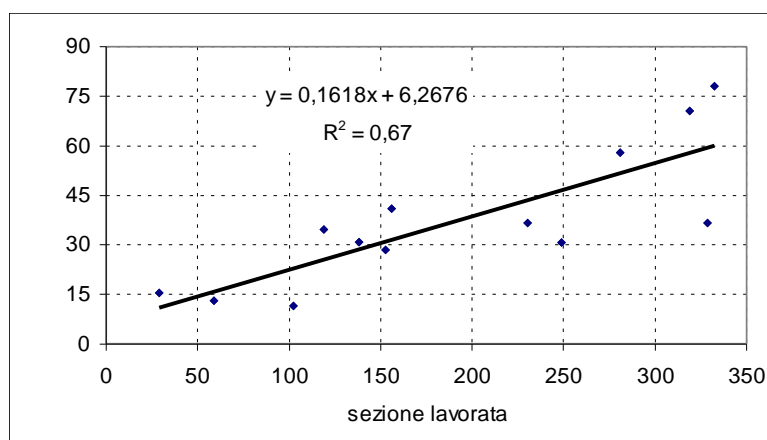


**Grafico 7.2** – Comportamento delle varie zappette alla somministrazione del liquido in termini di percentuale di superficie rimasta asciutta.

Infatti alla somministrazione di una dose costante di liquido (50 m<sup>3</sup>/ha) gli utensili hanno dimostrato un comportamento diverso come è visualizzato nel Grafico 7.2. Si nota innanzitutto che all'aumentare della sezione lavorata da ciascun utensile la superficie di terreno rimasta asciutta aumenta e quindi maggiore è la quantità interrata all'interno del suolo. Tuttavia, il fatto che i diversi utensili si comportino in modo diverso rispetto alla tendenza evidenziata precedentemente, fa pensare che altri fattori possano concorrere alla capacità di ritenere nel solco il liquido. Tra questi senza dubbio occorre annoverare la capacità di disciatura del terreno da parte delle ancore e quindi la capacità di creare fessurazioni più o meno profonde che facilitino l'infiltrazione.

Per questo motivo le prove sono continuate con la somministrazione di quantità variabili di liquido fintanto che questo non compariva in superficie, valutando anche la sezione del terreno interessata dall'infiltrazione.

Si è così evidenziata la stretta correlazione tra sezione lavorata e volume di liquido incorporato senza affioramenti in superficie. Tale correlazione è riportata nel Grafico 7.3 dalla quale si evince come con basse sezioni lavorate la quantità di liquame non possa superare i 15 – 30 m<sup>3</sup>/ha, mentre dosi molto più elevate sono possibili con utensili che permettono di affinare elevate sezioni di terreno.



**Grafico 7.3** – Relazione esistente tra la sezione lavorata dagli utensili e la dose massima di liquame ammissibile per evitare l'affioramento in m<sup>3</sup>/ha.

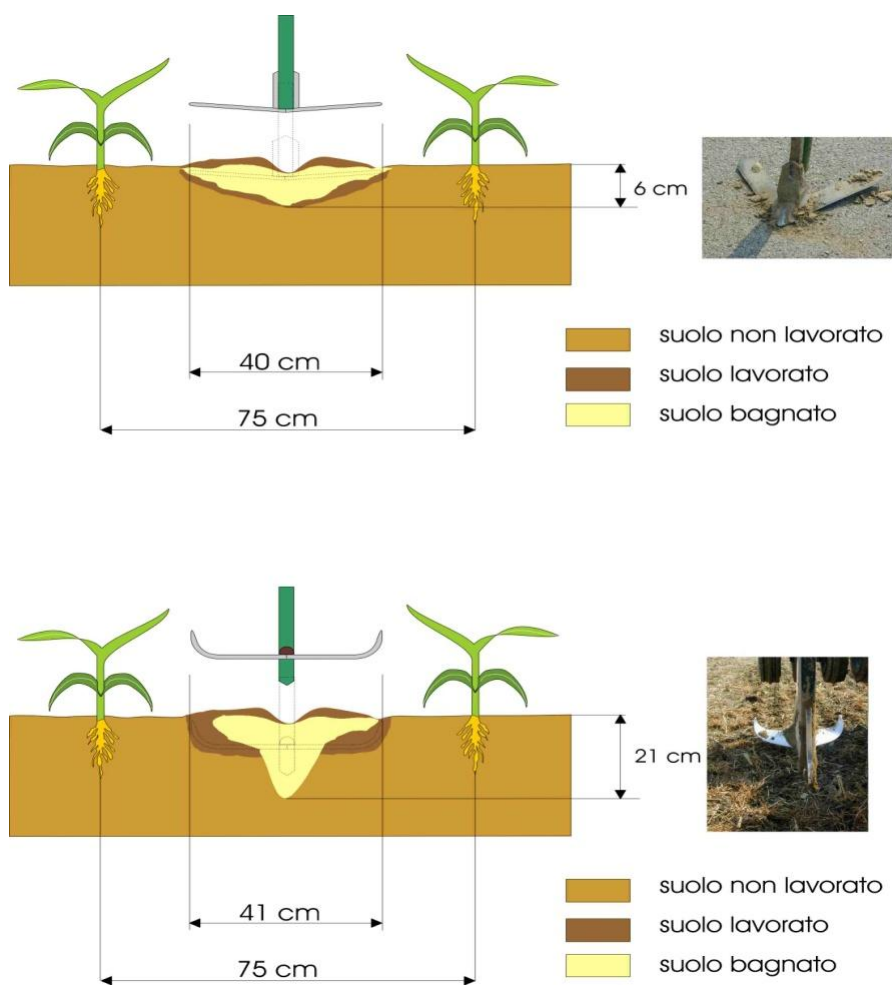
La sezione lavorata non è l'unico fattore influenzante la dose; la sperimentazione ha evidenziato che anche la capacità di fessurazione del terreno, la capacità di affinamento e quella di evitare suole di lavorazione sono elementi da non trascurare.

L'analisi dei profili infiltrati lo dimostra (Figure da 7.16 a 7.22).

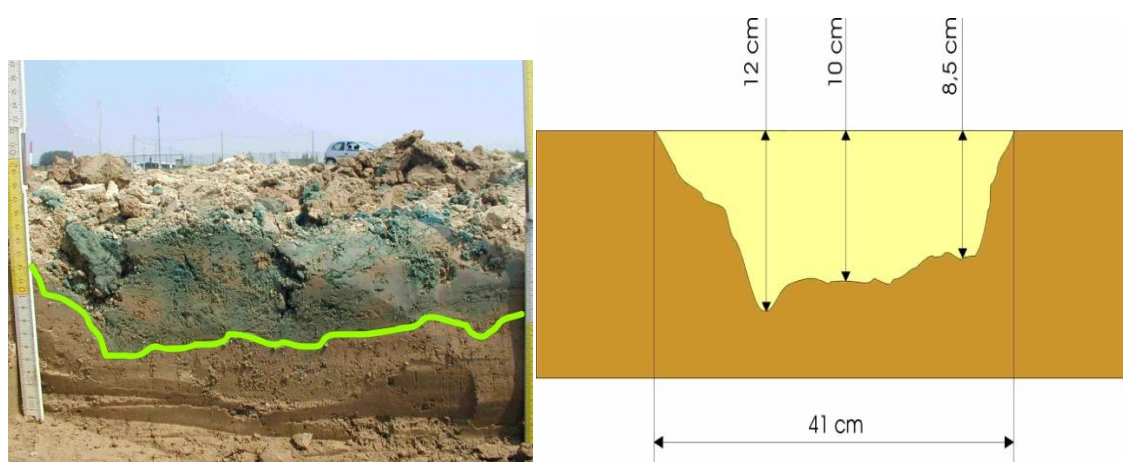
Con l'interratore ad alette laterali si nota una maggiore sezione d'infiltrazione rispetto all'interratore con alette ripiegate perchè il primo ha una maggiore capacità di aggressione nei confronti del terreno, a seguito anche della leggera inclinazione dello stesso verso la parte anteriore, rispetto invece all'interratore ad alette ripiegate, il cui effetto di disturbo è risultato più evidente nella parte centrale ma è poi molto attenuato nelle sezioni laterali del profilo, a seguito della sua modalità di lavoro: la leggera inclinazione delle alette laterali comporta infatti il sollevamento del terreno ed il suo riposizionamento in corrispondenza della posizione originaria. Tale fenomeno, cui si aggiunge una leggera compressione del terreno ad opera delle stesse alette, si riflette sulla capacità d'infiltrazione del liquido iniettato nel terreno, che ha manifestato una maggiore difficoltà ad interessare l'intera sezione lavorata, rivelando invece una più evidente tendenza a concentrarsi nella parte lavorata dallo scalpello anteriore della zappetta.

In particolare, a parità di profondità di lavoro, l'interratore ad alette laterali ha consentito l'applicazione di una maggior quantità d'acqua (+ 50%) rispetto a quelle ripiegate prima di manifestare il fenomeno del riflusso superficiale.

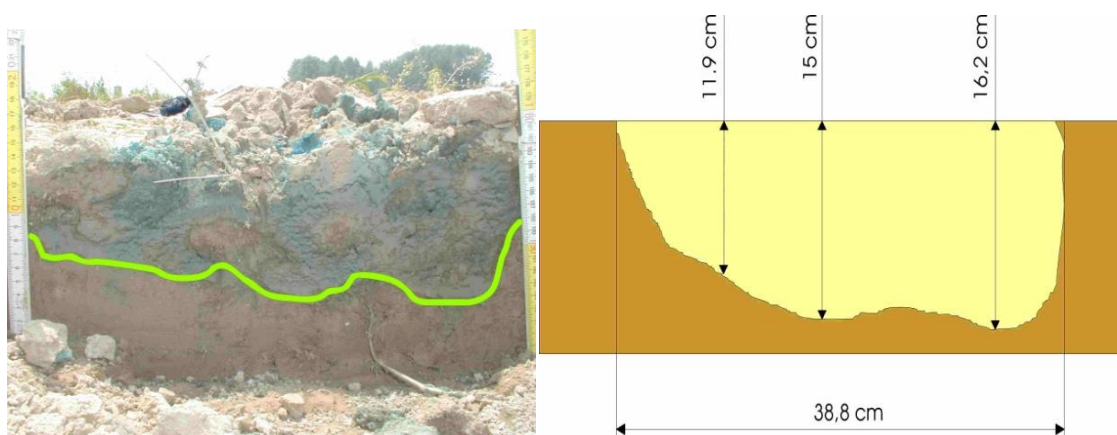
Lo stesso si può dire per la tipologia di interratore a zappa larga, anche se in questo caso i dati rilevati consentono di evidenziare un'azione intermedia rispetto alle altre due tipologie di interratore: esso consente infatti, a parità di profondità di lavoro, l'applicazione di un quantitativo d'acqua inferiore, avendo come riferimento l'obiettivo di evitare il fenomeno dell'over-flow, e ciò può essere dovuto al fatto che la presenza del coltro arreca al terreno un disturbo superficiale più contenuto, soprattutto in corrispondenza dei lati del solco, come evidenziato dal profilo del suolo più regolare e simile a quanto ottenuto con gli interratori precedenti. La presenza di maggiore zollosità di media dimensione infatti può essere la causa dell'impossibilità di applicare la restante frazione di liquido rispetto a quanto ottenuto con le alette, come dimostrato anche nel caso della % di superficie bagnata rilevata nelle condizioni sperimentali.



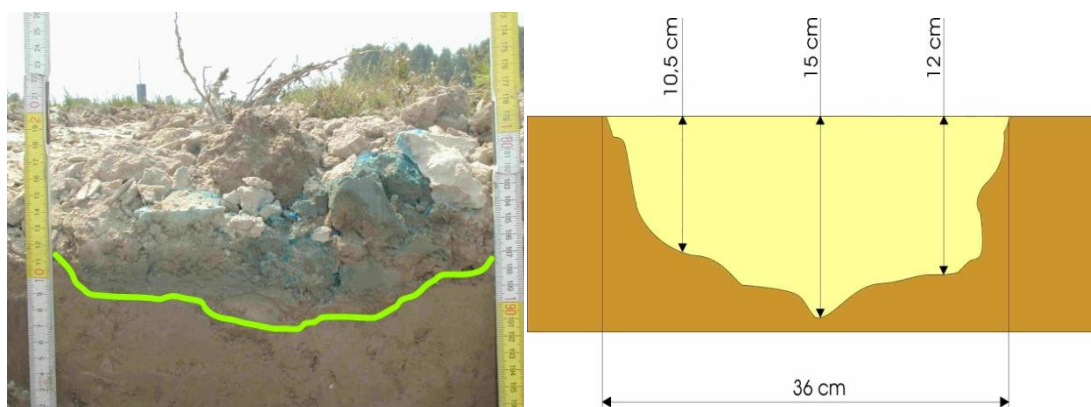
**Figura 7.16** - Rappresentazione schematica dei profili medi d'infiltrazione relativi a due tipologie di organo interrattore: organo interrattore ad alette laterali e quello ad alette ripiegate (sotto).



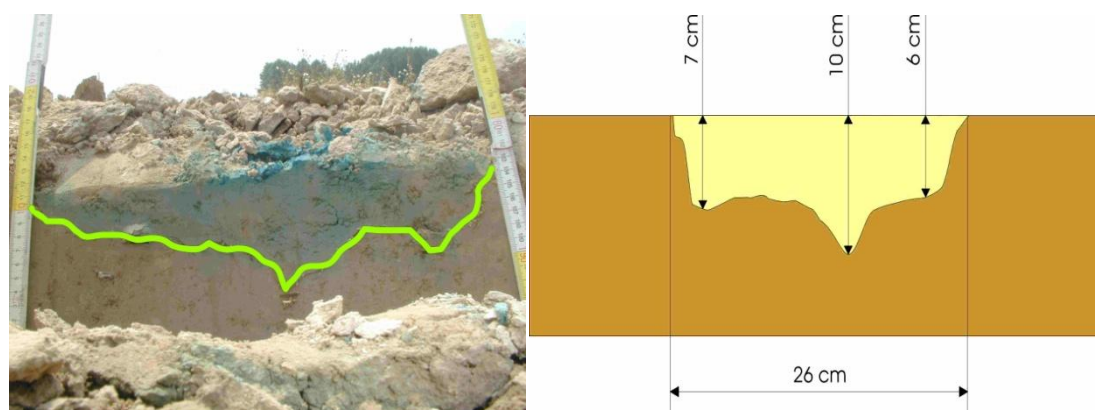
**Figura 7.17** - Profilo di infiltrazione (sinistra) e rappresentazione schematica del profilo d'infiltrazione ottenuto nella distribuzione interratta del liquame (profondità di lavoro: 10 cm) (destra), relativi all'organo interrattore ad alette laterali.



**Figura 7.18** - Profilo di infiltrazione (sinistra) e rappresentazione schematica del profilo d'infiltrazione ottenuto nella distribuzione interrata del liquame (profondità di lavoro: 15 cm) (destra), relativi all'organo interrattore ad alette laterali.

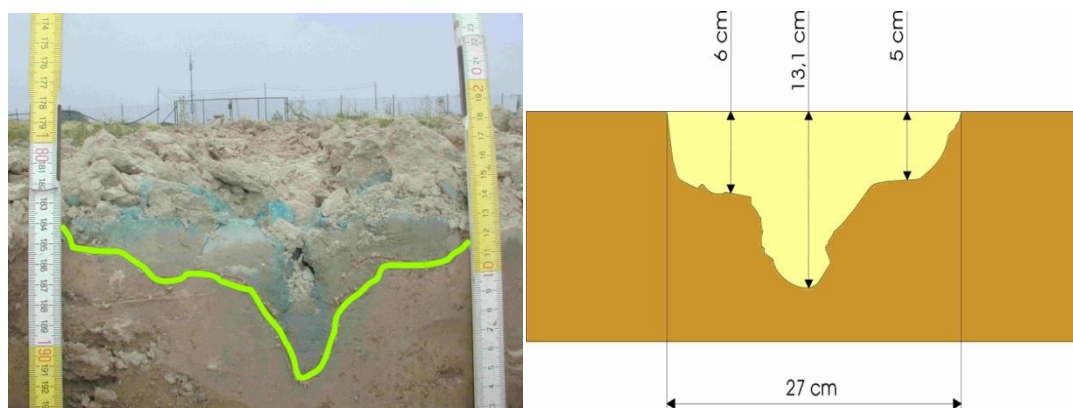


**Figura 7.19** - Profilo di infiltrazione (sinistra) e rappresentazione schematica del profilo d'infiltrazione ottenuto nella distribuzione interrata del liquame (profondità di lavoro: 10 cm) (destra), relativi all'organo interrattore a zappa larga.

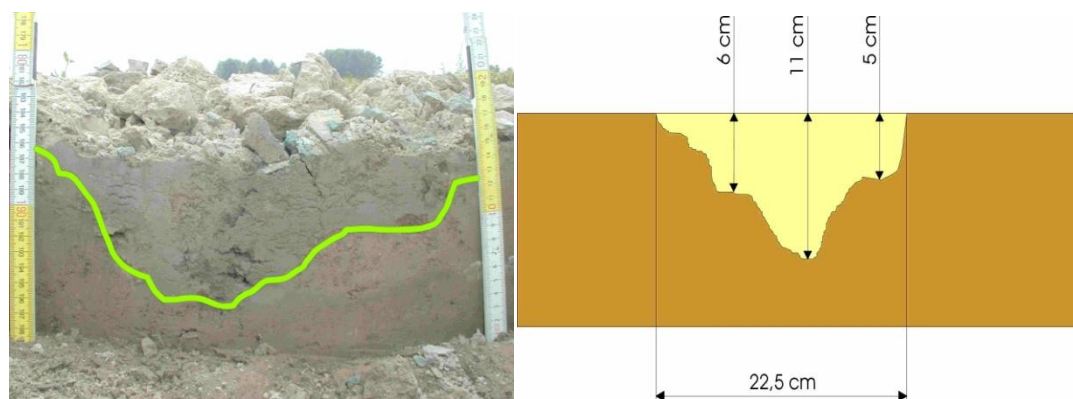


**Figura 7.20** - Profilo di infiltrazione (sinistra) e rappresentazione schematica del profilo d'infiltrazione ottenuto nella distribuzione interrata del liquame (profondità di lavoro: 15 cm) (destra), relativi all'organo interrattore a zappa larga.





**Figura 7.21** - Profilo di infiltrazione (sinistra) e rappresentazione schematica del profilo d'infiltrazione ottenuto nella distribuzione interrata del liquame (profondità di lavoro: 13 cm) (destra), relativi all'organo interratore ad alette ripiegate.



**Figura 7.22** - Profilo di infiltrazione (sinistra) e rappresentazione schematica del profilo d'infiltrazione ottenuto nella distribuzione interrata del liquame (profondità di lavoro: 11 cm) (destra), relativi all'organo interratore ad alette ripiegate.

#### 7.4.4 Considerazioni conclusive

I risultati ottenuti consentono di affermare che la scelta degli organi interratori a corredo di uno spandiliquame non è una scelta secondaria perché da essa dipende la dose da distribuire e la correttezza della distribuzione stessa.

Dal confronto delle tipologie di organi lavoranti, si nota come alcuni di questi (alette laterali) abbiano la tendenza a creare un maggior disturbo superficiale, spostando la macrozollosità ai lati della zona lavorata e creando quindi un profilo con "forma a V" più accentuato rispetto alle alette ripiegate; ciò si accompagna più facilmente alla presenza di liquame in superficie, in quanto è inferiore la quantità di suolo che può ricoprire il refluo al momento dell'applicazione, soprattutto con interrimento dello stesso a profondità di circa 5 cm. Proprio a seguito della macroporosità che si viene a creare ai lati del solco però, consente l'applicazione di una maggiore dose di liquame rispetto alle tipologie di interratore a zappetta, per le quali la maggiore incidenza di microporosità limita probabilmente la capacità

recettiva del suolo, a meno di una maggiore incidenza di riflusso superficiale in fase operativa.

Correlato alla minore dose distribuita per non incorrere nel fenomeno dell'“*over-flow*”, nel caso dell'interratore ad alette ripiegate si ha un profilo di infiltrazione minore, soprattutto a seguito della minore superficie lavorata dalle alette laterali e dalla loro leggera compressione sul terreno. Considerando infine la tipologia di profilo d'infiltrazione, la maggior parte del liquido ha dimostrato la tendenza ad infiltrarsi nella porzione centrale del solco, rispetto alla più omogenea infiltrazione ottenuta con gli altri utensili, a seguito soprattutto del disturbo creato nella porzione centrale della zona lavorata dallo scalpello centrale anteriore.

L'impiego dei reflui mediante interramento localizzato in superficie si è perciò configurato come una tecnica di spandimento che, pur necessitando di ulteriori miglioramenti ed approfondimenti, può risultare molto interessante per la valorizzazione del liquame ed un suo più corretto impiego durante il ciclo colturale. Oltre a contenere o consentire un maggiore controllo su quegli aspetti che costituiscono i punti critici dell'interramento dei reflui in profondità, tecnica comunemente diffusa, quali l'eccessivo calpestamento in fase di distribuzione e la richiesta di potenza elevata, essa consente infatti di attenuare anche quei fenomeni che caratterizzano invece la distribuzione dei liquami a spaglio, come la volatilizzazione di N in forma ammoniacale o l'eccessiva permanenza del prodotto in superficie, a cui si accompagna l'emissione di cattivi odori.

La possibilità di impiegare poi trattrici di piccole dimensioni e di sfruttare l'effetto superficiale di disturbo arrecato al suolo dall'organo interratore, anche come “effetto sarchiante”, amplia ulteriormente le possibilità di applicazione, anche se per avere una piena valorizzazione della tecnica in oggetto non devono essere sottovalutati tutti gli aspetti legati all'interazione tra l'organo lavorante ed il suolo, un elemento di cruciale importanza, in grado di condizionare l'intera pratica agronomica.



## 8. QUANTIFICAZIONE E CONTROLLO DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA NELLA FASE DI DISTRIBUZIONE DEI LIQUAMI

Le perdite di ammoniaca per volatilizzazione durante la distribuzione devono essere attentamente valutate sia perché spesso possono assumere dimensioni allarmanti, anche molto superiori a quelle derivanti dalle fasi precedenti del ciclo produttivo, vanificando le misure intraprese nella stalla e nello stoccaggio, sia perché le strategie per ridurre l'impatto sembrano essere facilmente introducibili nell'azienda a costi relativamente bassi. Inoltre riducono il potere fertilizzante dei reflui e aumentano il carico inquinante nell'aria.

Le migliori tecniche di distribuzione per controllare i processi di volatilizzazione sono quelle che riducono la diffusione del gas limitando il tempo di esposizione e le superfici di contatto tra il liquame e l'atmosfera.

### 8.1 Le emissioni di ammoniaca nella distribuzione

La scelta delle tecniche di distribuzione (Tabella 8.1) deve seguire differenti approcci in relazione al fatto che la coltura sia presente (prato o in copertura) o meno (terreno nudo) durante l'applicazione stessa (Huismans, 2003).

Nel primo caso, anche se la presenza della vegetazione ostacola sempre la distribuzione, l'applicazione rasoterra e l'incorporazione sottosuperficiale sono considerate buone tecniche di distribuzione dal momento che riducono le emissioni e allargano il periodo di distribuzione anche in epoche primaverili ed estive.

In assenza di coltura, l'aspetto fondamentale è l'incorporazione che può essere differita dalla distribuzione e abbinata con le lavorazioni del terreno, oppure effettuata in contemporanea attraverso la distribuzione sottosuperficiale o l'iniezione profonda.

#### 8.1.1 Spandimento superficiale

I sistemi ad alta pressione comprendono gli irrigatori e i carbotte con piatto deviatore.

L'irrigatore ad alta pressione funziona ad elevate pressioni di esercizio e gittate che possono superare i 60 m. Per questo le considerevoli perdite sono dovute alla ridotta dimensione delle gocce prodotte e al tempo di permanenza di queste a contatto con l'atmosfera. Sebbene non sia richiesto il transito sull'appezzamento, l'uniformità di distribuzione è limitata e la tecnica non è considerata tra le migliori disponibili.

Il carbotte con piatto deviatore è caratterizzato da una insufficiente uniformità di distribuzione trasversale e da elevata polverizzazione del getto (Chambers et al., 2001).

Nemmeno il suo uso rientra tra le pratiche di spandimento migliori: infatti si evidenziano perdite oscillanti dal 14 fino a oltre l'80% dell'azoto ammoniacale distribuito, parte delle quali, in condizioni ambientali sfavorevoli, per evaporazione diretta (Sharpe e Harper, 1997).

Irrigatori e carribotte operanti con ridotte pressioni di esercizio possono essere considerati tecniche compatibili purché producano grosse gocce e abbiano limitata gittata. Per compensare alla bassa larghezza di lavoro, una valida applicazione prevede l'uso di due piatti deviatori (carribotte) o una barra di distribuzione (irrigatori): in questo caso il sistema può essere utilizzato anche in copertura per i cereali autunno-vernini e, con le dovute precauzioni, nelle colture a semina primaverile (European Commission, 2003).

**Tabella 8.1** – Applicabilità delle tecniche di spandimento dei reflui sulla base delle normative vigenti (European Commission, 2003) ed entità del fenomeno della volatilizzazione di ammoniaca. L'intervallo dei valori si riferisce alle condizioni esterne rispettivamente inibenti e favorevoli al fenomeno.

Tipologia di spargimento	Emissioni (% sull'N ammoniacale) (*)	Momento di spargimento			
		presemina, terreno non coltivato	copertura		
			sarchiate	cereali	prato
superficiale ad alta pressione con carrobotte	14-100 (**) 10-40 (***)	sconsigliato	sconsigliato	sconsigliato	sconsigliato
superficiale ad alta pressione con irrigatore	60-100 (**) 30-50 (***)	sconsigliato	sconsigliato	sconsigliato	sconsigliato
superficiale a bassa pressione	55-100 (**) 30-50 (***)	possibile	possibile	possibile	possibile
rasoterra in banda	25-45 (**) 10-25 (***)	consigliato	consigliato	consigliato	consigliato
rasoterra in banda con deflettore	10-35			consigliato	consigliato
sottosuperficiale con dischi (a solco aperto)	18-22			consigliato	consigliato
sottosuperficiale con zappette (a solco chiuso)	10-18	consigliato	consigliato		
iniezione profonda	8-15	sconsigliato			sconsigliato

(\*) Range di valori in funzione delle condizioni climatiche e delle caratteristiche del refluo

(\*\*) Senza incorporazione

(\*\*\*) Con incorporazione differita a 4 ore dal trattamento

### 8.1.2 Spandimento rasoterra in banda

Lo spandimento rasoterra prevede che il liquido venga posizionato direttamente in prossimità del terreno attraverso barre di elevata larghezza di lavoro, provviste di tubi adduttori flessibili. L'assetto tipico è relativo a barre della lunghezza di 12 m con tubazioni distanziate di 30 cm.

Rispetto allo spandimento superficiale si consegue un migliore utilizzo degli elementi nutritivi, una riduzione della contaminazione della parte aerea della

coltura e la possibilità di distribuzione, oltre che su terreno non coltivato, anche tra le file o su colture in atto.

I sistemi che prevedono la localizzazione superficiale in banda riducono le emissioni dal 40 al 60% rispetto lo spandimento superficiale (Balsari e Gioelli, 2003; Smith et al., 2000).

### **8.1.3 Incorporazione differita del liquame distribuito**

Si dovrebbe applicare quando non è possibile intervenire con altre tecniche che prevedano l'interramento contemporaneo alla distribuzione.

Su terreno non coltivato l'interramento contemporaneo o differito di qualche ora è il sistema più efficace per limitare la volatilizzazione (anche fino al 96% rispetto alla distribuzione superficiale) (Balsari e Gioelli, 2003), ma difficoltosa risulta la sua applicazione in terreni secchi o ricchi di scheletro (Aroso et al., 2001).

L'incorporazione del liquame si realizza entro 4 ore dall'intervento (European Commission, 2003) con attrezzature che provvedano al completo rivoltamento degli strati e quindi con aratri a versoio o erpici a dischi.

Premesso che non sono idonee attrezzature a denti che lasciano in superficie una certa frazione di refluo, alcune precauzioni riguardano la profondità di interramento del liquame cui è legata la scelta del tipo di aratro. E' chiaro che occorre trovare un giusto compromesso tra l'esigenza di interrare tutto il distribuito con il fabbisogno in potenza e in trazione richieste al trattore. Con dosi relativamente ridotte si deve mantenere superficiale la lavorazione per non diluire troppo la sostanza organica lungo il profilo del terreno, utilizzando aratri polivomeri superficiali, mentre, con quantità unitarie più elevate, si dovrebbe aumentare progressivamente la profondità che comunque non deve essere superiore a 30-35 cm. Inoltre le condizioni di lavoro in questo frangente favoriscono gli slittamenti e tendono a ridurre l'aderenza delle ruote motrici.

Nel caso dell'incorporazione differita l'effetto del tempo che intercorre tra i due interventi è importante in considerazione del fatto che il picco di maggior volatilizzazione del gas è circoscritto nelle prime ore dallo spandimento.

### **8.1.4 Spandimento rasoterra in banda con deflettore**

Le attrezzature hanno la stessa configurazione di quelle per la distribuzione in banda (larghezza massima di 8 m) con in aggiunta un deflettore posto nella parte distale del tubo adduttore che permette di depositare il liquame sotto la coltura e sopra il suolo, senza contaminazioni della parte aerea. Questa tecnica è applicabile su prati e cereali autunno-vernini la cui vegetazione abbia un'altezza minima di 8 cm: il deflettore sposta lateralmente gli steli e le foglie che, dopo il rilascio del liquame, ritornano nella posizione iniziale. La banda del liquido viene quindi coperta dalla vegetazione che funge da protezione contro i fenomeni ambientali che favoriscono la volatilizzazione (Chadwick e Laws, 2002).

Oltre all'effetto vegetazione, sembra che le minori perdite siano anche dovute all'assorbimento del gas da parte delle foglie (Aroso et al., 2001) e dello ione ammonio per opera delle radici.

### 8.1.5 Spandimento sotto-superficiale a solco aperto

Il liquame viene depositato in un solco creato da utensili di vario tipo che in genere lavorano a profondità non superiori a 5-6 cm. Gli assolcatori, a lama o a disco singolo o doppio, spazati di 20-40 cm, incidono il terreno e lasciano aperto un profilo che viene poi riempito dal liquame. Questo tipo di distribuzione è adatto per prati con sviluppo non eccessivo e cereali autunno-vernini (Chadwick e Laws, 2002; Chen et al., 2001).

Oltre a ridurre ulteriormente l'entità delle perdite di ammoniaca e non provocare contaminazioni con la parte epigea della pianta, viene ridotto il rischio di scorrimenti superficiali, ma occorre determinare con attenzione le dosi in modo che il liquame non tracimi dal solco appena creato. In altre parole la quantità distribuita è correlata con la profondità di lavoro e il numero di utensili a disposizione. Inoltre, visto anche la minor larghezza di lavoro (fino a 6 m) e la maggior complessità dell'operazione di distribuzione che interessa anche una minima lavorazione del terreno, la tecnica è più onerosa della precedente dal punto di vista energetico ed economico.

### 8.1.6 Spandimento sotto-superficiale a solco chiuso

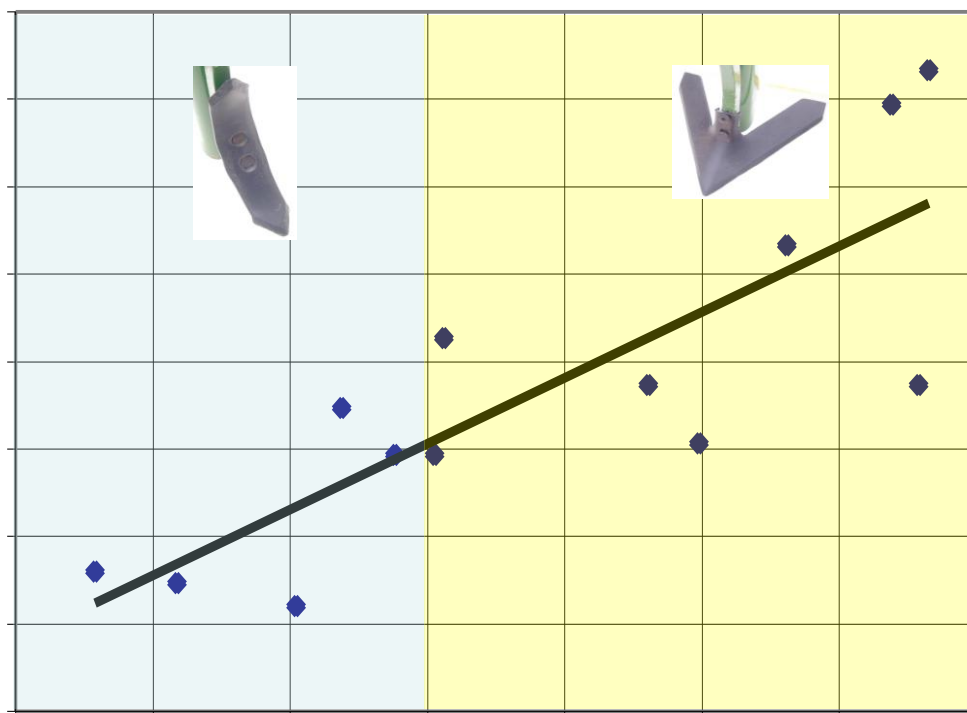
Il liquame viene iniettato ad una profondità massima di 15 cm in un solco creato da denti o dischi e successivamente coperto da dischi o rulli a valle dell'iniettore. La finalità è quella di ricoprire totalmente il liquame in modo da ridurre al minimo le emissioni e gli odori; in queste condizioni il sistema infatti è più efficiente del precedente nel contenimento della volatilizzazione. Oltre a ridurre le perdite di ammoniaca fino all'80-90%, l'interramento superficiale non sembra essere influenzato troppo dai fattori climatici.

Consente, invece, un aumento della quantità di prodotto distribuibile senza che si verifichino volatilizzazioni, perché maggiori sono la profondità di lavoro e la sezione lavorata. A questo proposito, utensili con alette larghe (a zampa d'oca) sebbene richiedano maggiore potenza di un'ancora diritta a parità di profondità, possono operare a minore profondità e garantiscono meglio la copertura del liquame (Grafico 8.1) (Rahman et al., 2002; Chen e Tessier, 2001; Chen, 2002)

Lo spazio fra le ancore, fattore anch'esso condizionante la dose distribuita, dipende dalle modalità di applicazione della tecnica che può essere ugualmente valida su terreno nudo, con distanze tra ancore oscillanti tra 25 e 35 cm, come su colture sarchiate, interasse da 45 a 100 cm (Figura 8.1).



**Figura 8.1** – Intervento in copertura su mais con distribuzione sottosuperficiale a solco chiuso.



**Grafico 8.1** – Nella distribuzione sottosuperficiale, con utensili larghi è possibile aumentare la sezione lavorata e quindi maggiore è il volume di refluo che può essere interrato senza che si verifichino fenomeni di volatilizzazione.

### 8.1.7 Iniezione profonda

L'iniezione profonda viene realizzata con ancore a profondità maggiori di 30 cm, seguite da tubi adduttori che depositano elevate quantità di liquame. Le ancore spaziate da 25 a oltre 50 cm, in funzione della profondità di lavoro, sono spesso dotate di utensili a zampa d'oca o altri accessori atti ad aumentare la sezione lavorata e quindi ad ospitare una maggior quantità di prodotto.

L'abbattimento delle perdite di ammoniaca è rilevante, paragonabile a quello ottenuto con l'incorporazione sottosuperficiale, ma alcuni inconvenienti ne sconsigliano l'uso. Tra questi la bassa capacità di lavoro, l'elevata spesa energetica richiesta per la trazione, difficoltà di operare in suoli compatti e ricchi di scheletro, diffuso compattamento del terreno, perdite di azoto per lisciviazione dei nitrati e scarsa utilizzazione da parte delle radici delle piante coltivate.

## 8.2 I parametri esterni che influenzano la volatilizzazione

Le perdite di ammoniaca durante la distribuzione dipende anche da: fattori meteorologici, caratteristiche del liquame, condizioni del terreno e presenza o meno di vegetazione o residui colturali in superficie. La loro conoscenza può

essere decisiva per mettere a punto una efficace strategia di riduzione delle perdite di ammoniaca (Tabella 8.2).

**Tabella 8.2** - Principali fattori esterni che influiscono sulla volatilizzazione dell'ammoniaca in fase di distribuzione.

Fattore		Proporzionalità diretta (+) inversa (-)
Caratteristiche del refluo	pH	+
	contenuto di Azoto	+
	solidi totali	-
Fattori meteorologici	Temperatura dell'aria	+
	Radiazione solare	+
	Velocità del vento	+
	Precipitazioni	-
Suolo e coltura	Presenza di coltura e residui	+/-
	Umidità	+/-
	Infiltrazione	-
	Capacità di scambio cationico	-
	pH	+

### 8.2.1 Fattori meteorologici

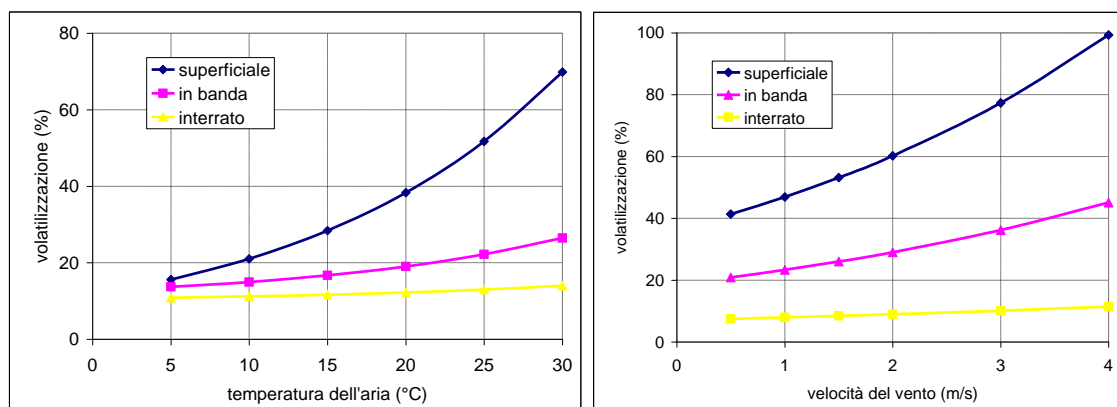
La temperatura dell'aria condiziona la volatilizzazione dell'ammoniaca e l'evaporazione dell'acqua. L'evaporazione dell'acqua, che influisce sulla concentrazione del liquame, è influenzata anche dall'umidità dell'aria e dalla radiazione solare, mentre la volatilizzazione viene controllata anche dalla concentrazione di ammoniaca nell'aria e quindi dalla ventosità (Grafico 8.2).

Nel programmare i trattamenti occorre considerare questo effetto privilegiando i mesi meno caldi e i periodi più freddi della giornata essendo stato riscontrato che la volatilizzazione raggiunge i valori massimi in corrispondenza delle ore centrali del giorno e i valori minimi in piena notte.

D'altra parte sembra anche che in condizioni di bassa umidità e elevata temperatura si possa formare una crosta superficiale di liquame che funge da barriera contro la diffusione di ammoniaca del liquame.

La diffusione dell'ammoniaca aumenta con la velocità del vento che mantiene bassa la sua concentrazione nell'aria e quindi stimola ulteriore volatilizzazione. Questo fino a velocità di circa 2,5 m/s, oltre non sembrano registrarsi consistenti aumenti nella volatilizzazione.

Precipitazioni prima del trattamento potrebbero diluire il liquame oppure diminuire la sua infiltrazione nel suolo, tuttavia se l'evento avviene subito dopo la distribuzione (come pure un'irrigazione) è possibile migliorare l'infiltrazione e ridurre la volatilizzazione e l'evaporazione.



**Grafico 8.2** – Esempio dell'effetto della temperatura (a) e del vento (b) sulle perdite di ammoniaca in fase di distribuzione.

### 8.2.2 Caratteristiche del refluo

Alte temperature del liquame aumentano la frazione di ammoniaca gassosa, riducono la sua solubilità in acqua e aumentano l'energia cinetica delle molecole (Arogo et al., 2001).

Un elevato contenuto di solidi totali aumentala volatilizzazione dal momento che minore è l'infiltrazione nel terreno per i reflui più densi e quindi maggiore è il tempo di esposizione all'atmosfera (Balsari e Gioielli, 2003). Tendenza inversa si registra per i liquami diluiti che infiltrano più facilmente e quindi perdono una minor quantità di ammoniaca (dal 44 al 91%) rispetto a quelli non trattati.

Anche un alto valore di pH del liquame è in grado di condizionare la quantità di ammoniaca persa per volatilizzazione, almeno nel primo periodo dopo la distribuzione quando la progressiva perdita di gas abbassa il pH e quindi rallenta il fenomeno stesso.

### 8.2.3 Suolo e coltura

Un'alta capacità di scambio cationico e un basso pH riducono le perdite per volatilizzazione, come pure un suolo caratterizzato da una buona porosità favorisce l'infiltrazione del liquame a scapito della volatilizzazione.

Terreni con differenti valori di pH hanno evidenziato emissioni di ammoniaca quattro volte superiori passando da un terreno acido a uno con pH pari a 8,2 (Balsari e Gioielli, 2003).

Anche le lavorazioni del terreno e il fenomeno del compattamento possono giocare un ruolo importante perché influenzano la porosità e quindi la volatilizzazione.

L'effetto viene amplificato se si distribuisce il liquame su terreno lavorato con riduzioni delle volatilizzazione dal 40 al 90% rispetto a un suolo non lavorato, per maggior infiltrazione e maggior capacità di invaso.

Quando il liquame è applicato sulla coltura spesso si nota minor infiltrazione e maggior superficie di contatto con l'atmosfera che, entrambe, favoriscono la volatilizzazione. Anche la presenza di residui colturali sortisce lo stesso effetto, ma



occorre sottolineare anche come la coltura agisca anche come una barriera tra il liquame applicato e l'ambiente, limitando la velocità del vento e riducendo di fatto la volatilizzazione.

### 8.3 Le prove sperimentali

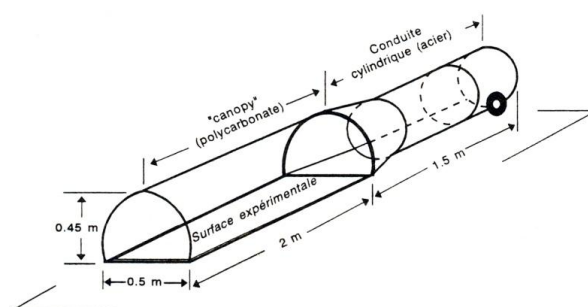
Alcune esperienze sono state condotte per verificare queste premesse, soprattutto con la finalità di confermare la tesi della dipendenza della volatilizzazione dell'ammoniaca con le modalità di distribuzione. In particolare se voleva verificare se uno scarso affioramento del liquame dovuto alla localizzazione interrata sottosuperficiale potesse contribuire alla limitazione della volatilizzazione rispetto alla distribuzione rasoterra.

Per questo si sono svolti due confronti distinti. Il primo tra una distribuzione rasoterra e una interrata sottosuperficiale su coltura di mais in copertura. Il secondo tra una distribuzione superficiale con piatto deviatore e una rasoterra in banda in copertura su prato.

Per entrambi è stato utilizzato uno strumento progettato e costruito appositamente nell'officina di Meccanica agraria dell'Azienda Sperimentale "L. Toniolo" della Facoltà di Agraria di Padova, in grado di valutare il contenuto di ammoniaca nell'aria seguendo le indicazioni fornite dalla bibliografia (Lockyer D.R., 1984, Thiron e Chabot, 2003).

Lo strumento è costituito da un tunnel di plexiglas della lunghezza totale di 2 m (costruito in due tronconi per facilitarne il trasporto) e sezione di  $0,11 \text{ m}^2$ , alla cui estremità è posta un ventilatore assiale che aspira l'aria dall'esterno e la convoglia all'interno del tunnel, mantenendo condizioni di umidità e temperatura analoghe a quelle esterne. Un anemometro a filo caldo viene usato per monitorare costantemente la velocità dell'aria interna. La base del tunnel è chiusa da un pannello di metallo, fatta salva una porzione rettangolare delle dimensioni di 0,38 m di larghezza e 1,5 m di lunghezza che lascia il terreno scoperto e in corrispondenza della quale è presente un foro sulla cupola del tunnel.

Ad intervalli regolari, dopo la distribuzione del liquame, sono state misurate, all'interno ed all'esterno del tunnel, la temperatura (in °C), l'umidità relativa dell'aria (U.R. %) e la velocità del vento (in m/s), mentre per il rilievo della concentrazione di  $\text{NH}_3$ , all'interno del tunnel, si sono utilizzate delle fialette graduate (modello *Draeger*) introdotte all'interno del tunnel dalla parte soprastante e collegate ad una pompa per l'aspirazione dell'aria (Figure 8.2 e 8.3).



**Figura 8.2** – Schema della strumentazione predisposta per la misurazione dell'ammoniaca durante la distribuzione.



**Figura 8.3** - Tunnel in plexiglas impiegato per la rilevazione della volatilizzazione dell'ammoniaca.

La concentrazione rilevata di volta in volta veniva rapportata al volume di aria estratta dal tunnel ottenendo la quantità in volume di  $\text{NH}_3$  persa nel periodo considerato. Per ottenere il numero di moli volatilizzato, si è applicata dapprima l'equazione dei gas perfetti e poi quella di van der Waals dei gas reali, infine, per determinarne il peso, si è moltiplicato il numero di moli per la massa molecolare del gas in questione.

### 8.3.1 Distribuzione rasoterra vs distribuzione interrata

Le prove sono state condotte su mais in appezzamenti di tessitura franco-sabbiosa. (Tabella 8.3) presso l'azienda agraria sperimentale "L. Toniolo" della Facoltà di Agraria (Università di Padova), situata a Legnaro (PD) e sono state coordinate dal Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali dell'Università di Padova, nell'ambito di una collaborazione con la ditta *Vendrame* (Silea, Treviso), che ha costruito il prototipo di carro-botte utilizzato nelle prove in campo e la barra distributrice dotata degli interratori con alette laterali diritte

**Tabella 8.3** - Caratteristiche chimico-fisiche dell'appezzamento ospitante le prove.

Parametro considerato	Media (0-45 cm)
Argilla (%)	19
Sabbia (%)	33
Limo (%)	48
Tessitura	franco-sabbioso
Sostanza organica (%)	1,4
Densità volumica ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,4
Umidità (%)	17

Il carrobotte impiegato nelle prove è monoasse con serbatoio, a pressione atmosferica, e una capacità massima di 3,9 m<sup>3</sup> (Figura 8.4).

La pompa è centrifuga e il sistema di distribuzione è completato da un gruppo ripartitore con agitatore-trituttore idraulico e 6 calate verso la barra di distribuzione. Nel trattamento rasoterra le calate sono state fissate al telaio in modo da rilasciare il liquame nell'interfila del mais di 0,75 cm; nella distribuzione interrata sono state rese solidali con gli interratori nella parte posteriore.



**Figura 8.4** – Spandiliquame durante la distribuzione.

Nella distribuzione con interrimento lo spandiliquame ha operato con una velocità di avanzamento di 2,8 km/h e una portata di 38 m<sup>3</sup>/h; la profondità di lavoro è stata di 5 cm e la dose adottata è stata di 30,2 m<sup>3</sup>/ha, pari 16 kg/ha di NH<sub>3</sub>. La distribuzione rasoterra è stata caratterizzata da una dose di 39 m<sup>3</sup>/ha pari a 21,1 kg/ha di ammoniaca, portate della pompa di 51 m<sup>3</sup>/h e una velocità di avanzamento di 2,9 km/h. Per entrambe la larghezza di lavoro è stata di 4,5 m; le caratteristiche chimiche del liquame usato sono riportate nella Tabella 8.4.

**Tabella 8.4** - Caratteristiche chimico-fisiche del liquame.

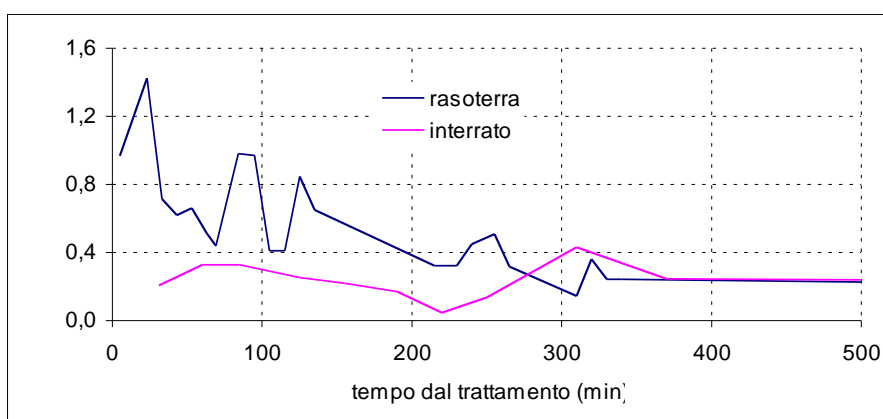
Parametri esaminati	Valore misurato
N-NH <sub>3</sub> (% su t.q.)	0,0553
N-tot (% su s.s.)	3,2872
K (ppm su s.s.)	118886
P (ppm su s.s.)	16644
Ceneri (% su s.s.)	39,019
Sostanza secca (%)	1,716

Le emissioni in atmosfera di azoto ammoniacale, sono risultate superiori nel caso della distribuzione superficiale, rispetto alla distribuzione interrata (Tabella 8.5).

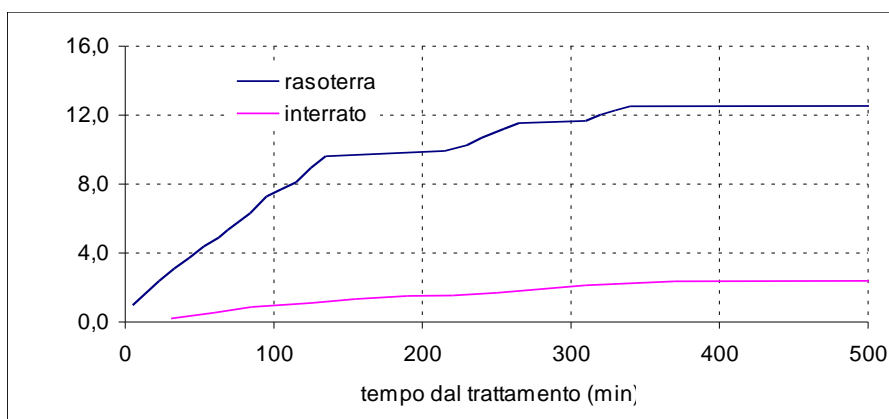
**Tabella 8.5** - Perdite di azoto ammoniacale nei due sistemi di distribuzione in relazione alle caratteristiche ambientali.

Tipologia di distribuzione	Dose (t/ha)	NH <sub>3</sub> somministrata (kg/ha)	U.R. (%)	Vento (m/s)	Temperatura (°C)	Volatilizzazione totale	
						(kg/ha)	(%)
Interrata	30,2	16,7	64,02	1,01	32,30	2,99	18,3
Superficiale	39,1	21,6	54,37	0,86	33,12	14,30	66,1

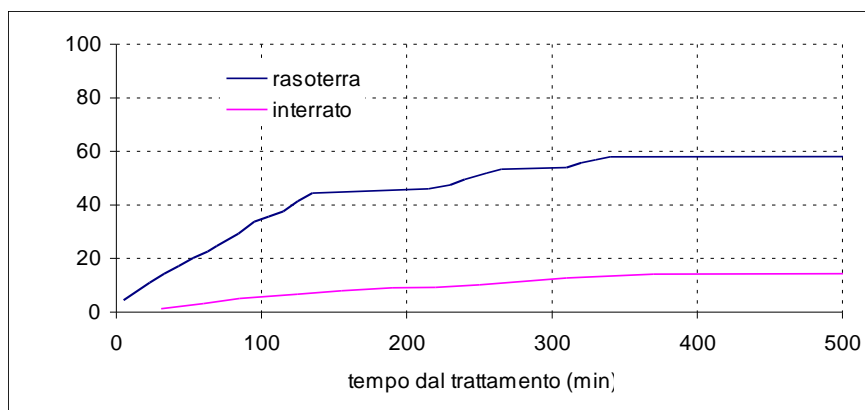
Per quanto riguarda l'andamento delle perdite, nel caso della distribuzione interrata questo è stato più costante rispetto la distribuzione superficiale, a causa della maggiore influenza che le condizioni ambientali esercitano sulla volatilizzazione del liquame distribuito in superficie. Ciò si è tradotto in un trend abbastanza omogeneo nel caso della distribuzione interrata, rispetto l'andamento maggiormente irregolare nel caso della distribuzione superficiale, come dimostrato dalla presenza di alcuni picchi di emissione nel periodo di tempo considerato dopo la distribuzione (Grafici 8.3, 8.4 e 8.5).



**Grafico 8.3** - Emissioni di NH<sub>3</sub> registrate nei due sistemi di distribuzione.

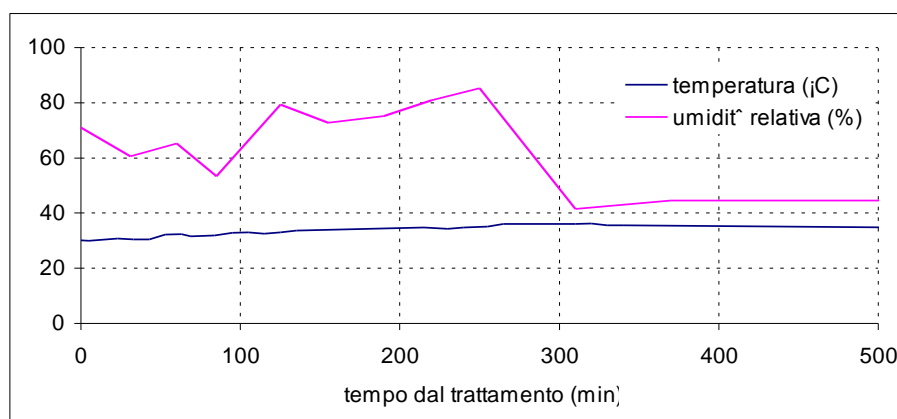


**Grafico 8.4** - Emissioni cumulate di NH<sub>3</sub> registrate nei due sistemi di distribuzione.



**Grafico 8.5** – Volatilizzazione cumulata di ammoniaca in percentuale rispetto alla quantità somministrata.

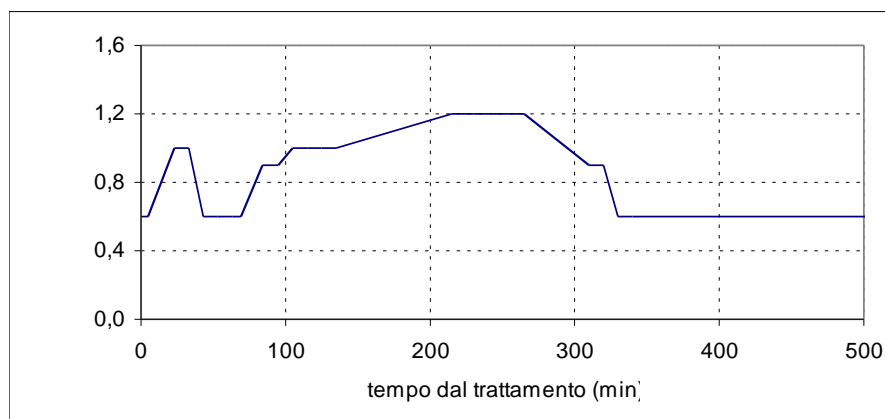
In particolare, nel caso specifico della distribuzione interrata si possono osservare due leggere variazioni dovute al leggero aumento di temperatura verificatosi nel periodo successivo la distribuzione. (Grafico 8.6)



**Grafico 8.6** - Emissioni di NH<sub>3</sub> e andamento della temperatura nel caso della distribuzione interrata.

Tra le condizioni ambientali, sembra abbia rivestito un ruolo significativo nell'incremento delle emissioni, anche l'andamento del vento (Grafico 8.7), come dimostrato dal fatto che il maggiore picco di emissioni si è registrato in corrispondenza del maggior scostamento della velocità del vento dal valore medio mantenuto nelle prime ore dal trattamento.

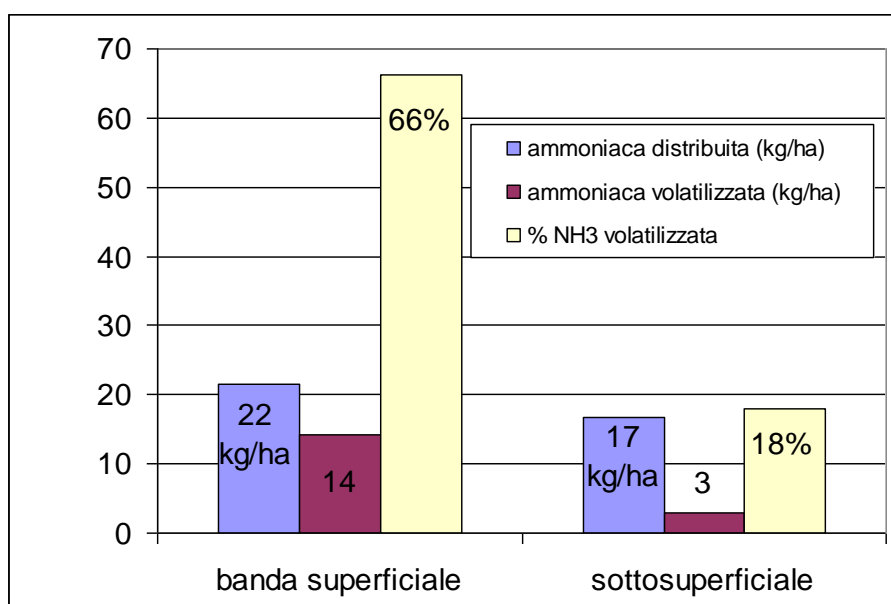
Per quanto riguarda invece l'umidità relativa dell'aria misurata al suolo, tale parametro non è risultato particolarmente significativo nella determinazione dell'entità delle emissioni di ammoniaca, risultando invece a sua volta influenzato dall'andamento delle temperature, come dimostra la parziale sovrapposizione dei picchi massimi di emissione con i picchi massimi di umidità relativa.



**Grafico 8.7** - Andamento della velocità del vento durante le prove.

Nel caso della distribuzione superficiale, in linea generale le emissioni hanno dimostrato un andamento decrescente, maggiormente influenzato dalle condizioni ambientali nella fase finale, fino ad annullarsi circa 30 ore dopo la distribuzione in campo.

In conclusione si può affermare come dalla prova effettuata abbia evidenziato le minori perdite di ammoniaca per volatilizzazione nel caso di interrimento superficiale in confronto con la distribuzione rasoterra; tali perdite sono quantificabili rispettivamente attorno al 18% e al 66%, confermando i dati riportati in bibliografia (Grafico 8.8).



**Grafico 8.8** – Grafico riassuntivo i risultati ottenuti dalla sperimentazione.

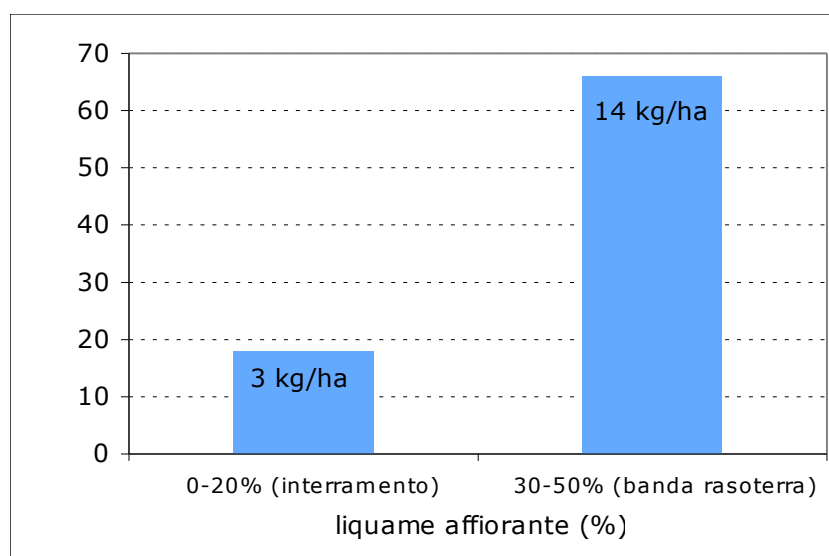
Prendendo in considerazione il grado di affioramento del liquame in superficie caratteristico delle due distribuzioni (Figura 8.5) si è trovato che, nel caso della distribuzione rasoterra la superficie bagnata dal liquame oscillava da 30



a 50% della superficie stessa, mentre con l'interramento, la percentuale di superficie bagnata non superava il 20% con alcuni casi di assenza completa di bagnatura. Evidente quindi nel Grafico 8.9 in cui viene messa in correlazione la superficie bagnata dal liquame con le perdite per volatilizzazione dell'ammoniaca.



**Figura 8.5** – Liquame distribuito in banda rasoterra e sottosuperficiale su mais.



**Grafico 8.9** – Quantità di emissioni di ammoniaca (in % e per ettaro) ottenute con interrimento (0-20 % di affioramento) e in banda (30-50% di affioramento).

### 8.3.2 Distribuzione superficiale con piatto deviatore vs distribuzione rasoterra

Le prove si sono svolte alla fine di maggio del 2011 a Tezze sul Brenta (VI) presso l'azienda Agrifloor di Cerantola Martino su prato polifita e terreno medio impasto con scheletro.

Le macchine utilizzate sono state un carrobotte Bertuola Ecologica 140 della capacità di 14 m<sup>3</sup> a pressione atmosferica e pompa a lobi con piatto deviatore, trainato da un trattore della potenza di 73 kW; la stessa attrezzatura è stata utilizzata per la distribuzione rasoterra con un'attrezzatura predisposta e



messa a punto dal progetto Riducereflui avente una larghezza di lavoro di 2,5 m e una serie di 10 tubi adduttori fissati nella parte distale di un puntale elastico aprisolco. Il liquame utilizzato era caratterizzato dai seguenti valori (Tabella 8.6):

**Tabella 8.6** - Caratteristiche chimico-fisiche del liquame.

Parametri esaminati	Valore misurato
Solidi totali (%)	5,4
Solidi volatile (% sui totali)	67,2
Azoto totale (g/l)	3
Azoto ammoniacale (g/l)	2,3
pH	8,1

Per la distribuzione con piatto deviatore la portata è stata di 120 m<sup>3</sup>/h, una larghezza di lavoro di 7 m e velocità pari a 6 km/h. La dose mediamente distribuita con questo sistema è stata di 28,5 m<sup>3</sup>/ha (Figura 8.6).

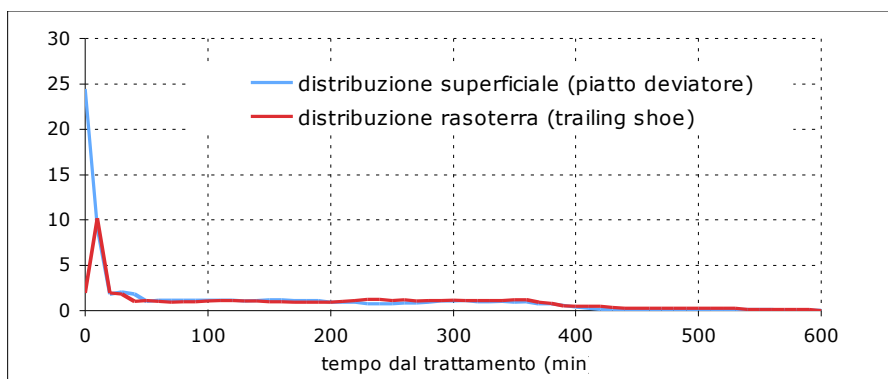
Con l'attrezzatura di distribuzione rasoterra si è mantenuto la stessa velocità e portata, con una larghezza di lavoro di 2,5 m la dose è risultata di circa 160 m<sup>3</sup>/ha. Le quantità totali di ammoniaca sono state di 75 e 159 kg/ha rispettivamente per i due sistemi.



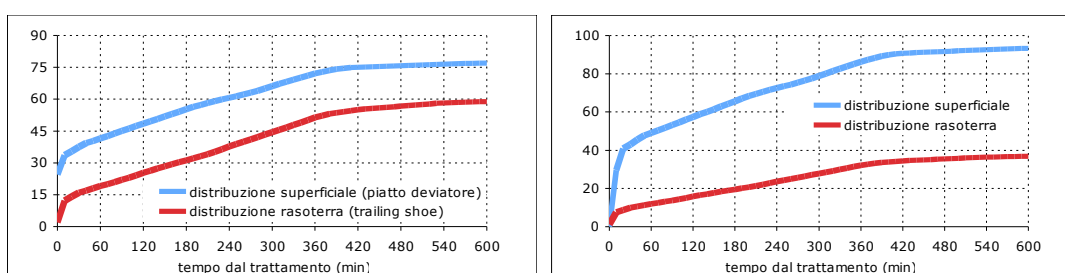
**Figura 8.6** – Le attrezzature utilizzate nelle prove a Tezze sul Brenta (a sinistra il piatto deviatore; a destra il distributore rasoterra).

Le perdite sono iniziate subito dopo la distribuzione e sono state evidenti nei primi 20 minuti per entrambe le distribuzioni. Nonostante la dose elevata distribuita rasoterra, la maggiore volatilizzazione si è rilevata nella distribuzione superficiale con piatto deviatore con perdite di 77 kg/ha contro 59 kg/ha per quella rasoterra. Il fenomeno si è mantenuto poi costante fino a tendere a zero dopo 7 ore dal trattamento (Grafico 8.10).

Nel Grafico 8.11 si evidenzia in particolare l'andamento della volatilizzazione cumulata ed espressa in percentuale rispetto alla quantità di ammoniaca distribuita. Nella distribuzione superficiale, nonostante il basso dosaggio, quasi tutta l'ammoniaca si è volatilizzata (93%) in contrapposizione con le elevate dosi della distribuzione rasoterra e la basse perdite in percentuale (37%).

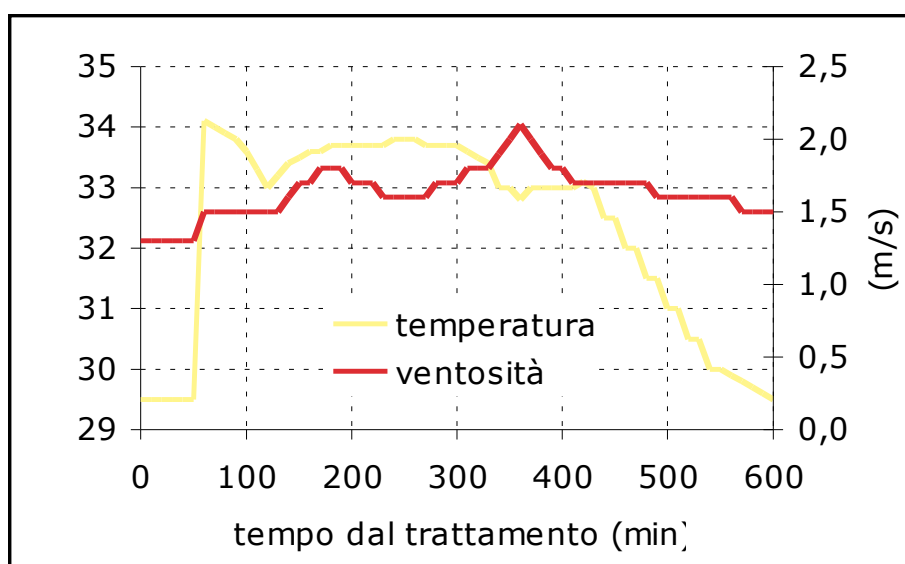


**Grafico 8.10** – Andamento della volatilizzazione nel tempo per le due distribuzioni.



**Grafico 8.11** – Andamento delle perdite cumulate (a sinistra) e in percentuale rispetto alla quantità distribuita (a destra).

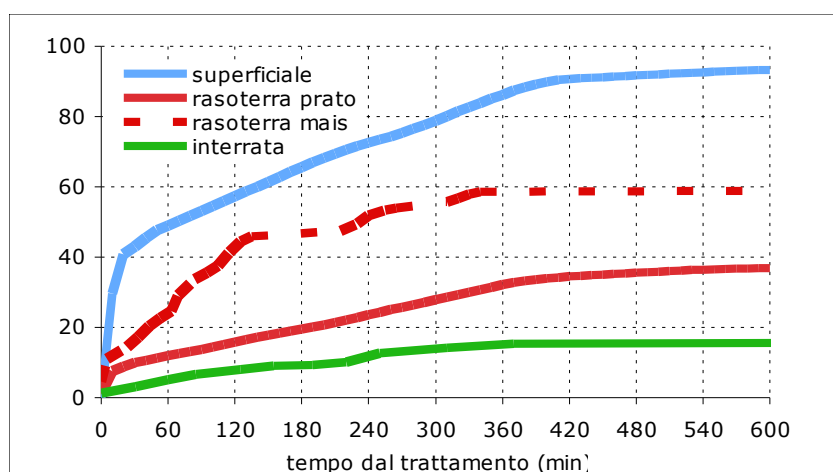
Gli andamenti non sembrano essere stati influenzati dall'andamento climatico, né dalla ventosità come dimostra il Grafico 8.12.



**Grafico 8.12** – Andamento della temperatura e della ventosità durante le rilevazioni.

### 8.3.3 Considerazioni conclusive

Le esperienze condotte hanno ottenuto risultati simili a quelli riportati in bibliografia. Come evidenziato nel Grafico 8.13 le perdite di ammoniaca nella spandimento con piatto deviatore possono portare alla volatilizzazione della quasi totalità del gas contenuto nel liquame, con conseguente drastica riduzione del potere fertilizzante del refluo e all'inquinamento dell'atmosfera. La somministrazione rasoterra determina perdite di  $\text{NH}_3$  oscillanti tra il 40 e il 60%. Probabilmente i valori più bassi si riferiscono ai casi in cui la vegetazione della coltura costituisce una barriera alla diffusione del gas dal suolo all'atmosfera. Minori del 20% sono le perdite in caso di interrimento: in questo caso il liquame non necessariamente deve essere interrato ad elevate profondità.



**Grafico 8.13** – Perdite di ammoniaca cumulate espresse in percentuale rispetto alla quantità somministrata per diverse metodologie di distribuzione.

Le tecniche adottabili come le migliori disponibili quindi sono quelle che prevedono l'interramento del refluo contemporaneo alla distribuzione, superficiale, ma completo. In alternativa occorre utilizzare sistemi di spandimento superficiale che limitino al massimo la polverizzazione del liquido e il contatto con l'atmosfera (spandimento rasoterra in banda o superficiale a bassa pressione) seguito, dopo un ritardo massimo di 4 ore, dall'incorporazione con aratri polivomeri superficiali ad ampia larghezza di lavoro. In questo caso il periodo utile di distribuzione viene ridotto drasticamente nei soli momenti concessi dalla rotazione agraria in cui il terreno è privo di coltura.

Sono da evitare, per motivazioni opposte, i sistemi di distribuzione ad alta pressione per gli elevati rischi di volatilizzazione, e l'iniezione profonda che causa perdite di azoto per lisciviazione.

Il sistema di spandimento sottosuperficiale a solco chiuso si presta, oltre che su terreno non coltivato, anche all'utilizzazione su colture sarchiate, contribuendo all'aumento del periodo utile per la distribuzione in campo nel periodo primaverile estivo. Inoltre, frazionando gli interventi, si aumenta l'efficienza delle colture nei riguardi dell'azoto con minori perdite per lisciviazione.

Per le colture prative i sistemi migliori dal punto di vista ambientale sono lo spandimento in banda con deflettore o sottosuperficiale a solco aperto. In questo caso il numero degli interventi e l'entità della dose saranno tarati in funzione dello

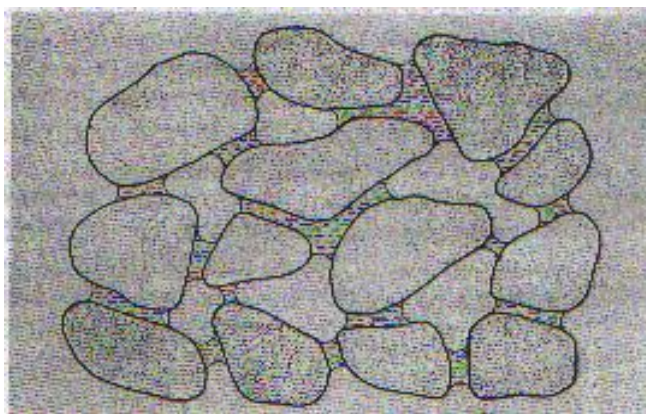
sviluppo vegetativo e delle caratteristiche operative dell'attrezzatura (larghezza di lavoro, numero di assolcatori, profondità di lavoro).

I fattori esterni possono influenzare moltissimo le perdite per volatilizzazione per cui occorre prestare attenzione alle condizioni meteorologiche, pedologiche e agronomiche della zona compreso il tipo di suolo, la pendenza, le pratiche colturali e le rotazioni.

## 9. IL COMPATTAMENTO DEL TERRENO

Per compattazione o compattamento o costipazione del terreno agrario si intende una riduzione temporanea del suo volume apparente dovuta principalmente all'azione di una forza di compressione esterna: nel momento in cui il valore di tale pressione supera la capacità portante del terreno avvengono delle alterazioni a carico della struttura che si traducono nella formazione di uno strato compattato, il cui grado di compattamento dipende non solo dall'entità della forza esterna gravante sul suolo agrario ma anche dalle caratteristiche di questo stesso. (Cera M. e Sartori L., 1993).

Prendendo in considerazione la struttura del terreno, essa rappresenta l'organizzazione e la distribuzione nello spazio delle particelle primarie in particelle secondarie od aggregati (zolle di varie dimensioni) e quindi, il modo in cui le fasi solida, liquida e gassosa sono reciprocamente disposte (Figura 9.1). Gli aggregati del terreno sono caratterizzati da una densità apparente elevata, in essi infatti si possono riscontrare solo dei piccoli spazi vuoti, di diametro molto ridotto ( $< 20 \mu$ ) che costituiscono i micropori. In condizioni normali gli aggregati sono accostati gli uni agli altri in modo non appressato e fra di essi permangono numerosi spazi vuoti che costituiscono macropori. La presenza di questi ultimi consente principalmente una rapida infiltrazione dell'acqua, adeguati scambi gassosi ed un rapido accrescimento delle radici, costituendo per queste una via preferenziale di accrescimento. I micropori, presentando un diametro minore, trattengono l'acqua più fortemente rispetto ai macropori evitando che questa percoli od evapori rapidamente.



**Figura 9.1** - Illustrazione schematica delle fasi liquida, solida e gassosa di un terreno non compattato.

In un suolo non compattato la superficie di contatto tra i diversi aggregati è ridotta e fra di essi sono presenti ampi spazi vuoti. Se si applica un carico non troppo elevato, la forza esercitata da questo si concentra sui punti di contatto tra gli aggregati ed in prossimità di questi si possono riscontrare degli sgretolamenti. Questo fenomeno fa sì che la superficie di contatto aumenti e che gli aggregati si avvicinino tra loro, con conseguente riduzione della forza esercitata per unità di superficie (di contatto). In questo modo, se il carico permane costante, la

pressione esercitata sui punti di contatto può ridursi a valori inferiori alla capacità portante del terreno determinando così l'arresto del fenomeno. Se invece sul terreno viene applicato un ulteriore carico la situazione di equilibrio non viene raggiunta e si osserva l'ulteriore rottura degli aggregati o l'insorgere di deformazioni plastiche a carico degli stessi con la conseguente scomparsa dei pori presenti tra di essi (macropori). Quindi, nell'ambito della formazione di uno strato compattato, si possono schematizzare due passaggi di fondamentale importanza:

- a - in primo luogo si assiste ad un avvicinamento degli aggregati del terreno, dovuto anche al riassetto delle particelle, con conseguente riduzione dello spazio vuoto che costituisce la macroporosità;
- b - successivamente, se la forza applicata è sufficientemente forte, vi è il collasso degli aggregati, che tendono a frantumarsi e fondersi formando una massa compatta, molto densa e di notevoli dimensioni.

## **9.1 Suscettibilità dei suoli al fenomeno**

Al fine di individuare delle indicazioni sulle tecniche più opportune per mantenere sotto controllo il fenomeno è opportuno valutare la suscettibilità dei suoli alla compattazione. La suscettibilità alla compattazione varia innanzitutto a seconda della profondità: gli strati più profondi generalmente sono più resistenti di quelli superficiali, infatti questi ultimi, essendo lavorati, in genere sono più soffici e di conseguenza più suscettibili al fenomeno. Per contro negli strati più profondi si possono verificare fenomeni cumulativi di compattazione, che nel corso degli anni tendono ad aggravarsi determinando la formazione di uno strato compatto al di sotto di quello lavorato. Va comunque sottolineato che non esiste una situazione ottimale di compattazione per tutto il profilo verticale del terreno; questo infatti a seconda della profondità deve svolgere delle funzioni differenti (letto di semina, zona di approfondimento radicale, zona di infiltrazione, zona di drenaggio). La capacità portante di un terreno aumenta normalmente con la profondità: lo strato superiore (20-40 cm) lavorato e coltivato si presenta spesso più sciolto e soffice e risulta quindi più suscettibile al compattamento dello strato sottostante.

### **9.1.1 Contenuto idrico del terreno**

All'aumentare del contenuto di umidità del terreno aumenta la suscettibilità dello stesso alla compattazione. Questo conferma che per la struttura sono particolarmente dannosi gli interventi in campo con condizioni di umidità eccessiva.

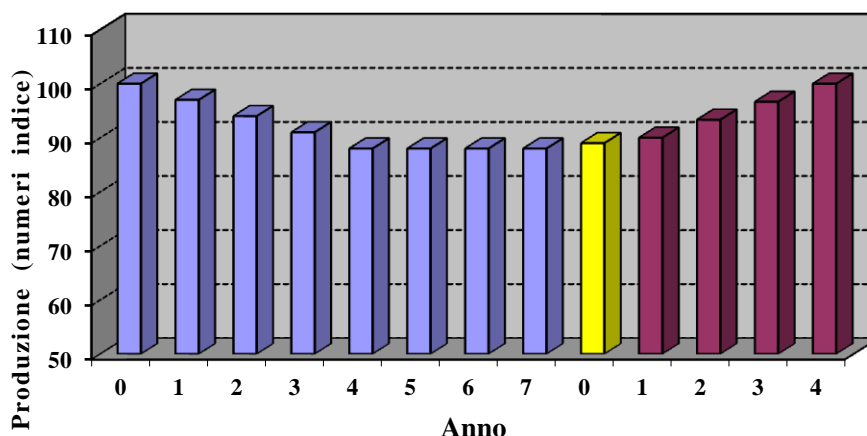
### **9.1.2 Tipologia di suolo (tessitura)**

La suscettibilità al compattamento dipende anche dal tipo di tessitura. I terreni a tessitura media o moderatamente grossolana, sono caratterizzati da contenuto di sabbia > 30-35% e di argilla <20-25% nell'orizzonte superficiale e spesso lungo tutto il profilo, ed in genere ben drenati, hanno elevata macroporosità, bassa superficie massica, capacità di ritenzione idrica bassa o moderata, elevata permeabilità all'acqua ed all'aria. Offrono scarsa resistenza

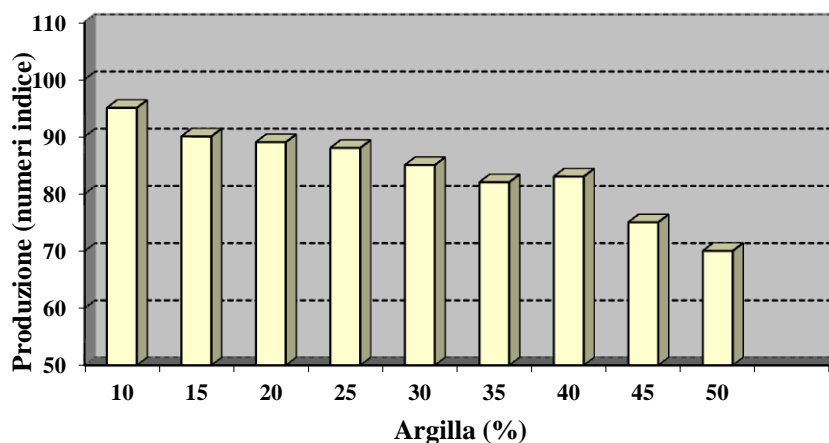
meccanica alle lavorazioni e raggiungono prontamente lo stato di lavorabilità ottimale. Sono poco suscettibili al compattamento e gli effetti non sono molto persistenti nei successivi cicli colturali.

I terreni con dominanza della frazione limosa sono caratterizzati da contenuto di limo > 50-55% nell'orizzonte superficiale e spesso lungo tutto il profilo, non presentano, quando il contenuto di argilla non eccede il 20-25%, particolari problemi nell'esecuzione delle lavorazioni principali, essendo lavorabili anche con macchine di limitata potenza e in un'ampia gamma di umidità. Tuttavia, a causa della bassa stabilità strutturale dell'orizzonte di superficie, dovuta alla dominanza della frazione limosa rispetto ai materiali colloidali, il positivo effetto delle lavorazioni (aerazione, macroporosità, sofficità) tende ad esaurirsi in breve tempo; in seguito al disfacimento degli aggregati, agevolato in particolare dal transito dei mezzi meccanici e dall'azione battente delle piogge, l'orizzonte di superficie tende a divenire compatto, asfittico e poco permeabile, anche per la presenza di crosta. I terreni argillosi (caratterizzati da un contenuto di argilla > 35% e tipicamente da difficoltà di drenaggio) hanno caratteristiche fisiche peculiari: sono molto adesivi e plastici e richiedono la disponibilità di notevoli potenze di trazione (con conseguenti elevati consumi energetici) e grande tempestività nell'esecuzione delle lavorazioni, che devono essere effettuate in condizioni ottimali del suolo, tendenzialmente coesive, corrispondenti a bassi livelli di umidità. Se si costipa e si lavora il suolo quando è troppo bagnato si provoca infatti la formazione di zolle che divengono compatte, dure e coesive allo stato secco, per la cui completa disgregazione sono necessari alcuni mesi; inoltre, le lavorazioni eseguite in condizioni di eccessiva umidità possono determinare deformazioni e rotture degli aggregati strutturali, temporaneamente irreversibili, e formazione di "suola di aratura" molto compatta e persistente, con conseguenti ripercussioni negative sulla fertilità. Questo è il tipo di suolo più suscettibile al compattamento e nel quale la persistenza degli effetti della compattazione a livello dello strato lavorato, si protrae per un maggior numero di cicli colturali. L'intensificazione del traffico prima dell'aratura autunnale, per più anni consecutivi, in suoli con differente contenuto di argilla causa, infatti, una riduzione della produzione nel tempo molto più marcata in funzione della percentuale di argilla (Grafico 9.1) piuttosto che al procedere dei cicli colturali (Grafico 9.2) (Hakanson et al., 1988). Questi effetti tendono comunque a scomparire anche nei terreni con maggior contenuto di argilla in un periodo di circa quattro cinque anni dopo la sospensione del compattamento.





**Grafico 9.1** - Il decremento produttivo si è minimizzato negli ultimi tre anni di costante compattamento per periodi prolungati; nell'anno zero sono state sospese le operazioni di costipamento e sono stati necessari quattro anni di "rispetto" del terreno per tornare a valori di produzione ottimali.



**Grafico 9.2** - Variazione della produzione media nel 4° anno di coltivazione in funzione del contenuto di argilla nello strato lavorato.

### 9.1.3 Contenuto di sostanza organica

Un ruolo determinante può essere dato dalla quantità della sostanza organica che, se elevata, tende a ridurre gli effetti del compattamento sul terreno: fondamentalmente avendo azione cementante sui colloidi aumenta la stabilità degli aggregati. La materia organica possiede un'alta elasticità alle forze di compressione dovuta sia alla bassa densità delle particelle, sia alla maggior presenza di aria nella massa. La massa volumica apparente è il parametro più direttamente influenzato dal contenuto di sostanza organica ed è quindi un parametro di riferimento. I liquami degli allevamenti zootecnici influiscono sulla componente argillosa del suolo, rivestendo le particelle minerali aumentano l'effetto di frizione, e quindi la velocità di rigenerazione dei suoli. Spargimenti per parecchi anni consecutivi di cospicue dosi di liquame suino ( $1077 \text{ m}^3/\text{anno}$ ) ha aumentato il contenuto di sostanza organica dal 9,5 al 12,6% nello strato superficiale dei primi 7,5 cm. Anche se l'effetto positivo sulla struttura apportato

con la sostanza organica viene talvolta ridimensionato a causa dell'elevato transito di pesanti caribotte, nel complesso l'effetto positivo del liquame sulla resistenza alla penetrazione generalmente è superiore dell'effetto negativo del compattamento. (De Smet J. et al., 1991)

#### **9.1.4 Lo strato non lavorato**

Lo strato del terreno più profondo e non lavorato presenta di solito maggior tenacia e compattezza e quindi risulta meno sensibile al compattamento. Il fattore che comunque lo influenza è l'umidità del terreno. Non essendo questi strati interessati dalle lavorazioni e dato che i processi naturali di rigenerazione del terreno risultano più deboli, soprattutto quando l'umidità è elevata e la sostanza organica è scarsa si possono avere degli effetti cumulativi dovuti ai successivi passaggi con formazione di una zona profonda caratterizzata da elevata densità che limita il drenaggio dell'acqua.

## **9.2 Compattamento nello strato lavorato**

L'origine della compattazione dello strato lavorato deriva da numerosi fattori: carico sopportato dalla ruota, pressione dei pneumatici, entità del traffico, slittamento, velocità del veicolo ed infine dalle caratteristiche e disposizione delle ruote. Una scala di importanza fra i vari fattori che determinano il grado di compattazione potrebbe essere la seguente: entità del traffico, peso del caribotte e del trattore, sezione dei pneumatici, pressione di gonfiaggio, velocità di avanzamento e slittamenti.

Nell'ottica di una oculata gestione del compattamento del terreno da un lato si devono porre in essere le tecniche volte a ristabilire e a mantenere la struttura del suolo, che è stata sottoposta a fattori perturbanti, nelle condizioni di rigenerare in tempi brevi le proprie condizioni ottimali (rimedi diretti); dall'altro si devono limitare le cause del compattamento provocato dal traffico di veicoli sul terreno, adottando opportune modalità operative (rimedi indiretti).

Per poter ridurre la pressione specifica sul terreno è necessario o ridurre la massa del veicolo o aumentare la superficie di contatto tra gli organi di propulsione e il suolo. Distribuendo lo stesso peso su una maggiore superficie diminuisce la pressione esercitata sul suolo e questo può essere ottenuto riducendo la pressione di gonfiaggio oppure aumentando la larghezza del pneumatico.

### **9.2.1 La massa applicata agli assali**

La riduzione della massa non appare un elemento facilmente modificabile da parte dell'agricoltore, in quanto esiste spesso una stretta relazione tra massa e portata dello spandiliquame o tra massa e capacità di lavoro. Nel corso degli anni, l'esigenza di aumentare la capacità di lavoro degli spandiliquame ha determinato, un continuo aumento delle dimensioni del serbatoio, in quanto risulta essere il parametro in grado di influenzare in misura maggiore la capacità di lavoro dell'intero ciclo di distribuzione. Questo è comprensibile dal fatto che la tendenza attuale è quella di concentrare l'attività di allevamento in unità produttive di

dimensioni sempre maggiori gestite con un minor numero di addetti o affidare l'operazione di spandimento ai contoterzisti. In ogni caso il dimensionamento del serbatoio dipende dalla quantità di liquami da distribuire, dalla distanza degli appezzamenti dal punto di approvvigionamento e dal numero di giorni utili per la distribuzione. L'aumento della massa del liquido trasportato e del serbatoio ha reso necessaria l'adozione di telai sempre più massicci e l'uso di trattori pesanti per il traino. Ciò ha determinato l'insorgere di problemi legati alla transitabilità e al compattamento del terreno. Per questo in alcuni Paesi europei sono stati consigliati limiti di massa applicata agli assali da rispettare onde contenere il compattamento: in Svezia 6 t per asse singolo, oppure 8-10 t per assi doppi; secondo Johann Arvidsson della facoltà di agraria di Uppsala il limite si abbassa a 3 t; in Germania 4 t. In Italia le masse delle macchine agricole sono regolamentate dalla legge che ne stabilisce i valori massimi per asse (Art. 207 Nuovo Regolamento del Codice della Strada, 1992). Viene stabilita per le macchine agricole con pneumatici ad 1, 2 e 3 assi, una massa a pieno carico rispettivamente di: 6.000 kg, 14.000 kg, 20.000 kg, con una variazione massima del 3%. Se questi limiti per ora sono inamovibili ed è indispensabile incrementare i volumi trasportati, con un occhio di riguardo al rischio compattamento, nei nostri ambienti è opportuno considerare le seguenti possibilità:

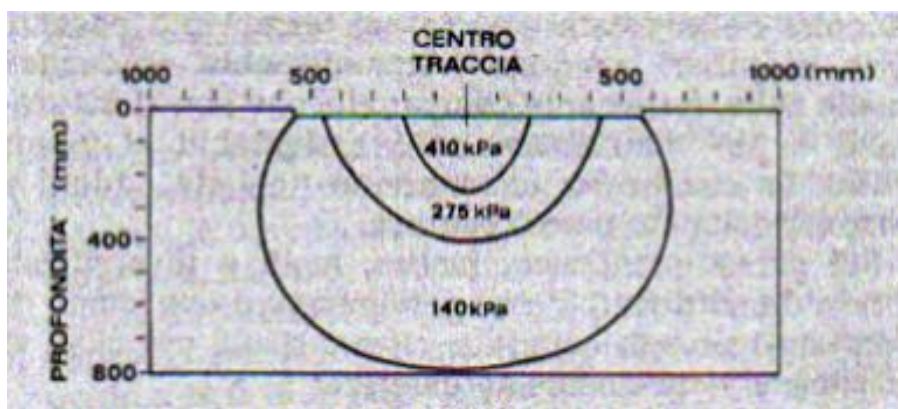
- occorre sviluppare maggiormente serbatoi realizzati con materiali non tradizionali (es. vetroresina), più leggeri e sagomabili di quelli in acciaio (Figura 9.2).
- utilizzare mezzi di trasporto del liquame differenziati in base al tipo di impiego: poderale, inter-poderale ed extra-aziendale, soprattutto nella prospettiva di una gestione a livello comprensoriale dell'immagazzinamento e del trattamento di tali prodotti. Cisterne di elevata capacità montate su autocarri, per il trasferimento stradale dai centri comprensoriali alle aziende agricole possono alimentare successivamente i sistemi di distribuzione equipaggiati con dispositivi per limitare la pressione specifica sul terreno. Tali sistemi possono essere costituiti da interratori o ali disperdenti trainati da trattori e alimentati direttamente per mezzo di manichette flessibili, oppure da carribotte di capacità modeste dotati di pneumatici a bassa pressione e larga sezione.
- equipaggiare i carribotte destinati alla sola distribuzione con ruote in tandem non allineate. Il vantaggio delle carreggiate sfalsate sembra essere la distribuzione della massa su una superficie maggiore e la riduzione quindi della pressione specifica sul terreno interessato dal compattamento del primo asse.



**Figura 9.2** - Carrobotte di grandi dimensioni con serbatoio in poliestere con rinforzi in fibra di vetro e pneumatici a bassa pressione.

### 9.2.2 Interazioni tra pneumatico e suolo

Oltre che il peso totale della macchina è importante il modo in cui tale peso viene scaricato al suolo attraverso gli organi di sostegno e di propulsione della macchina. E' quindi determinante la distribuzione della massa sulla superficie di contatto. Queste interazioni derivano dalle forze esterne al suolo che si distinguono dalle forze interne al suolo rappresentate dal gelo e disgelo, dalle abbondanti piogge alternate a periodi di siccità che provocano rigonfiamento e compressione degli aggregati (Febo, 1991). Un pneumatico con pressione di gonfiaggio moderata, del valore di 1 - 1,5 bar, su un terreno di medio impasto esercita una pressione media dell'ordine di grandezza di quella di gonfiaggio. Punti rigidi della carcassa (costole, spalle) possono esercitare pressioni anche da 2 a 5 volte superiori alla pressione di gonfiaggio (Figura 9.3).



**Figura 9.3** - Andamento delle pressioni al suolo, in funzione della profondità, prodotte sul terreno da un carrobotte di 8,3 t di peso con pneumatici larghi 500 mm ( Janzen et al., 1985 ).

E' da precisare che tanto più è rigido il pneumatico, tanto minore è la capacità portante del terreno e tanto più la ruota tende ad affondare nel suolo sino a raggiungere una superficie di contatto sufficientemente ampia da sostenere il carico. Inoltre, la superficie di contatto, a parità di pneumatico e terreno, è tanto maggiore tanto più è deformabile il pneumatico e tanto minore è la pressione di gonfiaggio ed in più, a parità di terreno, la superficie di contatto aumenta all'aumentare del diametro e sezione della ruota. I pneumatici devono assolvere le importanti funzioni di trasportare il carico in situazioni dinamiche, mantenere stabile il carrobotte durante il transito su strada, avere la minima influenza sulle condizioni di sofficià del suolo e non meno assicurare la trazione del trattore sul terreno. I modelli che vengono montati sui carrobottes possono essere a carcassa convenzionale oppure a carcassa radiale con larghezze comprese fra 10 e 45 pollici. Un'indagine conoscitiva sul panorama degli spandilquame presenti sul mercato italiano, nell'ambito del programma Di.Re.Zo. del 2000, ha coinvolto 28 ditte costruttrici per un totale di 190 modelli. Dai risultati è risultato che i modelli con due e tre assi hanno pesi medi per assale che sono superiori in media di 0,5 t al peso massimo consigliato di 6 ton; la capacità media si attesta su 7,1 m<sup>3</sup>: i pneumatici in uso (Tabella 9.1) sono per la maggior parte di tipo convenzionale e con larghezza compresa fra 10 e 15 pollici, il che non permette di ridurre il carico specifico sul terreno.

**Tabella 9.1** - Tipo di carcassa dei pneumatici in relazione alla larghezza dei pneumatici e della massa media del carrobottes a pieno carico (Sangiorgi F. e altri, 2000).

Pneumatici	Tipo di carcassa			
	convenzionale	radiale	totale (n°)	sul totale modelli (%)
Larghezza (10-15 pollici)	95	9	104	54,7
Peso medio carro a p.c.(kg)	9.259	9.721		
Larghezza (16-30 pollici)	20	7	27	14,2
Peso medio carro a p.c.(kg)	8.294	11.068		
Larghezza (31-45 pollici)	9	10	19	10,0
Peso medio carro a p.c.(kg)	10.050	9.727		
Dati non indicati			40	21,1
Numero totale modelli	124	26	190	

**Tabella 9.2** - Relazione tra carico assiale e pressione sul terreno in relazione a diverse pressioni di gonfiaggio e superfici di contatto.

Tipo di pneumatico	Carico (kg)	Pressione di gonfiaggio (bar)	Superficie di contatto (cm <sup>2</sup> )	Pressione sul terreno (bar)
Standard	2600	1,4	1490	1,7
Gemellato	2600	0,7	3100	0,8
Largo	2600	0,7	3002	0,8
"terra"	2600	0,4	5677	0,5

La relazione fra tipo di carcassa, larghezza dei pneumatici e peso medio dello spandilquame a pieno carico, mette in evidenza che le ditte costruttrici montano pneumatici senza una progettazione precisa delle masse gravanti sulle ruote, utilizzando gomme strette per risparmiare sul costo complessivo del mezzo. Le pressioni di esercizio dichiarate in media di 4-5 bar, implicano che si mira a ricercare la soluzione migliore per il traino su strada a scapito del carico

specifico sul terreno che risulta di poco superiore alla pressione di gonfiaggio. È evidente che il calpestamento del carrobotte sul terreno non veniva sentito dai costruttori come un elemento fondamentale della gestione agronomica dei liquami.

Distribuendo lo stesso peso su una maggiore superficie diminuisce la pressione esercitata sul suolo e questo può essere ottenuto:

- aumentando il diametro del pneumatico;
- aumentando la larghezza del pneumatico;
- riducendo la pressione di gonfiaggio;
- adottando idonee sospensioni.

### **9.2.3 Il diametro del pneumatico**

La superficie di contatto aumenta all'aumentare del diametro del pneumatico. La pratica di montare pneumatici di grande diametro che si è diffusa per i carri per la raccolta delle barbabietole per gli spandiliquame è di fatto. Sussiste difatti l'esigenza di mantenere basso il baricentro della cisterna per migliorare la stabilità della macchina e di conseguenza la necessità di sviluppare il serbatoio in larghezza. Le ruote alte alzerebbero quindi eccessivamente il baricentro e non potendo essere collocate sotto la cisterna eccederebbero la sagoma limite per la circolazione stradale.

### **9.2.4 La sezione del pneumatico**

Al giorno d'oggi sempre più attenzione viene spesa dai tecnici, per limitare il calpestamento delle nuove e più pesanti macchine, tra le quali i carribotte, che causano notevoli danni. Occorre per questo utilizzare pneumatici a larga sezione (Figura 9.4) con caratteristiche costruttive tali da consentire di adottare pressioni di gonfiaggio molto ridotte (1-2 bar) e di aumentare la superficie di contatto tra ruota e suolo, con conseguente riduzione della pressione esercitata sul suolo. Soprattutto per carribotte di grandi dimensioni, l'adozione di pneumatici a bassa pressione oltre a rendere più facili e meno onerose le successive operazioni di lavorazione del terreno riduce lo sforzo di trazione in campo anche se tende ad aumentarlo su strada. Questo tipo di pneumatico oltre a non essere idoneo al transito su colture a righe, non può essere applicato su tutti i carribotte in quanto con pneumatici larghi l'ingombro della macchina supera i limiti di sagoma di 250 cm ammessi dal Nuovo Codice della strada. Gli spandiliquame con due o tre assi hanno generalmente uno o due assi sterzanti che sono indispensabili per agevolare le manovre su spazi ristretti; la necessità di avere assi sterzanti limita la sezione dei pneumatici che si possono montare rispetto a quella dei pneumatici su a un asse fisso poiché dovendosi muovere fra il serbatoio e il punto di massimo ingombro ammessi devono essere più stretti. Non si incorre a questo inconveniente nel caso in cui i serbatoi siano costruiti in vetroresina: la parte inferiore può venire appositamente sagomata per alloggiare i pneumatici larghi e il sistema di sterzata. Per trattatrici usate per il traino di spandiliquame che scaricano sull'occhione masse di 14.000-16.000 kg, al fine di diminuire la pressione esercitata sul suolo e migliorare la trazione, possono essere adottati i pneumatici a sezione larga, i quali consentono pressioni di esercizio di 40-60 kPa.

Su terreno argilloso ed umido, si sono riscontrate differenze significative nella resistenza offerta alla penetrazione tra le tesi su cui si è transitato con comuni pneumatici radiali e le tesi su cui si è transitato con pneumatici a larga sezione. Tali differenze si sono risolte con l'ottenimento di incrementi medio produttivi dell'ordine del 7%.



CARATTERISTICHE	VANTAGGI	Misura del pneumatico	Capacità di carico e pressioni di gonfiaggio (40 km/h)		Dimensioni del pneumatico in mm	
			kg	bar	Larghezza della sezione	Diametro totale
Principio di galleggiamento	Alta capacità di carico a bassa pressione				Nuovo	
Profilo special	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rotolamento ottimale</li> <li>- Lunga durata</li> <li>- Alto livello di comfort</li> <li>- Proprietà auto-pulenti ideali</li> <li>- Bassa resistenza al rotolamento</li> </ul>					
Grande superficie di contatto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimo compattamento del suolo</li> <li>- Minimo deterioramento del suolo</li> </ul>	350/50-16 12 PR TL	2050	4.7	337	778
		16.0/70-20 10 PR TL	3075	3.25	418	1075
		12 PR TL	3450	4.0		
		500/55-20 12 PR TL	3550	3.0	503	1058
Buon rapporto altezza/larghezza	Ottima stabilità	20.0/70-508 12 PR TL	4380	3.0	488	1220
		16 PR TL	5300	4.25	478	
		550/60-22.5 12 PR TL	5000	2.75	544	1232
		16 PR TL	5885	3.6		
		600/55-22.5 12 PR TL	5125	2.6	623	1232
		16 PR TL	6050	3.5		
		700/45-22.5 12 PR TL	5400	2.25	720	1232

**Figura 9.4** - Scheda tecnica di un pneumatico per spandiliquame disponibile sul mercato in varie misure.

La gemellatura delle ruote consiste nell'accoppiamento di due pneumatici di ugual diametro esterno (anche se di diverso diametro di calettamento) sullo stesso semiasse e rappresenta un buon compromesso tra l'esigenza di ridurre il compattamento e gli elevati investimenti di un pneumatico a larga sezione. L'inserimento di un pneumatico supplementare consente di ridurre il carico gravante su ciascun pneumatico (non un dimezzamento, ma una riduzione del 57-60%) e, di conseguenza, la pressione di gonfiaggio e la pressione scaricata sul terreno. L'utilizzo sui carribotte è molto limitato per vari motivi: la macchina con la gemellatura non è omologata per la circolazione stradale; i sistemi di aggancio delle ruote devono essere più robusti di quelli usati normalmente per la gemellatura dei trattori, quindi più costosi, poiché sono soggetti a picchi di carico più alti sul terreno sconnesso; le operazioni di equipaggiamento della macchina sono onerose in termini di tempo. Tuttavia la soluzione ha avuto qualche applicazione nell'ottica dell'impiego di pneumatici usurati a basso costo, per la gemellatura temporanea di vecchi spandiliquame adibiti al solo trasporto interaziendale. Queste macchine non potevano comunque circolare sulla pubblica via con gomme larghe senza superare i limiti di sagoma ammessi dal Nuovo codice della strada. Anche la gemellatura dell'asse posteriore del trattore che traina lo spandiliquame è una soluzione da considerare per ridurre il



compattamento causato dalla massa del trattore sommata a quella scaricata dal carro sul gancio.

### 9.2.5 La pressione di gonfiaggio

In Olanda, a causa della natura dei terreni, è stata consigliata una pressione di gonfiaggio non superiore a 100 kPa per i pneumatici di macchine agricole.

**Tabella 9.3** - Attitudine alla transitabilità su suolo in funzione della pressione di esercizio di pneumatici di medie dimensioni (Sangiorgi et al, 2000).

<i>Pressione interna dei pneumatici</i>	<i>Attitudine degli appezzamenti alla transitabilità</i>
Inferiore a 1 bar	molto buona
Da 1 a 1,5 bar	buona
Da 1,5 a 2 bar	soddisfacente
Oltre 2 bar	insoddisfacente

L'agricoltore-allevatore deve prestare particolare attenzione alle pressioni di gonfiaggio indicate nei rispettivi manuali, in quanto se eccede può determinare danni di compattamento e ridurre l'aderenza della trattrice. Se invece adotta valori inferiori ai livelli minimi si verifica lo slittamento tra il cerchio e il tallone, con deformazione evidente dei fianchi e della carcassa che ne riduce la durata. La pressione consigliata viene determinata in funzione del carico e della velocità di avanzamento. All'aumentare del carico e della velocità si deve aumentare anche la pressione di gonfiaggio. Se non si tiene conto di questo si rischia di pregiudicare un corretto comportamento su strada del rimorchio, che può sbandare e non seguire la traiettoria del trattore soprattutto su strade tortuose e baulate. Nei casi in cui lo spandilquame debba circolare spesso su strada e si adottino pneumatici a bassa pressione, sarebbe auspicabile utilizzare pneumatici autogonfianti per modulare la pressione in fase di trasporto ed in fase di distribuzione, in relazione al carico e alla velocità di avanzamento.

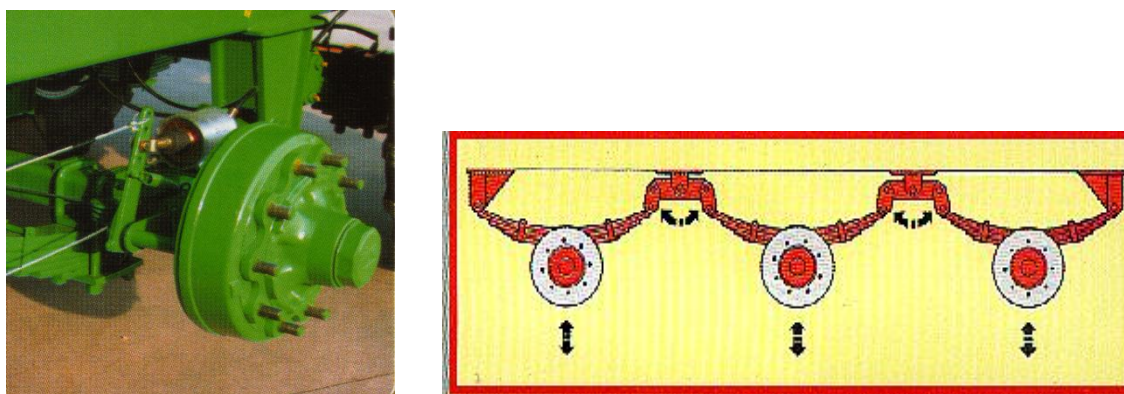
### 9.2.6 Sospensioni

Per ottenere una migliore distribuzione dei pesi gravanti sugli assali è preferibile scegliere modelli dotati di idonee sospensioni che assicurano anche una buona tenuta in strada del rimorchio.

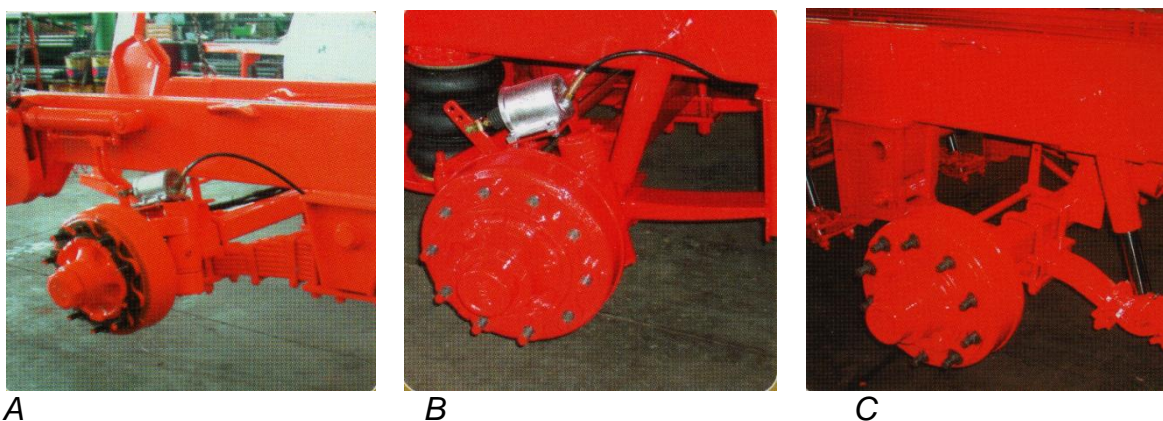
**Tabella 9.4** - Tipologia di sospensioni montate sui carribotte fabbricati in Italia e corrispondente massa media per asse.

<b>Sospensioni</b>	<b>Modelli</b>	
	<b>numero</b>	<b>massa media per asse kg</b>
Nessuna	43	4643
Balestra	103	5241
Bilanciere	20	5944
Cantilever	12	5959
Torpress	12	6273
numero tot.modelli	190	--

Nella Tabella 9.4, si osserva che al crescere del peso medio per assale e del numero di ruote i costruttori preferiscono montare i cantilever (balestra rovescia) o addirittura i torpress idraulici e pneumatici. Per i modelli biasse vengono preferiti i più semplici sistemi a balestra e bilanciere, mentre quelli monoasse molto spesso non hanno sospensioni di alcun tipo. (Guidetti A. e Veneri A., 2000).



**Figura 9.5** - Sospensioni tridem a balestre paraboliche con doppio bilanciere.



**Figura 9.6** - Sospensione cantilever (A), Sospensione torpress pneumatici (B), Sospensione torpress idraulici (C).



**Figura 9.7** - Insieme balestra parabolica più soffiato ad aria: consente una buona e costante distribuzione dei pesi su tutte le ruote nonché un buon assorbimento delle asperità del terreno su strade sconnesse.

### **9.2.7 Velocità di avanzamento**

Anche la velocità di avanzamento condiziona il compattamento: l'affondamento delle ruote può risultare superiore anche del 20% alle basse velocità. Alle velocità più basse inoltre il fenomeno è riscontrabile a profondità maggiori rispetto alle elevate velocità: indicativamente a velocità di 1 e 12 km/h la stessa entità del fenomeno è riscontrabile a profondità circa doppia per le basse velocità. La velocità sostenuta determina quindi un "galleggiamento" della macchina ma può essere adottata dove le condizioni di uniformità del terreno siano atte ad evitare fenomeni di sobbalzo che risulterebbero nocivi. A seconda delle varie tipologie di distribuzione si andrebbe incontro a disomogeneità di distribuzione più o meno accentuata e a eccessive oscillazioni meccaniche delle barre distributrici con rischi di rotture. Per il traino del carrobotte a maggiore velocità è necessario applicare maggior potenza e quindi usare trattori che nel caso limite di carrobotte a tre assi con dispositivi interratori, dovrebbero avere potenze installate forse eccessive.

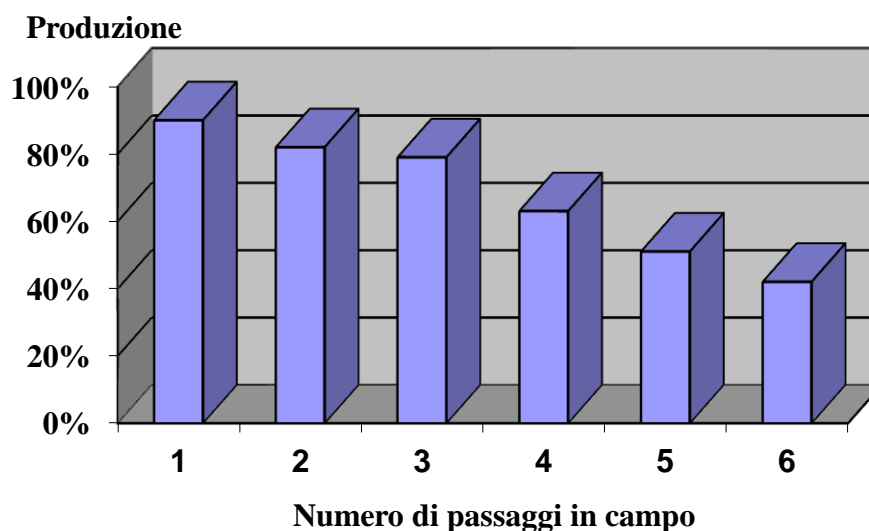
### **9.2.8 Gli slittamenti**

Lo slittamento aggiunge uno sforzo di taglio alla componente verticale. Detta azione di taglio può produrre un effetto di lisciatura e compattamento localizzato addizionale. Anche per evitare questo fenomeno è opportuno non entrare in campo in condizioni di umidità eccessiva. Occorre inoltre dimensionare il peso e la potenza della trattrice allo sforzo che deve sopportare in fase di distribuzione in campo. Altrettanto importante è l'utilizzo per l'assale posteriore del trattore di pneumatici dimensionati per sopportare il peso del carrobotte sull'occhione senza provocare eccessivo affondamento della macchina e garantire una buona aderenza in assenza di slittamenti soprattutto quando si utilizzano sistemi di iniezione profonda che incentivano lo sforzo di trazione.

### **9.2.9 Traffico dei mezzi**

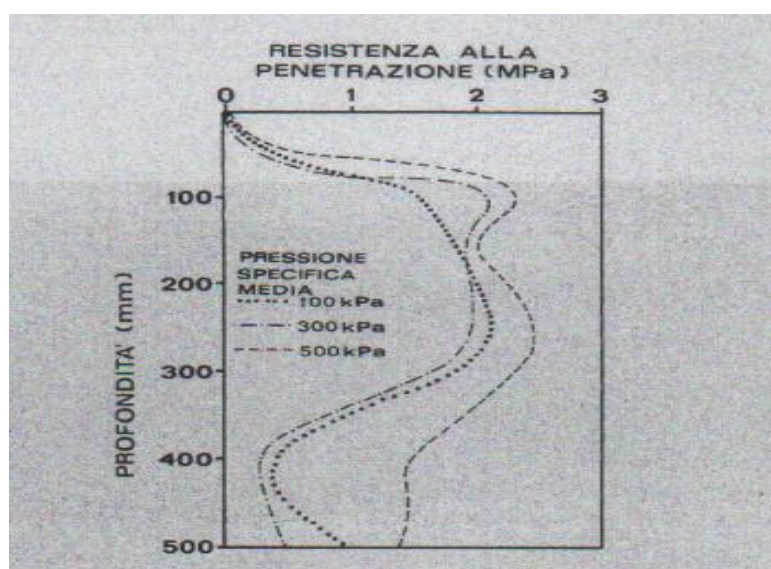
Riguardo il numero di passaggi è evidente che aumentando il traffico su una stessa porzione di terreno aumenta anche la compattazione. Se il terreno è inizialmente soffice il fenomeno è di una maggiore entità dopo il primo passaggio e con i successivi incrementa di poco nel complesso (Figura 10); se invece il terreno è tenace e asciutto, condizione più auspicabile quando si effettuano gli spargimenti dei liquami sui residui colturali, il compattamento del primo passaggio differisce di poco dai successivi. Il danno aggiuntivo arrecato da ogni passaggio successivo è inversamente proporzionale al loro numero anche se i transiti successivi al quinto generalmente non arrecano incrementi significativi. Tale situazione causa:

- l'abbassamento delle prestazioni produttive nelle annate successive proporzionale al numero dei passaggi delle macchine. Un solo passaggio può ridurre la produzione del 10% mentre 5 passaggi ripetuti possono causare decrementi anche del 50%. (Grafico 9.3)



**Grafico 9.3** - Relazione tra numero di passaggi in campo e la produzione ottenibile rispetto alla tesi non compattata.

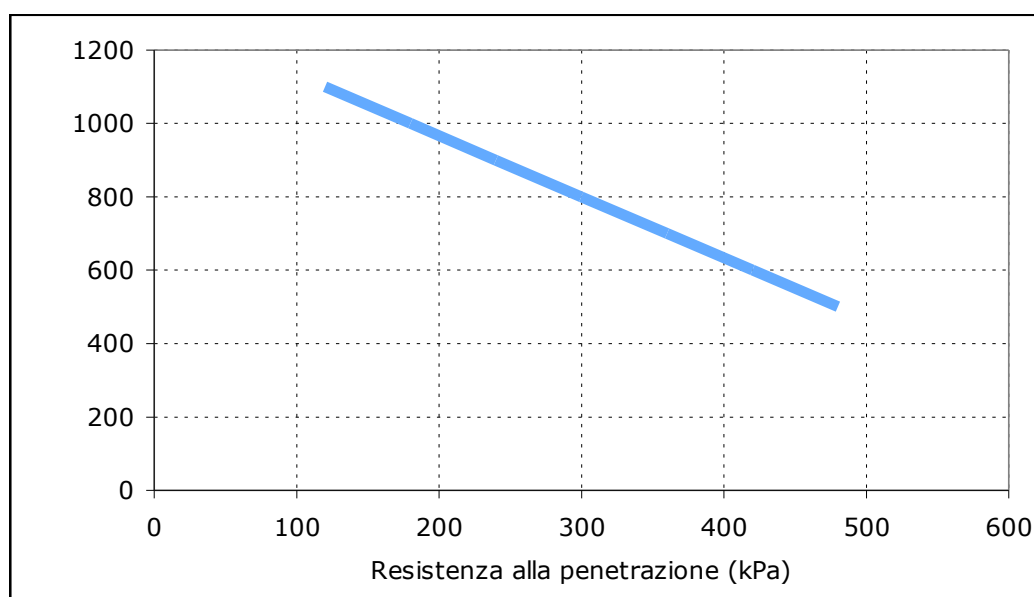
- l'incremento della resistenza alla penetrazione: su un terreno sottoposto ad un elevato numero di passaggi ( in totale 26 ), con masse assiali di 1,7 e 3,4 t e pressioni di contatto di 100, 300 e 500 kPa si sono riscontrati diversi valori di resistenza alla penetrazione. (Figura 9.8)



**Figura 9.8** - Resistenza alla penetrazione riscontrata in un terreno sottoposto a transito intenso con tre pressioni di contatto.

- variazioni nell'assorbimento di elementi nutritivi: nelle condizioni di compattamento sopra descritte, il potassio è l'elemento più sensibile con una riduzione dell'assorbimento fino al 50%, mentre il fosforo e il magnesio sono rimasti relativamente disponibili con una riduzione del 25%. (Petelkau et al., 1990).

- la contrazione degli apparati radicali delle piante: in un terreno limoso-argilloso, per valori crescenti di resistenza alla penetrazione sono stati trovati numeri inferiori di radici per unità di volume. (Lal et. al., 1989) (Grafico 9.4)



**Grafico 9.4** - Quantità di radici di mais per unità di volume presenti in un terreno limoso-argilloso, in funzione della resistenza alla penetrazione, per una monocoltura di 12 anni.



**Figura 9.9** - Effetti visibili del compattamento causato da uno spandiliquame di notevole capacità su un terreno soffice.

### 9.3 Compattamento dello strato non lavorato

Le cause del fenomeno a questa profondità sono essenzialmente:

- il carico della ruota;
- il numero di passaggi dei veicoli.

La pressione esercitata dal traffico negli strati profondi dipende quasi esclusivamente dalla massa che si scarica sulla ruota indipendentemente dall'estensione della superficie sul quale viene distribuito, ad eccezione del caso in cui si utilizzino pneumatici con pressioni estremamente basse. Con i pneumatici



normalmente usati e se il carico assiale eccede le 6 tonnellate, si osserva un compattamento a profondità superiori a 40 cm. Un unico passaggio di carbotte infatti con carico di 10 ton su asse singolo o di 16 ton su assi tandem in aree umide e soggette a intense gelate invernali procura un effetto negativo sulle produzioni che si protende per oltre 5 anni.

## **9.4 Conseguenze del compattamento**

In generale, dato che il fenomeno della compattazione comporta soprattutto la riduzione del volume dei macropori, si osserva una riduzione della velocità di infiltrazione dell'acqua, una riduzione del drenaggio, una ridotta areazione del terreno ed un aumento della resistenza all'accrescimento delle radici e quindi l'analisi di alcune di queste proprietà consente anche di valutare la dannosità del fenomeno.

### **9.4.1 La ritenzione idrica**

La curva di ritenzione idrica esprime la relazione tra la quantità di acqua presente nel suolo e l'energia con cui quest'acqua è trattenuta nei pori. La struttura del terreno influenza notevolmente la capacità di ritenzione idrica di un suolo. Nei suoli con presenza di aggregati, la maggior parte dell'acqua trattenuta a valori di potenziale elevato si trova nei macropori, mentre la maggior parte dell'acqua trattenuta a bassi potenziali si trova all'interno degli aggregati, nei micropori. Partendo da queste considerazioni è possibile osservare la progressiva compattazione di un suolo attraverso le variazioni subite dalla curva che esprime il quantitativo di acqua trattenuto dal terreno in funzione del potenziale matriciale della stessa. Dall'analisi di diversi campioni dello stesso terreno che presentano diverse densità apparenti, essendo stati sottoposti a differenti pressioni, si può osservare che all'aumentare del peso specifico apparente (e quindi della pressione subita dal campione) vi è:

- una riduzione del quantitativo di acqua trattenuto dal terreno a parità di potenziale e quindi anche una riduzione del volume del suolo;
- una riduzione dell'acqua trattenuta con potenziali compreso tra -0,1 e -1 kPa, fatto che mette in evidenza la riduzione del volume costituito dai macropori;
- un aumento, in proporzione, dei micropori (acqua trattenuta con potenziale matriciale inferiore a -1 kPa).
- una tendenza all'appiattimento della curva di ritenzione idrica all'aumentare della pressione cui è stato sottoposto il suolo (e quindi all'aumentare della compattazione), questo può essere spiegato ipotizzando che a seguito di elevati carichi nel suolo siano presenti pori con diametri uniformi ed uguali.

### **9.4.2 Velocità di infiltrazione dell'acqua**

Come già detto, a seguito della compattazione si assiste ad una riduzione della velocità di infiltrazione dell'acqua. Ad esempio, in terreni non compattati la velocità di infiltrazione si aggira attorno a 71 cm/h, mentre i terreni sottoposti ad

una pressione di 1,71 e 3,140 kg/cm<sup>2</sup> presentavano rispettivamente una velocità di infiltrazione di 7,6 e 2,7 cm/h (circa 10 e 25 volte inferiore).

Il fenomeno viene anche influenzato dal contenuto di umidità del terreno al momento del transito delle macchine:

- a parità di umidità, all'aumentare della pressione esercitata si verifica una riduzione dell'infiltrazione;
- a parità di pressione esercitata, all'aumentare dell'umidità iniziale del campione si osserva, dapprima un leggero aumento del rateo di infiltrazione e successivamente una progressiva riduzione dello stesso.

La riduzione dell'infiltrazione può comportare l'aumento dell'intensità dei fenomeni erosivi e la riduzione della quantità d'acqua accumulata nel terreno. Inoltre, la suola di lavorazione causata dalla ruota in solco, durante l'aratura, impedisce sia il movimento dell'acqua dalla superficie in profondità, sia la risalita capillare, causando ristagni e saturazione del suolo e, nei periodi siccitosi, stress idrici alla pianta.

#### **9.4.3 La diffusione dei gas nel suolo**

La compattazione può determinare una riduzione della diffusione di ossigeno anche negli strati superficiali del terreno. Inoltre si è dimostrato che anche piccole variazioni nei processi di areazione a livello degli strati superficiali possono comportare effetti significativi nella composizione dell'atmosfera in strati più profondi. Si comprendono quindi le conseguenze negative se si tiene presente che variazioni nella circolazione dei gas nel terreno possono influenzare numerosi processi chimici con conseguente alterazione del quantitativo di nutrienti disponibili per le piante.

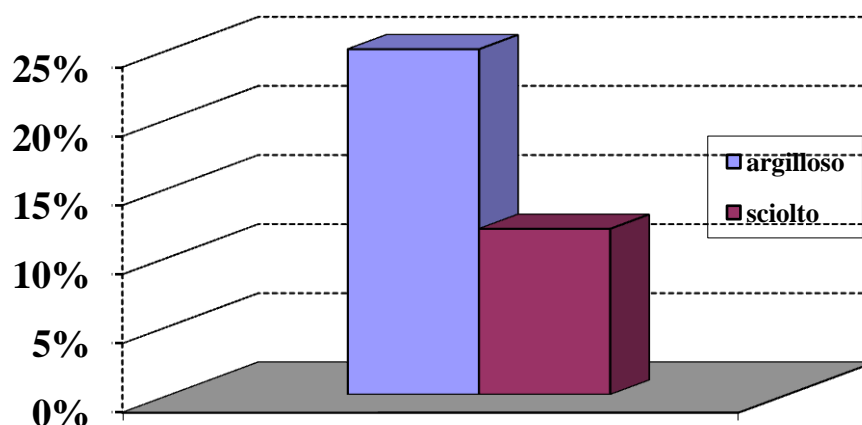
#### **9.4.4 L'energia spesa per la lavorazione del terreno**

Durante il traino del carrobotte in condizioni tali da provocare deformazioni del terreno viene "dissipata" energia per vincere la maggiore resistenza all'avanzamento che il veicolo incontra a causa dell'affondamento nel terreno dei pneumatici. Conseguentemente al compattamento il terreno presenta una maggior resistenza al taglio, che comporta un incremento del quantitativo di energia richiesta per la lavorazione del terreno ed il conseguente aumento del consumo di combustibile. In particolare, a seguito del traffico consistente di mezzi pesanti all'interno dell'appezzamento, si può avere un incremento della forza di trazione richiesta durante le normali operazioni colturali che può arrivare anche al 50%. Nel caso specifico della distribuzione dei liquami, l'impiego di un carro botte con carico assiale di 7 tonnellate si può accompagnare ad un incremento della forza di trazione richiesta nella successiva aratura variabile dal 25 % fino a circa il 40 %, sulla base delle caratteristiche podologiche ma anche del numero di passaggi. (Cera M. e Sartori L., 1993)



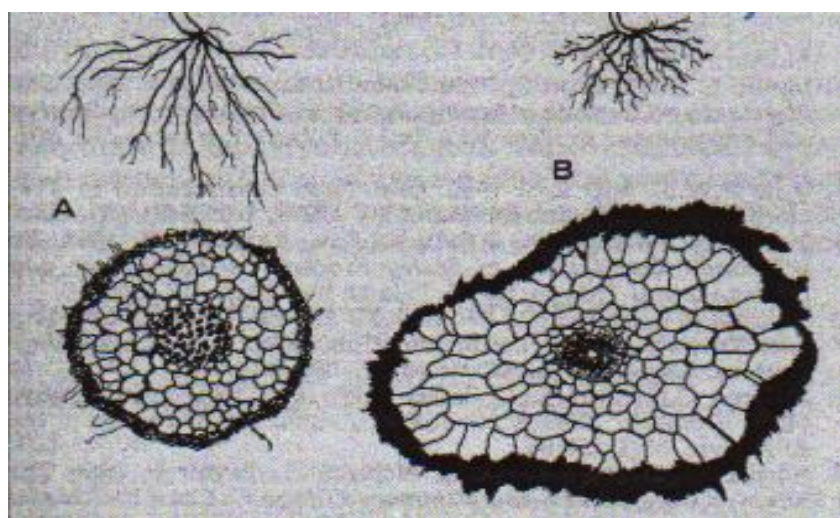
### 9.4.5 Le produzioni

La presenza di uno strato compattato può portare a contrazioni della resa variabili e quantificate in percentuali dal 12 al 25%, (Cera M. e Sartori L., 1993) in altri un aumento o variazioni non significative della produzione. Questo è imputabile alla notevole variabilità delle condizioni di coltura e del tipo di terreno (Grafico 9.5).



**Grafico 9.5** - Perdite massime di produzione a causa del compattamento nella coltura del mais.

Gli aumenti di produzione si verificano raramente e in regioni poco piovose dove un compattamento degli strati più profondi, impedendo il drenaggio favorisce la ritenzione. I danni sulle produzioni sono invece più frequenti e possono essere ricondotti ai diversi effetti del costipamento e alla loro persistenza nel tempo. Le diminuzioni di produzione nei terreni pesanti con strato lavorato compattato sarebbero ricondotte generalmente ad una ridotta areazione ed ad una notevole resistenza opposta all'accrescimento e alla distribuzione spaziale delle radici (Figura 9.10) nonché alla maggior sensibilità ad eventuali attacchi di patogeni (es. nematodi nei bietolai). ( Lipiec et al., 1991)



**Figura 9.10** - (A) apparato radicale sano e ben sviluppato, (B) apparato radicale ipotrofico e ad accrescimento asimmetrico.

Al contrario le riduzioni di produzione imputabili a terreni sciolti sono riconducibili ad una scarsa conduzione dell'acqua e quindi a difficoltà nel trasporto dell'acqua e dei nutrienti verso le radici. La compattazione poi, determinando una riduzione della macroporosità e quindi una riduzione dell'infiltrazione, determina un aumento dello scorrimento superficiale delle acque con conseguente incremento dell'erosione. In zone con scarse precipitazioni, magari concentrate in brevi periodi dell'anno, la ridotta infiltrazione può ostacolare il ripristino delle riserve idriche del terreno. Al contrario, per il medesimo motivo in zone con eccesso di precipitazioni vi può essere un aumento dell'incidenza del ristagno con conseguente asfissia radicale. Sul frumento, ad esempio è stata registrata una riduzione del 30% della produzione in condizioni di severo compattamento, di un terreno pesante, con precipitazioni superiori a 200 mm nei tre mesi di Aprile, Maggio e Giugno, al contrario la produzione è aumentata se le precipitazioni sono state inferiori.

In certi casi gli effetti della compattazione persistono anche dopo aver lavorato nuovamente il terreno. Questi si vedono nella persistenza di una struttura grossolana, in una maggior scabrosità della superficie e una maggiore adesività del terreno. La struttura grossolana può poi determinare la formazione di letti di semina non ottimali che si ripercuote sull'accrescimento delle radici della nuova coltura e sulla disponibilità di elementi nutritivi. Negli strati non lavorati, data la loro minor capacità autostrutturante, anche ridotti fenomeni di compattazione possono nel tempo dar luogo a riduzione delle produzioni.

Tra gli aspetti qualitativi influenzati dal compattamento vi sono il giusto periodo di maturazione, nonché l'uniformità di dimensioni e di distribuzione sull'apezzamento delle piante coltivate e un adeguato contenuto in zuccheri, proteine, ecc.. Il deprezzamento qualitativo si ha anche nel caso si verifichi contaminazione delle produzioni. Tuberi e fittoni di patata e barbabietola, specie nei terreni più pesanti, possono venire raccolti insieme a quelle zolle di terra fortemente compattate che non si disgregano e quindi per le loro dimensioni non vengono distinte dalla macchina raccogliitrice. Vengono poi segnalati incrementi dei danni da patogeni, probabilmente dovuti al minor rigoglio delle piante, e danni economici dovuti a modificazioni nella forma delle parti di pianta interrate che vengono commercializzate. Tra i risvolti positivi del transito delle macchine si riscontra un contributo indiretto al controllo delle malerbe che si esplica in un incremento riscontrato fino al 60% dell'efficacia di un erbicida. (Pessina, 1991). Bisogna precisare che è molto difficile trovare una precisa relazione tra il grado di compattazione ed il livello delle produzioni e quindi monetizzare i danni, questo a causa dell'elevato numero di variabili colturali in gioco, molte delle quali non dipendono dal fenomeno in questione.

## **9.5 La stima del compattamento durante la distribuzione dei reflui (metodologia)**

Per definire l'effetto del passaggio delle attrezzature per la distribuzione del liquame/letame sul terreno sono stati utilizzati differenti strumenti.

Il primo adottato è un modello di calcolo denominato TASC (Tyres/Tracks And Soil Compaction) creato da Agroscope ART per valutare gli stress causati dal passaggio delle macchine in terreni agricoli (Diserens, 2010). Questi possono essere determinati attraverso i parametri della macchina (dimensioni, carichi, pressioni di gonfiaggio) e quelli del suolo (tessitura, stabilità, umidità). Tutte le

relazioni matematiche connesse sono basate sulle leggi della fisica e della meccanica del suolo e anche su algoritmi derivanti da numerose prove in campo. Gli input di TASC sono il tipo di suolo, la profondità massima di lavorazione, la portanza del suolo, il tipo di pneumatici, la loro grandezza, il carico e la pressione di gonfiaggio. Gli output sono: la distribuzione della pressione nel suolo, valutazione del rischio di compattazione in una determinata profondità, calcolo dello stress di compattazione nello strato fino a 100 cm di profondità. Nel presente lavoro sono state considerate alcune situazioni limite sia per quanto riguarda la tessitura del terreno che la sua portanza. Per la tessitura sono stati considerati due tipi di suolo: quello argilloso (> 40% di argilla) e quello sabbioso (<10% di argilla e <50% di limo). Per quanto riguarda la portanza, è noto che la propagazione dello stress nel suolo dipende in gran parte dalla stabilità del primo strato di terreno. Un suolo soffice conduce più facilmente lo stress in profondità, mentre più è portante più lo stress si diffonde in senso orizzontale e la sua sofficià è anche in relazione al contenuto idrico del primo strato di terreno. Prove sperimentali hanno dimostrato infatti che nel sottosuolo da 55 a 90 cm non ci sono rischi di compattamento causati dal contenuto idrico (Bastgen e Diserens, 2009; Diserens et al., 2003).

Il secondo approccio è stato affrontato attraverso l'adozione di alcuni indici di traffico che rappresentano indirettamente un aspetto diverso e cioè, in modo più macroscopico, l'intensità dei passaggi dei mazzi di distribuzione sugli appezzamenti (Soane B.D. 1994).

Il "Rut lenght" (RL) corrisponde alla lunghezza delle corsie create dai pneumatici all'interno dell'appezzamento (km/ha) per unità di superficie. Tale indice si calcola secondo la seguente equazione:

$$RL = \frac{20}{WW \cdot n}$$

WW è la larghezza di lavoro (m) e n è il numero totale di passaggi annui per operazione.

Il "Traffic intensity" (TI%) è un parametro che da l'idea dell'area "trafficata" rispetto all'intera superficie dell'appezzamento. Si esprime in percentuale e si calcola secondo la seguente equazione

$$TI\% = \frac{100 \cdot (\sum t)}{w \cdot n}$$

"t" è la maggior larghezza del pneumatico (m), "w" è la larghezza di lavoro (m) e "n" è il numero totale di passaggi annui per operazione.

Questi parametri mostrano la parte di terreno che la macchina interessa. Altri parametri, permettono di fare una stima sul rischio complessivo di compattazione, durante il passaggio dei mezzi in campo, basandosi su parametri come il peso complessivo dell'operatrice, il numero di passaggi e la loro distribuzione.

Tali parametri sono:

Il “Traffic intensity”(TI) esprime il carico totale per ogni chilometro di percorso scaricato al suolo. Si calcola secondo la seguente equazione:

$$TI = \frac{10}{WW} \cdot WL \cdot n$$

dove: TI è l'intensità di traffico espressa in t km/ha/anno, “WW” è la larghezza di lavoro (m), “WL” è il carico gravante sugli assali (t) e “n” è il numero totale di passaggi annui per operazione.

Infine, il “Field load index”,(FLI) che esprime il carico complessivo annuo scaricato sul terreno e il tempo di permanenza della macchina nell'unità di superficie. Si calcola secondo la seguente equazione:

$$FLI = W \cdot LT \cdot n$$

Tale indice di carico sul campo si esprime in t h/ha/anno e deriva dal peso complessivo del trattore più l'operatrice “W”, espresso in tonnellate, dalla capacità di lavoro della trattrice “T” espressa in h/ha e “n” che rappresenta il numero totale di passaggi annui per ogni operazione colturale.

Il terzo sistema invece ha previsto la misurazione diretta con il penetrometro della resistenza alla penetrazione offerta dal terreno prima e dopo il passaggio di alcune macchine per la distribuzione. Avendo effettuato le rilevazioni in terreni e condizioni diverse, i dati ottenuti non hanno valore assoluto, ma vengono riportati per il confronto tra diverse macchine all'interno delle medesime condizioni. Lo strumento utilizzato è il penetrometro digitale Penetrologger Eijkelkamp con coni standardizzati e le rilevazioni fatte secondo la metodologia proposta dall'ASABE (ASABE standards, 2010).

## 9.6 I risultati ottenuti

### 9.6.1 La distribuzione dello stress di compressione utilizzando il modello TASC (risultati)

Il modello ha calcolato le superfici di contatto, la diffusione dello stress dovuto alla pressione sul terreno, la profondità entro la quale si verifica il maggior rischio di compattamento. Le attrezzature considerate, le cui caratteristiche sono riportate nella Tabella 9.4, sono state le seguenti :

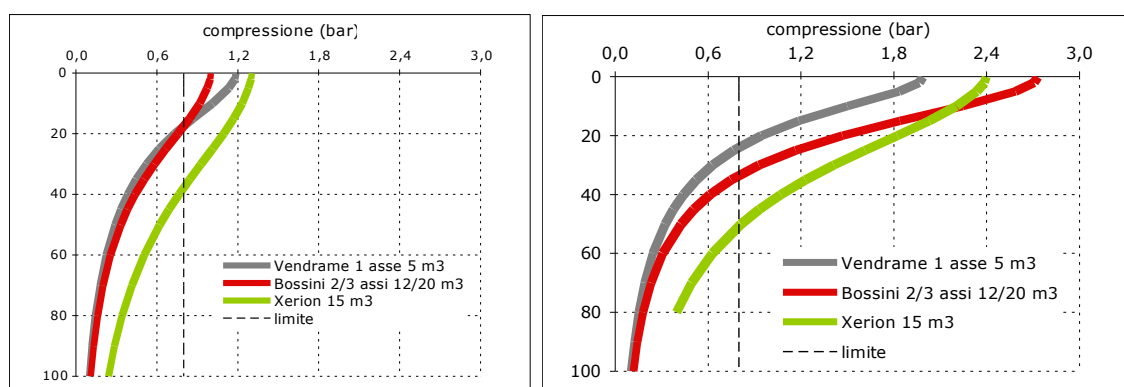
- carbotte trainato a 1 asse della capacità di 5 m<sup>3</sup>, in grado di svolgere anche operazioni in copertura (Vendrame);
- carbotte trainato a 2 o 3 assi della capacità oscillante da 12 a 20 m<sup>3</sup>;
- carbotte semovente della capacità di 15 m<sup>3</sup>.

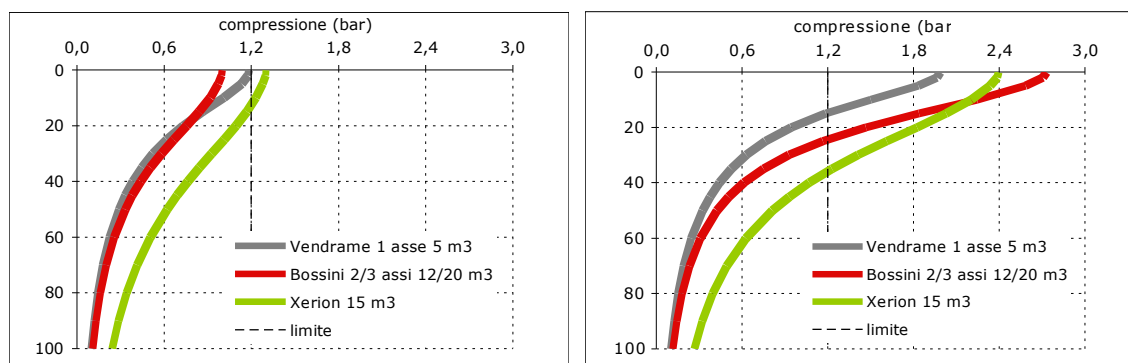
**Tabella 9.4** – Principali grandezze utilizzate nel modello.

Attrezzatura	Larghezza pneumatico (cm)	Diametro della ruota (cm)	Massa gravante sul pneumatico (kg)	Pressione di gonfiaggio (bar)
Vendrame 1 asse 5 m <sup>3</sup>	27	194	3200	2,0
Bossini 2/3 assi 12/20 m <sup>3</sup>	56	130	3500	2,5
Xerion 15 m <sup>3</sup>	80	207	8600	2,4

La macchina monoasse è caratterizzata da pneumatici stretti e di elevato diametro per poter distribuire anche sulle colture a file spaziate. Il carico sul pneumatico per le macchine trainate è pressoché simile a prescindere dal numero di assali e dalla portata. Le differenti attrezzature sembrano avere effetti differenti in funzione delle condizioni del terreno, come dimostrano i Grafici 9.6 e 9.7. Si nota infatti che lo stress di compressione è tanto maggiore quanto il terreno è cedevole e umido in entrambe le tessiture di suolo e i valori di pressione raggiunti nei primi strati di terreno sono doppi rispetto a suoli più portanti. La macchina semovente è sempre la più pericolosa a causa della maggiore massa gravante per assale. Seguono in ordine di pericolosità i carrobotte trainati a 2/3 assi e infine quelli a 1 asse. A questa tendenza fa eccezione la maggiore compressione esercitata dai carrobotte a 2/3 assi nel terreno cedevole (umido) negli strati superficiali (< 10 cm) che risulta maggiore delle semoventi. Inoltre negli stessi strati si verifica anche una maggior compressione delle macchine a 1 asse rispetto a quelle a 2/3 assi nelle condizioni portanti. Questo può essere ricondotto alla minore superficie di contatto dei pneumatici.

Le stesse pressioni che si scaricano sul terreno non sembrano discostarsi, in valore, di molto nei due tipi di tessitura. In questi tuttavia, la differenza risiede nella determinazione del rischio di compattamento attraverso il punto limite di stabilità (Diserens, 2010). Questo corrisponde alla pressione che deve essere esercitata per raggiungere o superare il valore standard per la densità apparente con il massimo della probabilità in un suolo parzialmente saturato alla capacità di campo. Il rischio del compattamento diminuisce se il suolo in profondità è piuttosto secco, ma se è umido il rischio aumenta. Il valore limite di stabilità è selezionato diverso per ciascun tipo di suolo: in suoli argillosi il rischio è moderato tra valori di pressione pari a 0,8-0,9, alto se supera 0,9 bar; in suoli sabbiosi il rischio è moderato con valori di 1,2-1,4, alto se supera 1,4 bar.

**Grafico 9.6** – Distribuzione dello stress di compressione negli strati causato da differenti attrezzature in un suolo argilloso portante (a sinistra) e cedevole (a destra).



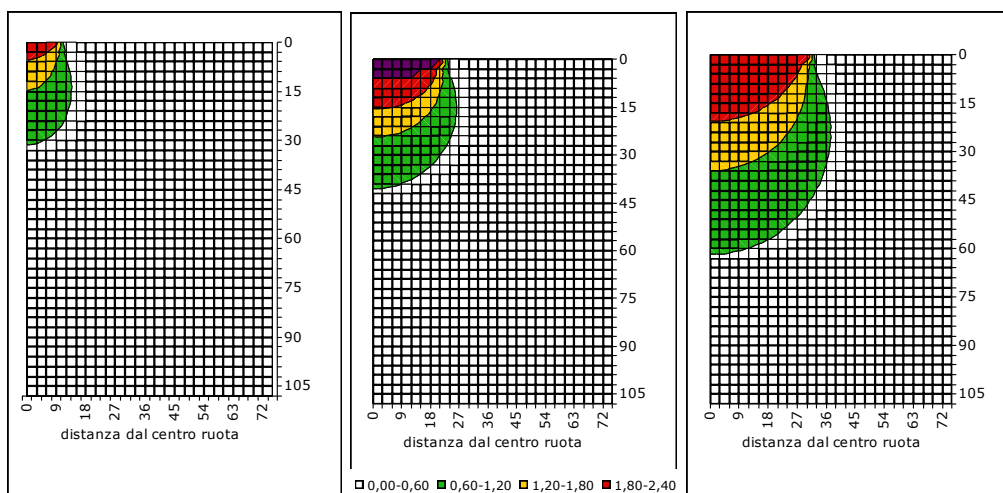
**Grafico 9.7** – Distribuzione dello stress di compressione negli strati causato da differenti attrezzature in un suolo sabbioso portante (a sinistra) e cedevole (a destra).

Con l'adozione del punto limite di stabilità è possibile definire lo strato di terreno a rischio di compattamento che, come riportato nella Tabella 9.5, presenta ampie oscillazioni. Si va dai valori minimi (nessun pericolo di compattamento) per i carrotte a 1 o 2/3 assi su terreni portanti e secchi, fino a valori massimi di 40-50 cm nel caso del semovente su terreni argillosi. In questi casi, per evitare che il compattamento perduri occorre effettuare lavorazioni del terreno più profonde dello strato compattato. Si può dire anche che, se lo strato lavorato si aggira sui 35 cm, possono essere ammessi senza pericolo di compattamento tutte le macchine ad eccezione delle semoventi su terreni argillosi.

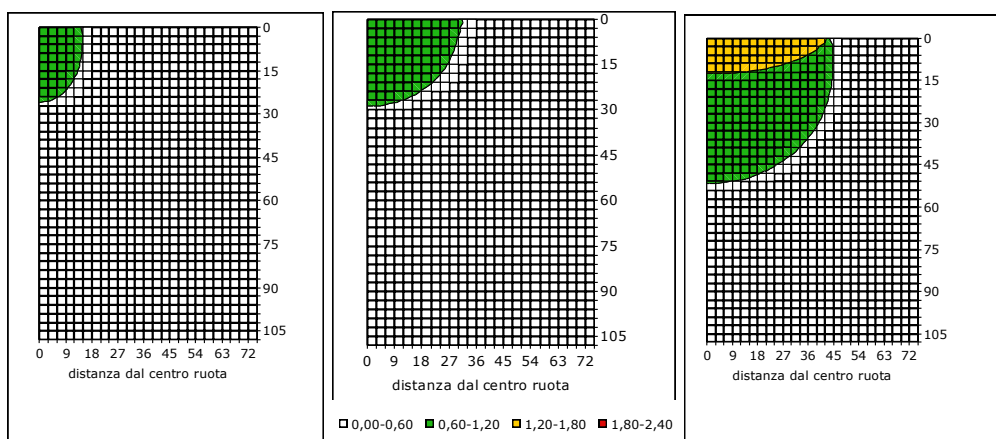
**Tabella 9.5** – Superficie di contatto, pressione a terra e strato massimo compattato caratteristico delle macchine considerate e della tipologia di suolo.

Attrezzatura	Tipo di suolo	Tessitura	Superficie di contatto (cm <sup>2</sup> )	Pressione nella superficie di contatto (bar)	Strato a rischio di compattamento (cm)
Vendrame 1 asse 5 m <sup>3</sup>	portante	argillosa	2144	1,46	20
	cedevole	argillosa	2735	1,15	25
	portante	sabbiosa	2144	1,46	0
	cedevole	sabbiosa	2735	1,15	15
Bossini 2/3 assi 12/20 m <sup>3</sup>	portante	argillosa	2785	1,23	20
	cedevole	argillosa	2179	1,58	35
	portante	sabbiosa	2785	1,23	0
	cedevole	sabbiosa	2179	1,58	25
Xerion 15 m <sup>3</sup>	portante	argillosa	5248	1,61	40
	cedevole	argillosa	6098	1,38	50
	portante	sabbiosa	5248	1,61	15
	cedevole	sabbiosa	6098	1,38	35

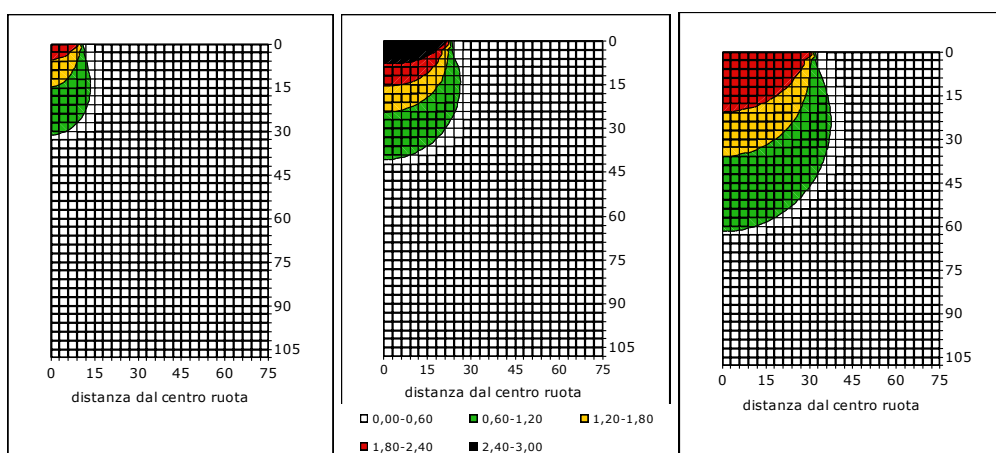
Nei successivi grafici, è rappresentata la distribuzione della pressione al suolo al passaggio delle ruote delle varie macchine nelle diverse condizioni del terreno.



**Grafico 9.8** – Rappresentazione bidimensionale della propagazione dello stress nel terreno sabbioso cedevole. Da sinistra a destra rispettivamente spandiliquame a 1 asse, spandiliquame a due/tre assi, semovente.

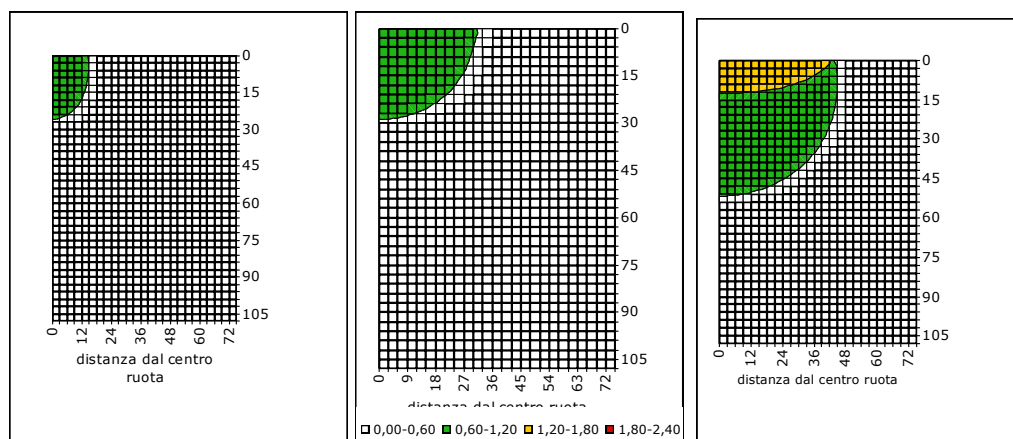


**Grafico 9.9** – Rappresentazione bidimensionale della propagazione dello stress nel terreno sabbioso portante. Da sinistra a destra rispettivamente spandiliquame a 1 asse, spandiliquame a due/tre assi, semovente.



**Grafico 9.10** – Rappresentazione bidimensionale della propagazione dello stress nel terreno argilloso cedevole. Da sinistra a destra rispettivamente spandiliquame a 1 asse, spandiliquame a due/tre assi, semovente.





**Grafico 9.11** – Rappresentazione bidimensionale della propagazione dello stress nel terreno argilloso portante. Da sinistra a destra rispettivamente spandiliquame a 1 asse, spandiliquame a due/tre assi, semovente.

### 9.6.2 Gli indici di traffico

I cantieri considerati per questo scopo hanno preso in considerazione anche le modalità di distribuzione, dal momento che queste possono influenzare gli indici di traffico. Sono stati quindi considerati 4 tipologie dei carribotte (trainati a 1, 2 e 3 assi e semoventi), 4 capacità dei serbatoi (6, 12, 18 e 24 m<sup>2</sup>) e 3 modalità di distribuzione (interrata profonda, interrata superficiale e distribuzione rasoterra in banda). Le caratteristiche necessarie per il calcolo dei vari indici per ogni cantiere sono riportate nella Tabella 9.6.

**Tabella 9.6** – Caratteristiche dei cantieri considerati per la determinazione degli indici di traffico.

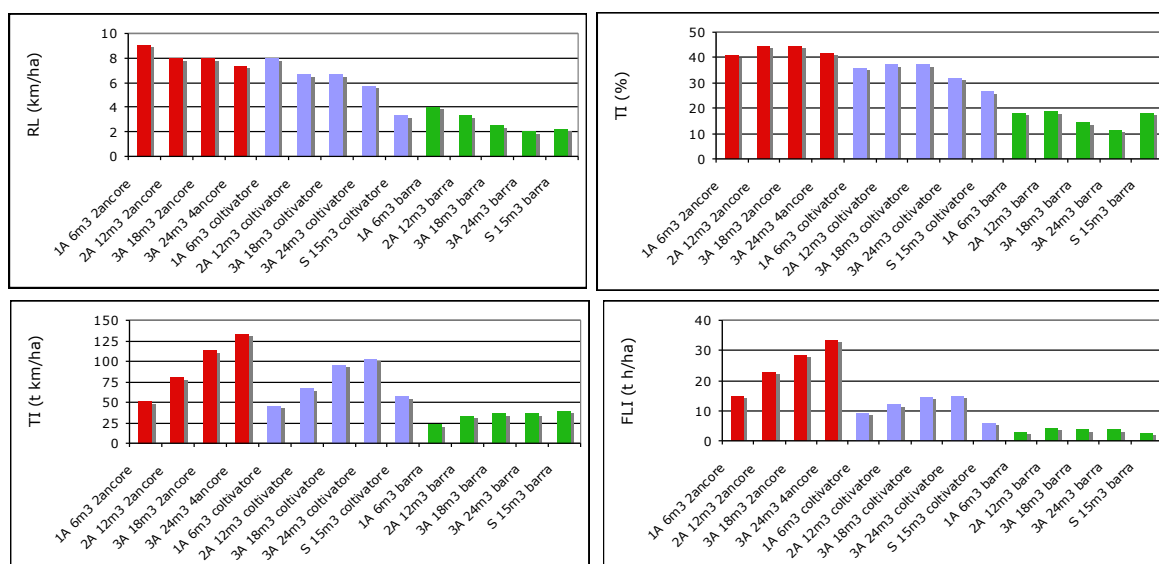
Cantieri			Larghezza di lavoro (m)	Larghezza dei pneumatici (cm)	Massa (t)	Capacità di lavoro (ha/h)	Velocità avanz. (km/h)
Numero assi	Capacità (m <sup>3</sup> )	Sistemi distribuzione					
1	6	2 ancore	2,2	45	11,4	0,77	3,5
2	12	2 ancore	2,5	56	20,0	0,88	3,5
3	18	2 ancore	2,5	56	28,5	1,00	4,0
3	24	4 ancore	2,7	56	35,9	1,08	4,0
1	6	coltivatore	2,5	45	11,4	1,25	5,0
2	12	coltivatore	3,0	56	20,0	1,65	5,5
3	18	coltivatore	3,0	56	28,5	1,95	6,5
3	24	coltivatore	3,5	56	35,9	2,45	7,0
semovente	15	coltivatore	6,0	80	34,3	6,00	10,0
1	6	barra	5,0	45	11,4	4,00	8,0
2	12	barra	6,0	56	20,0	4,80	8,0
3	18	barra	8,0	56	28,5	8,00	10,0
3	24	barra	10,0	56	35,9	10,00	10,0
semovente	15	barra	8,8	80	34,3	13,20	15,0

**Tabella 9.7** – I vari indici di traffico per la distribuzione dei liquami con i vari cantieri considerati.

Cantieri			RL (km/ha)	TI (%)	TI (t km/ha)	FLI (t h/ha)
Numero assi	Capacità (m <sup>3</sup> )	Sistemi distribuzione				
1	6	2 ancore	9,09	40,91	51,82	14,81
2	12	2 ancore	8,00	44,80	80,00	22,86
3	18	2 ancore	8,00	44,80	114,00	28,50
3	24	4 ancore	7,41	41,48	132,96	33,24
1	6	coltivatore	8,00	36,00	45,60	9,12
2	12	coltivatore	6,67	37,33	66,67	12,12
3	18	coltivatore	6,67	37,33	95,00	14,62
3	24	coltivatore	5,71	32,00	102,57	14,65
semovente	15	coltivatore	3,33	26,67	57,17	5,72
1	6	barra	4,00	18,00	22,80	2,85
2	12	barra	3,33	18,67	33,33	4,17
3	18	barra	2,50	14,00	35,63	3,56
3	24	barra	2,00	11,20	35,90	3,59
semovente	15	barra	2,27	18,18	38,98	2,60

Gli indici che considerano il “disturbo” della superficie del terreno al passaggio delle macchine (RL e TI%) hanno andamento piuttosto simile. Anche dal Grafico 9.12 e dalla Tabella 9.7 si nota che le distribuzioni profonde con ancore sono le più pericolose dal momento che sono caratterizzate da una bassa larghezza di lavoro; in posizione intermedia si situa la distribuzione interrata superficiale in cui la macchina semovente ha i valori più bassi per effetto della elevata larghezza di lavoro e potenza a disposizione, e infine la distribuzione rasoterra con barre che hanno le maggiori larghezze di lavoro.

Gli indici che prendono in considerazione anche la massa (TI e FLI) evidenziano invece il basso impatto delle attrezzature leggere a 1 o 2 assi soprattutto nelle distribuzioni interrate, mentre quelle rasoterra sembrano essere le meno rischiose per l'effetto combinato della larghezza di lavoro e della velocità di avanzamento. Le differenze sono evidenti: in media 22 contro 99 t h/ha per il FLI rispettivamente per la distribuzione in banda e quella interrata profonda; per il TI invece le stesse distribuzioni registrano 368 e 166 t km/ha. I bassi valori dell'indice TI per la semovente nella distribuzione interrata superficialmente è legato alla elevata larghezza di lavoro.



**Grafico 9.12** – Valori degli indici di traffico utilizzando per la distribuzione varie tipologie di attrezzature.

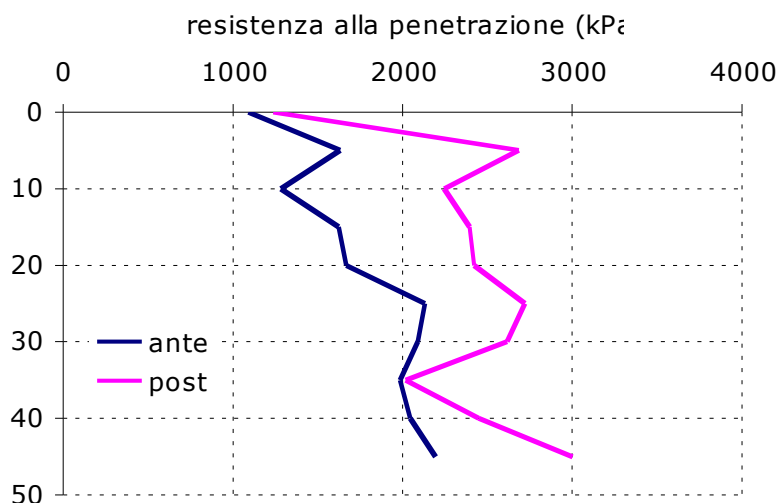
## 9.7 La resistenza alla penetrazione

Le misure penetrometriche sono state effettuate prima e dopo il passaggio di vari carrobotte in diverse situazioni. Si riferisce delle prove con il carrobotte a 1 asse durante le distribuzioni in copertura, con un carrobotte a 3 assi in distribuzione rasoterra e con alcuni tipi di semoventi sia in distribuzione rasoterra che interrata.

### 9.7.1 Carrobotte monoasse

Per quanto riguarda il carrobotte monoasse era caratterizzato da una massa totale pari a 5.550 kg, trainato da una trattrice della potenza di 66 kW, equipaggiato con pneumatici 270/95-44, si è operato su terreno franco sabbioso (19% argilla, 33% sabbia) e umidità media pari al 17% in peso effettuando misurazioni prima e dopo la distribuzione rasoterra e interrata su coltura di mais.

Sulla base dei dati mediati per profondità e rilevati in corrispondenza del passaggio del pneumatico, nel caso della distribuzione superficiale, è emerso che in seguito al passaggio dello spandilquame si ha un incremento medio della resistenza alla penetrazione lungo il profilo di circa il 35%, con un effetto soprattutto nei primi 10-15 cm di terreno, ma che si ripercuote anche alle profondità successive, dove permane un certo "effetto ormaia" fino a 30 cm (Grafico 9.13).

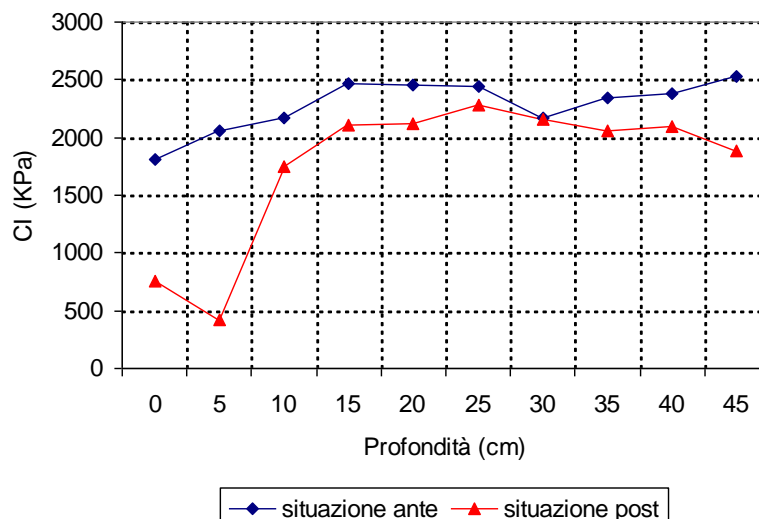


**Grafico 9.13** – Resistenza alla penetrazione nel terreno prima e dopo il passaggio del carrobotte.

Pur con valori inferiori rispetto ai primi centimetri di terreno esaminato, il passaggio dello spandilquame ha comportato un incremento della resistenza alla penetrazione anche in corrispondenza dello strato più profondo di terreno. Tale risultato, imputabile al passaggio della trattrice e dell'operatrice, è perciò dovuto fondamentalmente alla somma dell'effetto dovuto al peso del cantiere di lavoro impiegato ed al peso determinato dal volume di liquido contenuto nel serbatoio: avendo operato, in questo caso, con il serbatoio riempito alla massima capacità, è da ritenersi che la situazione rilevata rappresenti, a parità di condizioni sperimentali, il livello massimo in termini di compattamento raggiungibile a seguito della distribuzione di liquame nelle condizioni sperimentali in cui si sono svolti i test.

Confrontando la distribuzione interrata con quella superficiale si osserva come il passaggio della zappetta, determini una riduzione del compattamento, visibile soprattutto nei primi cm di profondità ma che si ripercuote anche a profondità maggiori. In questo caso l'organo interratore, oltre ad aver la funzione di interrare il liquame, ha arrecato un disturbo al terreno simile a quello ottenibile con la sarchiatura, con una rottura della crosta superficiale ed un parziale arieggiamento del terreno, fenomeni che pur se non quantificati nell'ambito delle prove possono essere ritenuti positivi in quanto in grado di facilitare l'infiltrazione dell'acqua nel caso di pioggia e di arrecare un disturbo di natura meccanica ed intensità variabile alle malerbe.

A conferma del effetto positivo che la zappetta determina al terreno, può essere utile osservare l'andamento della resistenza alla penetrazione, in tutti i 12 punti presi lungo il transetto perpendicolare al senso di avanzamento: si osserva infatti come il passaggio della zappetta riduca la resistenza alla penetrazione del terreno (Grafico 9.14)



**Grafico 9.14** - Resistenza alla penetrazione lungo il profilo di terreno dopo il passaggio dell'ancora.

### 9.7.2 Carrotte a 3 assi

Le prove si sono svolte presso l'Az. Agr. Cà Corniani Genagricola S.p.a. in località Cà Corniani di Caorle (VE) il 14 settembre 2010. Il terreno su cui sono stati eseguiti i test è di medio impasto con una scarsa quantità di acqua libera.

Il carro botte utilizzato (Figura 9.10) è costruito dalla ditta Bossini S.r.l. modello B 260. La capacità di carico è di 22 m<sup>3</sup>, l'intero serbatoio è in acciaio zincato con tara di 10,8 t. Il sistema di scarico e carico viene effettuato attraverso pressione e depressione mediante un compressore azionato dalla presa di potenza della trattrice. Il carro è a tre assi equipaggiati con pneumatici 560/60 R 22.5.

La trattrice impiegata è un Fendt 820 a quattro ruote motrici con potenza nominale di 151 kW, equipaggiata con pneumatici le cui misure sono: posteriori Pirelli TM 900 - 650/75 R 38 e anteriori Pirelli TM 800 - 600/65 R 28 e avente tara pari a 8,3 t.

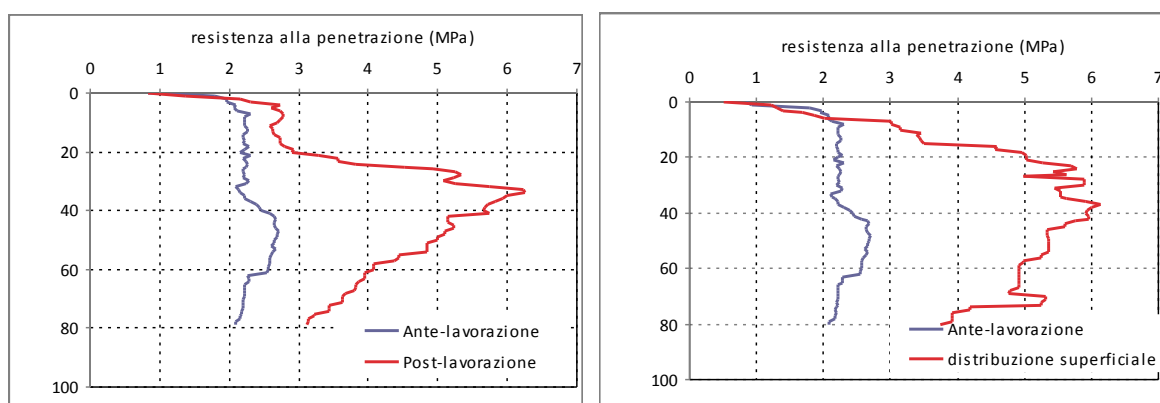
L'interramento del liquame avviene attraverso un coltivatore applicato posteriormente alla botte. Esso è costituito da 4 ancore profonde con sollevamento "a compasso" che effettuano la lavorazione del terreno e depositano il liquame ad una profondità variabile fra i 25 e i 35 cm.

La prova si è svolta attraverso la rilevazione dei parametri funzionali e di lavorazione con macchina a pieno carico (22 m<sup>3</sup>), a profondità (25-35 cm) e avanzamento di 6,5 km/h. I consumi medi sono stati di circa 14 l/h. Il carro botte è avanzato su terreno sodo con e senza la lavorazione da parte delle ancore posteriori, inoltre è stato fatto un passaggio con le sole ruote su terreno precedentemente dissodato. I parametri rilevati, sono stati la velocità di avanzamento, il consumo medio orario di gasolio e la profondità di deposizione del liquame. Per la misura del compattamento del suolo, è stato utilizzato un penetrometro su transetti di 10 rilevazioni in linea, ad una distanza di 30 cm l'una dall'altra, per una profondità da 0 a 80 cm. Tale operazione è stata svolta prima

del passaggio del cantiere, al passaggio degli soli pneumatici e su terreno lavorato dalle ancore posteriori.

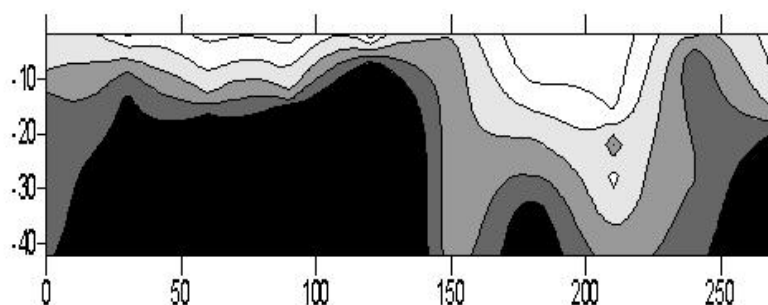


**Figura 9.10** – Il carrobotte a 3 assi Bossini in fase di distribuzione interrata.



**Grafico 9.15** – Effetto dei passaggi del carrobotte Bossini allestito con sistema di distribuzione interrata superficiale e rasoterra.

Bossini



**Grafico 9.16** – Sezione di terreno interessato dal passaggio del carrobotte fino alla profondità di 40 cm.

Come può essere visualizzato nei Grafici 9.15 e 9.16, si nota come il passaggio della macchina causi un evidente effetto di compressione del terreno soprattutto a livello del contatto con i pneumatici. I valori di resistenza alla penetrazione, pur essendo in presenza di un terreno secco, passano da valori di poco superiori a 2 MPa nello strato fino a 40 cm prima del passaggio della macchina a valori di 5-6 MPa dopo il passaggio del carro. Tale effetto viene mitigato dalla distribuzione con le ancore che decompattano il suolo fino a profondità di 25 cm.

Nel Grafico 9.16 si evidenzia che l'effetto è più grave dove lo strato è interessato dal passaggio dei pneumatici.

### 9.7.3 Carrotte semovente

La prova è stata svolta con la semovente Claas Xerion 3800 TRAC VC in due località: presso l'Azienda Agricola Mandre, situata nell'omonima località, nel comune di Susegana (TV) e presso l'Azienda Agricola Tosetto di Limena (PD). Nella prima azienda le condizioni di prova erano due: la prima era caratterizzata da un appezzamento con stoppie di triticale raccolto con trinciacaricatrice, e tessitura di tipo medio impasto tendente al sabbioso con una netta presenza di scheletro. Il secondo appezzamento, invece, era un terreno livellato e molto compattato. Anche questo terreno era di medio impasto ma con assenza di scheletro. La seconda prova è stata effettuata su terreni piani e regolari di tessitura sabbiosa.

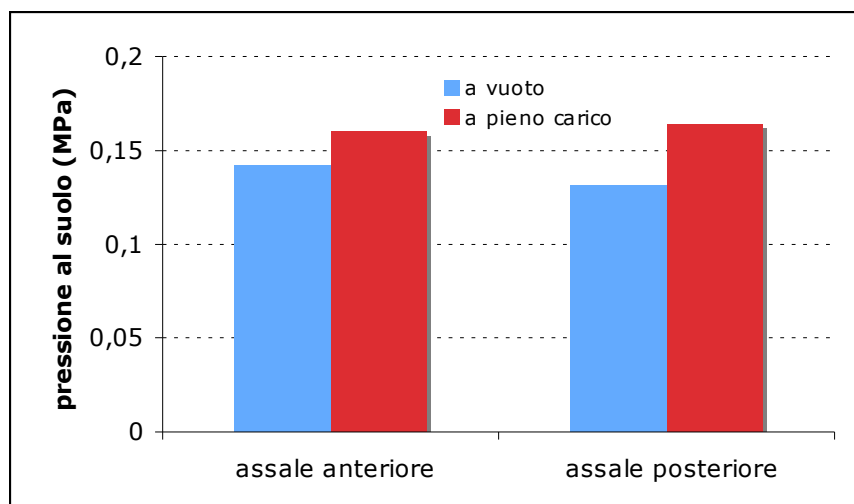
Con pneumatici Michelin AXIONBIB 800/70 R38 sulle 4 ruote (sezione pari a 0,8 m) la ripartizione dei pesi è riportata nella Tabella 9.8, in cui sono anche riportate le superfici di impronta a vuoto e a pieno carico e le pressioni di gonfiaggio dei pneumatici. A vuoto la ripartizione dei pesi grava per il 56% sull'assale anteriore, mentre a pieno carico i due assali sopportano la stessa massa dal momento che il serbatoio posteriore è il più capiente. In condizioni operative la massa gravante sul terreno risulta inferiore alla pressione di gonfiaggio e assume i valori riportati nel Grafico 9.17. I valori oscillano da 0,13 e 0,14 per gli assali a vuoto e 0,16 MPa a pieno carico.

**Tabella 9.8** – Pesì e pressioni dei pneumatici equipaggiati nello Xerion.

Assale	Peso (t)		Superficie d'impronta a vuoto (cm <sup>2</sup> )		Pressione di gonfiaggio (MPa)	
	a vuoto	a pieno carico	a vuoto	a pieno carico	a vuoto	a pieno carico
anteriore	12,01	17,0	8.300	10.439	0,23	0,24
posteriore	9,47	17,3	7.066	10.353	0,23	0,25

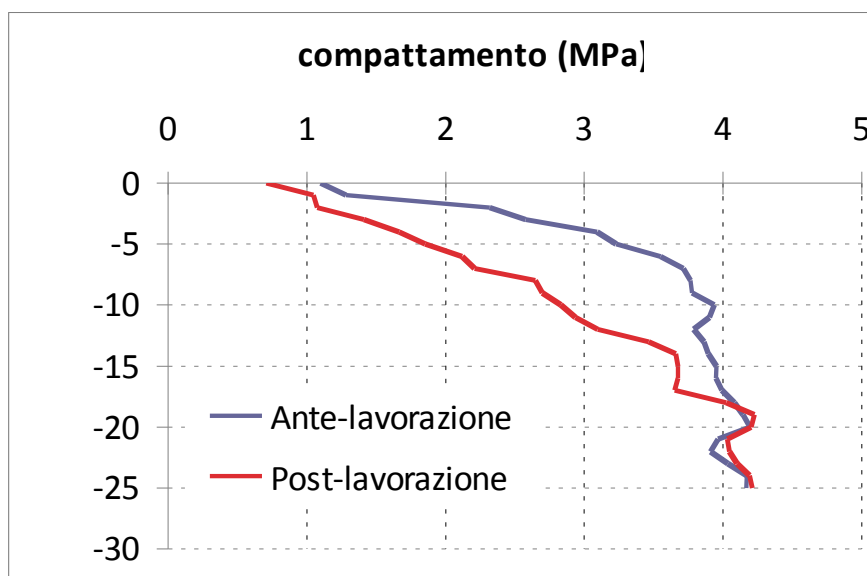
Premettendo che, a causa della presenza di scheletro nel terreno dove si sono effettuati i test precedentemente descritti, si è optato per l'impiego della macchina in un secondo terreno di prova privo di scheletro e i valori sono stati rilevati solo nell'impiego del coltivatore.





**Grafico 9.17** – Pressione al suolo degli assali anteriori e posteriori dello Xerion a vuoto e a pieno carico.

Come è facile osservare nel Grafico 9.18, la lavorazione operata dalle ancore del coltivatore ha un buon effetto di decompattazione lungo tutto il profilo di lavorazione, fino alla profondità di circa 18 cm, profondità che è confrontabile con la profondità di lavoro.



**Grafico 9.18** - Effetti della lavorazione sul grado di compattamento del suolo.

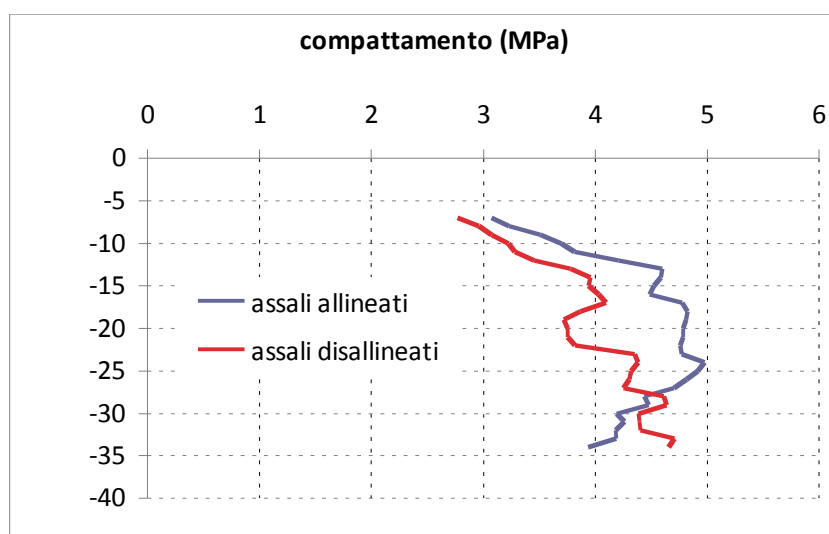
Il passaggio di un veicolo così pesante sul terreno ha provocato alcune variazioni nella densità, nel livello di compattamento del suolo e nella creazione di tracce più o meno marcate sulla superficie del terreno.

Effettuando un passaggio con le sole ruote sul terreno già lavorato, nelle due diverse modalità di avanzamento, si è registrata la seguente situazione. Come è possibile visualizzare nel Grafico 9.19, l'avanzamento con gli assali allineati

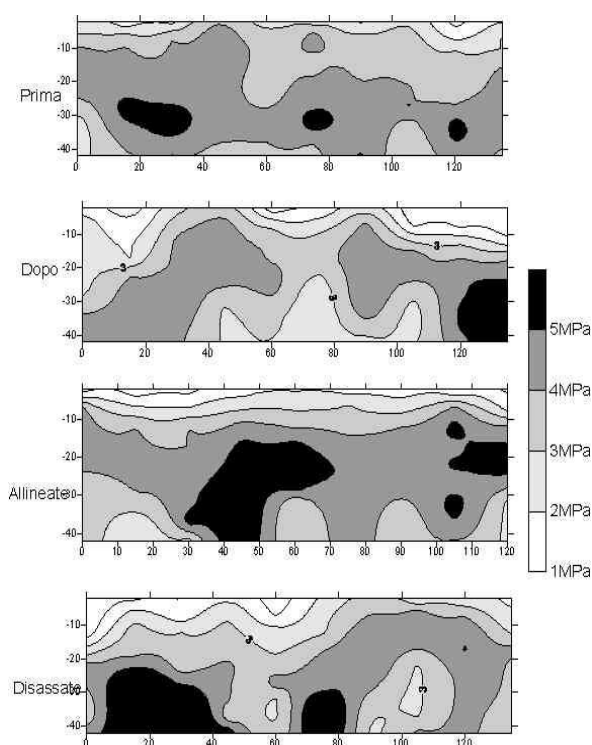
compatta maggiormente il terreno, rispetto all'andatura ad assi disallineati. Questo è spiegabile dal fatto che la pressione al suolo operata dall'asse anteriore, non viene rimarcata dal passaggio dell'asse posteriore.

Il grafico conferma quanto detto ed evidenzia però come in profondità, l'effetto del disassamento delle ruote non sia così evidente come negli strati superficiali; tuttavia il disassamento è molto utile proprio nel caso della distribuzione sottosuperficiale perché compatta l'intero fronte di lavoro e quindi rende più omogenea la distribuzione e la profondità di lavoro.

Anche l'analisi del profilo superficiale evidenzia il passaggio dell'attrezzatura (Grafico 9.20), con ormaie più evidenti in corrispondenza con le costolature dei pneumatici.



**Grafico 9.19** - Effetto su terreno già lavorato, delle possibili opzioni di avanzamento degli assali.



**Grafico 9.20** – Livello della compattazione del terreno in sezioni trasversali prima del passaggio, dopo la lavorazione, passaggio su terreno sodo con assali allineati, e con assali disallineati.

## 9.8 Considerazioni conclusive

Il compattamento del terreno causato dal traffico dei mezzi per la distribuzione dei liquami è un fenomeno reale, porta a danneggiamenti del suolo, causa riduzioni delle rese e assume valenze diverse in funzione dell'interazione di molteplici fattori. Tra questi possono essere ricordati:

- **dimensioni del serbatoio e massa dei mezzi:** la massa agisce sull'approfondimento del fenomeno negli strati più profondi dove è difficile anche intervenire con le lavorazioni del terreno. Sfortunatamente l'uso di attrezzature di ridotte dimensioni non sembra essere percorribile dal punto di vista economico, ma l'effetto può essere ridimensionato operando quando il terreno si trova in uno stato favorevole per quanto riguarda l'umidità.

- **dimensioni degli pneumatici:** larghe sezioni e ridotte pressioni di gonfiaggio riducono la pressione al suolo. Problemi possono subentrare nel trasporto su strada e per quanto riguarda la maneggevolezza. Inoltre un simile equipaggiamento non è pensabile in interventi in copertura su colture sarchiate.

- **larghezza di lavoro:** l'aumento della larghezza di lavoro è strategico per ridurre il numero di passaggi nell'appezzamento e quindi vanno preferite attrezzature larghe, eventualmente riducendo le dosi distribuite per volta. Una elevata larghezza di lavoro consente anche di introdurre la tecnica del traffico controllato.

- **tipo di terreno:** la tessitura è poco modificabile, ma per ridurre i rischi di compattamento è importante aumentare la dotazione di sostanza organica.

- **epoca di intervento:** il frazionamento degli interventi è un buon sistema per ridurre i rischi di compattamento. Le attrezzature devono essere in grado di distribuire in ogni situazione sia in presenza che in assenza della coltura. Trattamenti durante lo sviluppo della coltura sono da preferire perché aumentano l'efficienza del fertilizzante, inoltre vengono di solito eseguiti quando il terreno è in condizioni portanti.

- **gestione del terreno** (lavorazioni o non lavorazione): le tecniche di lavorazione semplificata o conservative implicano maggiore attenzione nello spandimento dei liquami dal momento che, non interessando strati profondi, non possono ristabilire la favorevole porosità in profondità. Interessanti sono i sistemi di distribuzione ombelicali e contemporanei alle lavorazioni superficiali.

## **10. PROPOSTE PER UNA DISTRIBUZIONE RAZIONALE DEGLI EFFLUENTI ZOOTECNICI**

### **10.1 Inquadramento e definizione delle proposte**

Da quanto si è potuto capire dalla lettura di quanto è stato scritto nel presente elaborato, un primo e sostanziale miglioramento dello stato attuale, è la distribuzione il più ravvicinata possibile alle reali esigenze della coltura. Da una panoramica delle coltivazioni si sono individuate due situazioni che potenzialmente possono giovare in maniera sostanziale di tale pratica. La prima, ravvisabile nella distribuzione su cotico erboso all'interno delle fasce tampone boscate, permette di distribuire l'effluente zootecnico in momenti in cui le coltivazioni in pieno campo non ne permettano la distribuzione a causa della fase fenologica in cui si trovano o di condizioni pedo-meteorologiche avverse inoltre, tale pratica, permette al cotico erboso di sequestrare l'azoto e limitarne le perdite nelle falde acquifere. La seconda è l'individuazione di un momento ottimale per la massima efficienza fertilizzante che, negli areali della Pianura Padana, è nella sarchiatura di una coltura largamente diffusa soprattutto nelle aziende zootecniche, che è il mais. In questa fase, abbinando alla classica lotta meccanica alle malerbe, può essere distribuita in concomitanza una certa quantità di fertilizzante da liquame. Dal punto di vista costruttivo e operativo di campo, questa operazione è molto complessa e non scevra da inconvenienti. Oltre che al momento d'intervento, un punto nevralgico per la corretta gestione degli effluenti zootecnici, con le tecnologie che attualmente vengono impiegate nella maggior parte dei casi sulle macchine che effettuano gli spandimenti, è la difficoltà di regolazione della dose distribuita e soprattutto la sua esatta conoscenza. Normalmente, la taratura viene lasciata all'esperienza dell'operatore e non è possibile avere un feed-back in tempo reale dei quantitativi di effluente e soprattutto di unità di azoto distribuite. Il mercato offre diverse soluzioni derivanti da applicazioni similari, ma attualmente non esiste un sistema concepito ad hoc con un costo relativamente basso sia in termini di installazione che di gestione e soprattutto fruibile da operatori poco avvezzi all'impiego di tecnologia. Da qui scaturisce la terza idea di prototipo in grado di effettuare con un sistema semplice ma funzionale un certo controllo della dose sia in termini di taratura della macchina che di conoscenza in tempo reale di quanto viene fatto. Collegato a questo, è in essere anche un quarto progetto, il quale si prefigge attraverso l'impiego della tecnologia GNSS la tracciabilità e quindi la certificazione delle operazioni svolte.

### **10.2 Realizzazione di una barra per la distribuzione lungo l'interfila su colture arboree**

Nell'ambito del progetto RIDUCAREFLUI promosso dalla Regione Veneto, in cui il gruppo di lavoro al quale il dottorando ha fatto parte, è stata sottoposta la problematica di effettuare delle distribuzioni di digestato separato liquido all'interno di aree piantumate a colture arboree. Da qui è nata l'idea di realizzare un'attrezzatura ad hoc, in quanto sul mercato non sono disponibili macchine adatte a tale tipo di operazione. Ricercando le soluzioni tecnologiche che maggiormente si adattano a questo specifico tipo d'intervento e adattandole ad

una realizzazione economicamente sostenibile si è realizzata tale attrezzatura. Grazie alle competenze specifiche dei componenti del gruppo di lavoro, è stata realizzata una barra di distribuzione superficiale adatta all'impiego su cotico erboso e con larghezza contenuta alla viabilità interfilare. Essa ha preso forma presso le strutture dell'officina meccanica del Dipartimento TeSAF all'interno dell'Azienda Sperimentale "L. Toniolo" dell'Università degli Studi di Padova e montata direttamente in opera sul mezzo a cui è stata accoppiata.

### **10.2.1 Metodologia operativa**

Innanzitutto si è cercato di capire al meglio le condizioni operative, andando a individuare i punti di criticità nell'impiego di tale macchina (presenza di residui superficiali, altezza del cotico erboso, larghezza operativa dell'interfila, possibilità d'impatto con piante e/o rami, difficoltà di manovra a fine campo, etc.). Da qui si sono sondate le diverse possibilità costruttive e di accoppiamento tenendo presente di effettuare una realizzazione economicamente sostenibile. Individuato ciò, si è passati alla stesura del progetto definitivo con calcoli progettuali e successiva realizzazione in officina meccanica. Dopo la realizzazione, si è passati al montaggio dell'attrezzatura sul carro botte utilizzato per le distribuzioni e si è provveduto alle stesse andando a rilevare i diversi parametri funzionali.

### **10.2.2 Descrizione dell'attrezzatura**

La macchina operatrice (Figura 10.1), principalmente, è costituita da un telaio portante che collega l'attrezzatura al carro botte, da una trave trasversale alla quale è collegata una barra porta-utensili, da due gruppi omogeneizzatori e distributori di flusso e da una serie di tubi adduttori che convogliano il liquame verso il terreno.

Il telaio portante di collegamento è costituito da due profilati di ferro che attraverso opportuni organi di collegamento, effettuano l'accoppiamento con la parte posteriore del telaio del carro botte da accoppiare. La struttura porta-utensili, avente un ingombro massimo di 2,5 metri, è costituita da una doppia trave trasversale a cui, in quella posteriore, sono collegati gli organi lavoranti. Gli utensili sono: 10 ancore elastiche (Figura 10.2) opportunamente inclinate per permettere il deflusso dei residui superficiali, alla cui parte posteriore sono posti i tubi adduttori. Il coltello anteriore dell'utensile opera lo spostamento laterale dei fili d'erba e una leggera incisione sul terreno, appena successivamente il tubo adduttore deposita l'effluente a livello del terreno senza imbrattare la vegetazione, la quale si richiude successivamente andando a limitare le emissioni dannose e maleodoranti in atmosfera. Nelle fasi di svoltata e di trasporto, gli organi lavoranti vengono alzati attraverso un martinetto idraulico che opera su di un leveraggio a compasso. Il sistema di omogeneizzazione e ripartizione del flusso fra le diverse calate, viene effettuato in maniera primaria sfruttando una ripartizione ad Y già presente sul carro botte e successivamente da due ripartitori di flusso identici fra loro. Il liquame, entrando dal basso verso l'alto, per caduta va a lambire una serie di setti ai quali sono collegati i singoli tubi adduttori.

### 10.2.3 Considerazioni sulla funzionalità dell'attrezzatura

L'attrezzatura realizzata ha fatto rilevare i seguenti punti di forza:

- ingombro totale adatto per il passaggio lungo l'interfila degli arboreti e senza ingombri inutili che possono rendere difficoltose le svolte a fine campo;
- realizzazione semplice, con reperimento di materiali già presenti in commercio;
- sistema di sollevamento a compasso al fine di rendere la macchina il più leggera possibile e che i tubi adduttori non vengano danneggiati;
- ripartitori di flusso senza organi in movimento;
- interratori a molla e inclinati in maniera tale che possano superare qualsiasi ostacolo presente sulla superficie del terreno;
- coltello anteriore aprisolco adatto a spostare la vegetazione presente e incidere leggermente il terreno, nonché studiato per divincolarsi dalla presenza di residui superficiali;
- collegamento semplice al telaio del carro botte, senza bisogno di fori e/o saldature, ma perfettamente indipendente e modificabile per il collegamento a carri diversi.

Nelle fasi operative di campo (Figura 10.3), la macchina si è comportata in maniera eccellente e ha risposto a tutti i presupposti di realizzazione.



**Figura 10.1:** Barra completa sganciata dal carrobotte.





**Figura 10.2:** Particolare dell'ancora con relativo tubo adduttore accoppiato.



**Figura 10.3:** Attrezzatura agganciata al carro botte e in fase di lavoro.



### 10.3 Proposta di prototipo per la distribuzione in copertura su mais

La coltura che maggiormente si avvantaggia dalla fertilizzazione azotata è sicuramente il mais, senza comunque escludere le altre specie. In riferimento al mais, il periodo di maggior assorbimento è sicuramente quello a ridosso della levata, questo però comporta l'entrata in campo con coltura in atto. Dal punto di vista delle proposte, in passato sono state presentate alcune soluzioni che avevano nell'ottica la distribuzione del liquame durante l'operazione di sarchiatura. A causa dei grossi volumi da distribuire, le soluzioni costruttive adottate hanno trovato scarso riscontro da parte degli utilizzatori finali. Tra le problematiche maggiori si annovera: la scarsa autonomia, la difficoltà di manovra e la difficoltà di monitorare dalla trattrice la lavorazione svolta. Da questi presupposti, in concerto con il resto del gruppo di lavoro, si è cercato di ipotizzare alcune soluzioni tecniche che cerchino di eliminare e/o diminuire i punti di debolezza appena elencati. Tale progettazione si è concretizzata mediante stesura di un progetto preliminare delle soluzioni ipotizzate. Per fare ciò è stata impiegata la metodologia di progettazione mediante l'ausilio del software Autocad®.

#### 10.3.1 Presupposti per la progettazione

L'idea è quella di ottenere una macchina che cerchi di superare alcuni ostacoli di operatività da parte degli utilizzatori, di seguito elencati:

- essere un sistema di lavorazione che coniughi l'interramento del liquame con la classica operazione di sarchiatura;
- avere una capacità di carico confacente all'autonomia di un giro di campo completo medio;
- avere un sistema di dosaggio e distribuzione che garantisca una certa precisione;
- avere la capacità di preservare, per quanto possibile, l'integrità delle piante in campo: per esempio, adottando un sistema di svoltata in cui le ruote dell'operatrice seguono perfettamente la carreggiata posteriore della trattrice;
- avere un sistema di sollevamento degli organi lavoranti che non rovini la coltura;
- essere in grado di limitare il più possibile il compattamento del terreno;
- avere la possibilità di visualizzare gli organi lavoranti direttamente dalla cabina della trattrice;
- essere un attrezzo compatto, facilmente manovrabile, costruttivamente semplice ed affidabile: per esempio, adottando un sistema di dosatura meccanico e per gravità, togliendo dalla macchina tutti i classici organi deputati, semplificando costruttivamente e soprattutto togliendo parti in usura che richiedono manutenzione, parti mosse dalla presa di potenza, diminuendo possibili rischi d'infortunio per l'operatore, e soprattutto alleggerendo la macchina che così acquista maggiore capacità di carico e quindi autonomia;
- avere la possibilità di essere fruibile anche con trattori di medio-bassa potenza.

Fra le diverse soluzioni costruttive ipotizzabili, si sono cercate quelle che maggiormente soddisfino i presupposti appena elencati. Da questa attenta analisi e valutazione, si è arrivati alla definizione di due tipologie di macchine: una soluzione completamente trainata e una semi-portata. Ciascuna ha le proprie peculiarità e risponde con i propri vantaggi e svantaggi ai presupposti.

### 10.3.2 Proposta di macchina operatrice trainata

In linea di massima, essa è costituita da un timone snodato, da un assale con ruote gommate, da una cisterna per il liquame e da un sistema di interrimento che effettui anche la sarchiatura. Il sistema di traino viene effettuato mediante un timone monotrave con snodo centrale. Fra i diversi sistemi di sterzata che permettono all'assale della macchina di seguire la medesima carreggiata dell'assale posteriore della trattrice, la soluzione più semplice ma altrettanto funzionale è apporre lo snodo di sterzo equidistante fra i due assali. Per fare ciò, innanzitutto bisogna tenere conto dei diversi ingombri che possono fare impattare le macchine in fase di sterzata. Da una analisi dei possibili punti di attacco alla trattrice, la soluzione più funzionale e sicura è il collegamento al gancio di traino con un sistema che possa bloccare questo grado di libertà e che quindi obblighi il convoglio a sterzare solamente mediante lo snodo centrale. Al fine di adattare tale punto in maniera equidistante su trattrici diverse, è previsto un sistema di posizionamento del timone in grado di adattare tale distanza alle esigenze. Per quanto riguarda gli assali, tenendo conto dell'utilizzo all'interno della coltura di mais seminata con un interfila di 75 cm, la carreggiata della trattrice e di conseguenza quella dell'operatrice, saranno impostate a 150 cm a centro ruota. Gli pneumatici da impiegarsi avranno una sezione compresa fra i 250 e i 350 mm, in quanto se troppo sottili, aumentano di molto il compattamento, mentre se troppo larghi, possono calpestare la coltura. Inoltre il loro diametro è il massimo impiegabile come giusto compromesso, in quanto all'aumentare del diametro aumenta la superficie di appoggio con il terreno, limitandone il compattamento. La cisterna di contenimento del fertilizzante organico liquido, è stata calcolata come compromesso fra le masse in gioco e la garanzia di un'autonomia minima, tale valore è definito in 4000 litri. Al fine di contenimento delle masse, non è previsto un sistema di pompaggio del liquame, per cui il rifornimento sarà eseguito a cura della macchina che effettuerà il trasporto verso il campo. Il sistema di distribuzione è stato ipotizzato gravimetrico e verrà ampiamente descritto successivamente in questo elaborato. Il sistema di interrimento, prevede di lavorare una superficie completa corrispondente a 4 file di mais, per cui sarà costituito da 5 elementi indipendenti, collegati al telaio con un sistema di sollevamento "a compasso", con la possibilità di regolare in maniera centralizzata la profondità di lavoro. Gli organi lavoranti sono costituiti, per ciascun elemento, da un'ancora a molla equipaggiata con una zappetta che permette di lavorare il terreno e creare le condizioni per interrare il liquame posto da un tubo appena successivo ad essa.

- Possibili vantaggi:
  - o la macchina risponde pressoché a tutti i presupposti;
  - o possibilità di accoppiare trattrici di bassa potenza, dimensionate ai soli sforzi di trazione;
  - o ridotti spazi di manovra potendo usufruire anche dei freni indipendenti della trattrice.
- Possibili svantaggi:
  - o in campo e in trasporto, tutto il peso grava solo sulle due ruote dell'assale della macchina, questo può provocare un forte compattamento puntuale soprattutto in condizioni di terreni cedevoli;
  - o il sistema a snodo centrale e la lunghezza della macchina, fanno sì che la zona di lavoro possa subire degli scostamenti rispetto la traiettoria prevista, per cui gli organi sarchiatori non possono essere posizionati il più vicino possibile alle file.

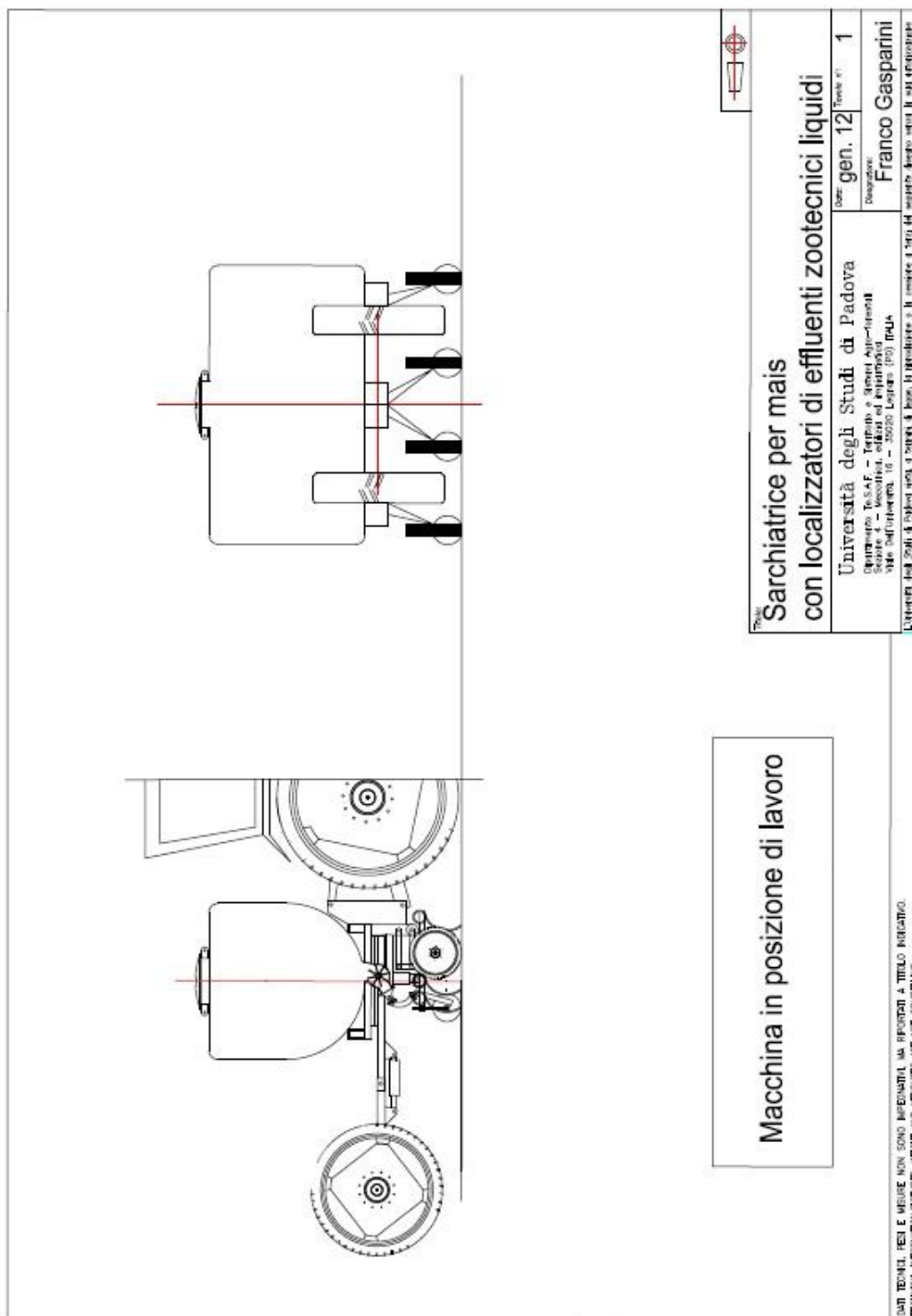


### 10.3.3 Proposta di macchina operatrice semi-portata

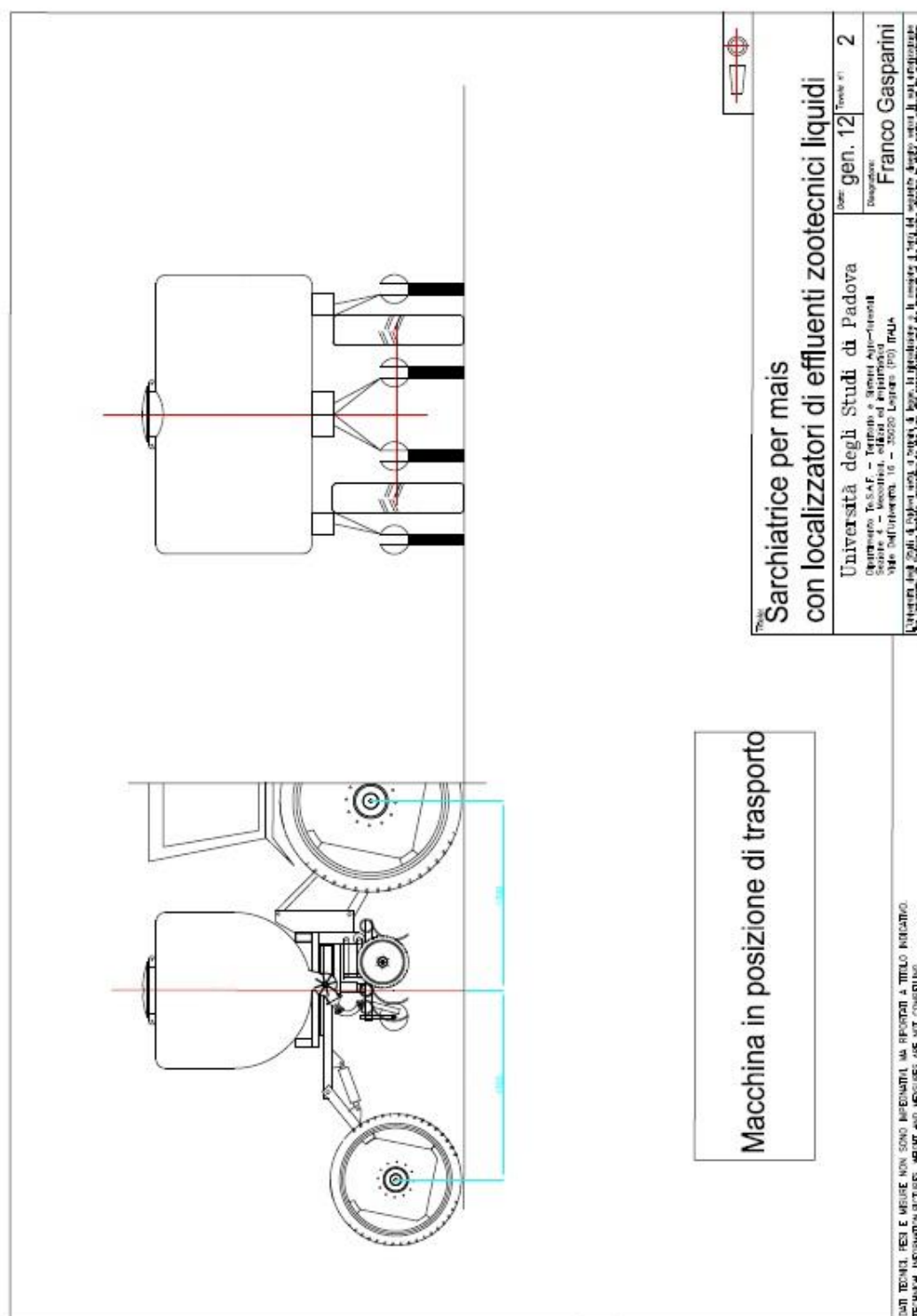
Un'altra ipotesi, fatta per cercare di rispondere ai presupposti di realizzazione con un approccio diverso al precedente, è quella di una macchina semi-portata. A volte, l'innovazione tecnologica in campo agricolo si scontra con la normalità delle operazioni cui l'agricoltore è abituato a fare. Proprio ragionando su questo, si è pensato ad una macchina che ricalchi il più possibile una tradizionale sarchiatrice da mais e partendo da questa è nata la seguente proposta. La macchina operatrice è costituita da un tradizionale attacco a tre punti, da un telaio portante a cui sono collegati gli organi di lavoro, la cisterna e un carro posteriore di sollevamento e traino. Gli organi lavoranti sono le tradizionali ancore per sarchio disposte nella classica configurazione. Esse sono montate su parallelogramma, il quale è equipaggiato con due ruote pneumatiche della sezione di 200 mm e altezza di 500 mm montate in parallelo fra loro. Esse hanno la funzione di mantenere costante la profondità di lavoro di ciascun elemento e di scaricare al suolo il peso dell'attrezzatura e del liquame trasportato, grazie ad un ammortizzatore pneumatico che mantiene costante il peso scaricato a terra nelle fasi di distribuzione. Quest'ultima viene effettuata mediante tubi adduttori che convogliano il liquame rasoterra lungo la fila, il quale viene interrato con una coppia di dischi opportunamente inclinati e che provvedono alla rincalzatura del mais. Fra il serbatoio, della capienza di circa 4 m<sup>3</sup>, e i parallelogrammi, è montata una ralla alla quale sono collegati due longheroni che la collegano ad un assale posteriore. Esso è equipaggiato con due pneumatici di sezione compresa fra i 250 e i 350 mm con lo stesso interasse di 150 cm della trattrice e del diametro di circa 120 cm, al fine di limitare il fenomeno del compattamento al suolo senza danneggiare la coltura. Durante le fasi di distribuzione questo assale è completamente alzato dal terreno e bloccato nella posizione, allo scopo di non lasciare le impronte degli pneumatici sul terreno lavorato dalle zappette, in quanto favorirebbe fenomeni di attecchimento delle malerbe appena scalzate. Nelle fasi di svoltata, viene abbassato questo assale e alzato il sollevatore della trattrice, in questo modo, l'intero peso viene scaricato sia sull'assale dell'attrezzatura, che su quello posteriore della trattrice, senza provocare fenomeni di impennamento della stessa. La ralla, posta esattamente equidistante fra i due assali, permette a quello dell'operatrice di seguire la stessa traiettoria della trattrice. Una particolarità è l'utilizzo di un terzo punto idraulico collegato al pistone di alzata della macchina, in cui una valvola di sovrappressione e una serie di fermi finecorsa meccanici, permettono di mantenere la macchina in assetto durante le fasi di distribuzione e in modalità flottante durante quelle di trasporto.

- Possibili vantaggi:
  - o la macchina risponde pressoché a tutti i presupposti;
  - o gli organi di lavoro seguono intimamente la traiettoria della trattrice, dando la possibilità di lavorare il terreno anche in prossimità delle piante;
  - o interrimento totale del liquame, limitando al minimo la possibilità di over-flow e quindi di emissioni ammoniacali e maleodoranti in atmosfera;
  - o durante il lavoro, il peso viene distribuito sull'intera superficie, lavorando il terreno in maniera uniforme;
  - o durante le fasi di svoltata, il peso viene distribuito uniformemente fra l'assale della macchina e quello della trattrice.

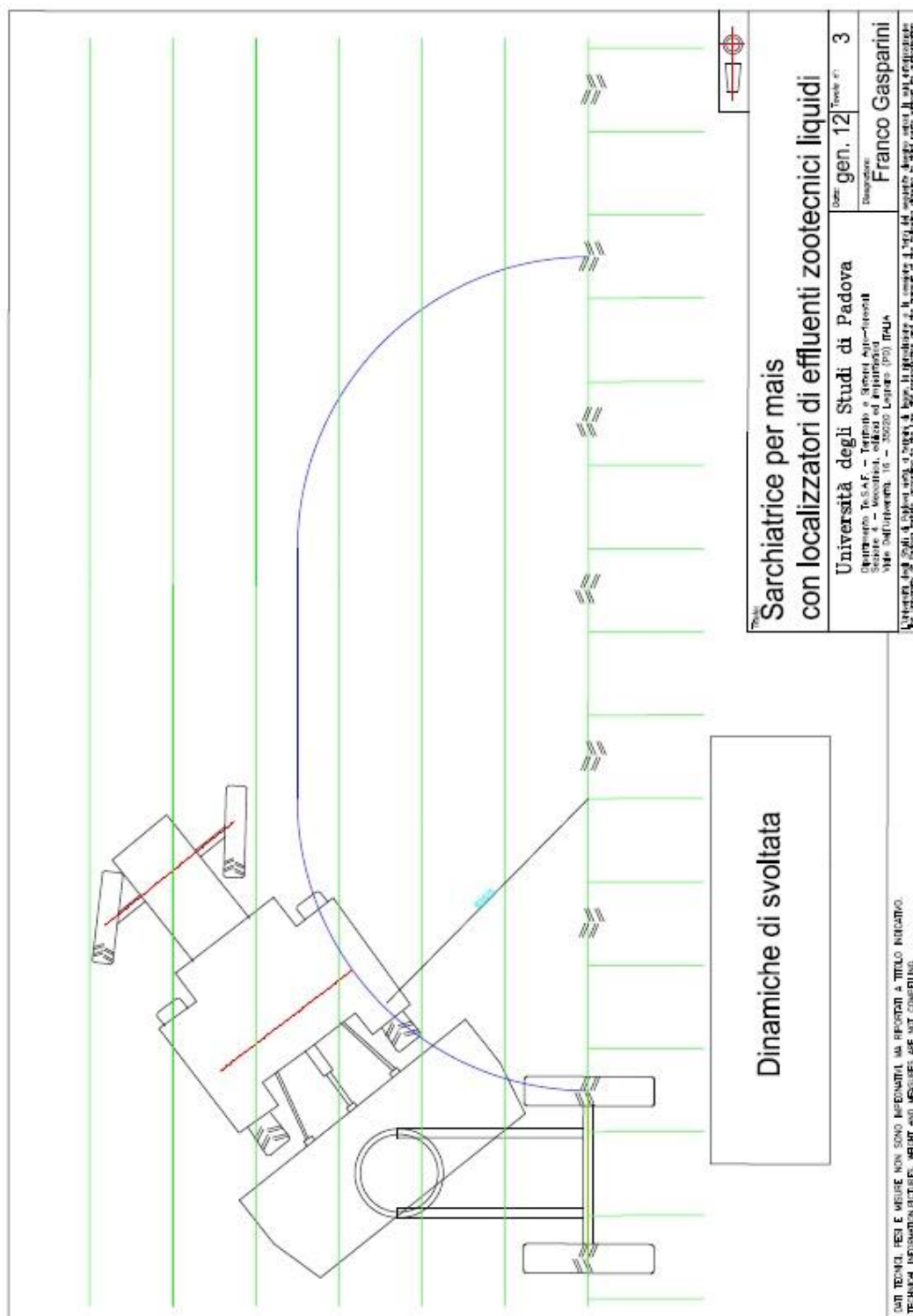
- Possibili svantaggi:
  - utilizzo di una trattrice di media potenza (75-80 kW) per la forza di sollevamento della parte di macchina gravante su di essa;
  - raggio di svoltata limitato allo sterzo della trattrice, in quanto è possibile, ma è sconsigliabile l'utilizzo dei freni indipendenti, al fine di non sollecitare troppo l'assale posteriore gravato dal peso dell'attrezzatura.



**Figura 10.5:** Tavola raffigurante il progetto della sarchiatrice spandiliquame semi-portata e in fase di lavoro.



**Figura 10.6:** Tavola raffigurante il progetto della sarchiatrice spandiliquame semi-portata e in fase di trasporto.



**Figura 10.7:** Tavola raffigurante il progetto della sarchiatrice spandiliquame semi-portata e in fase di svoltata all'interno del campo.

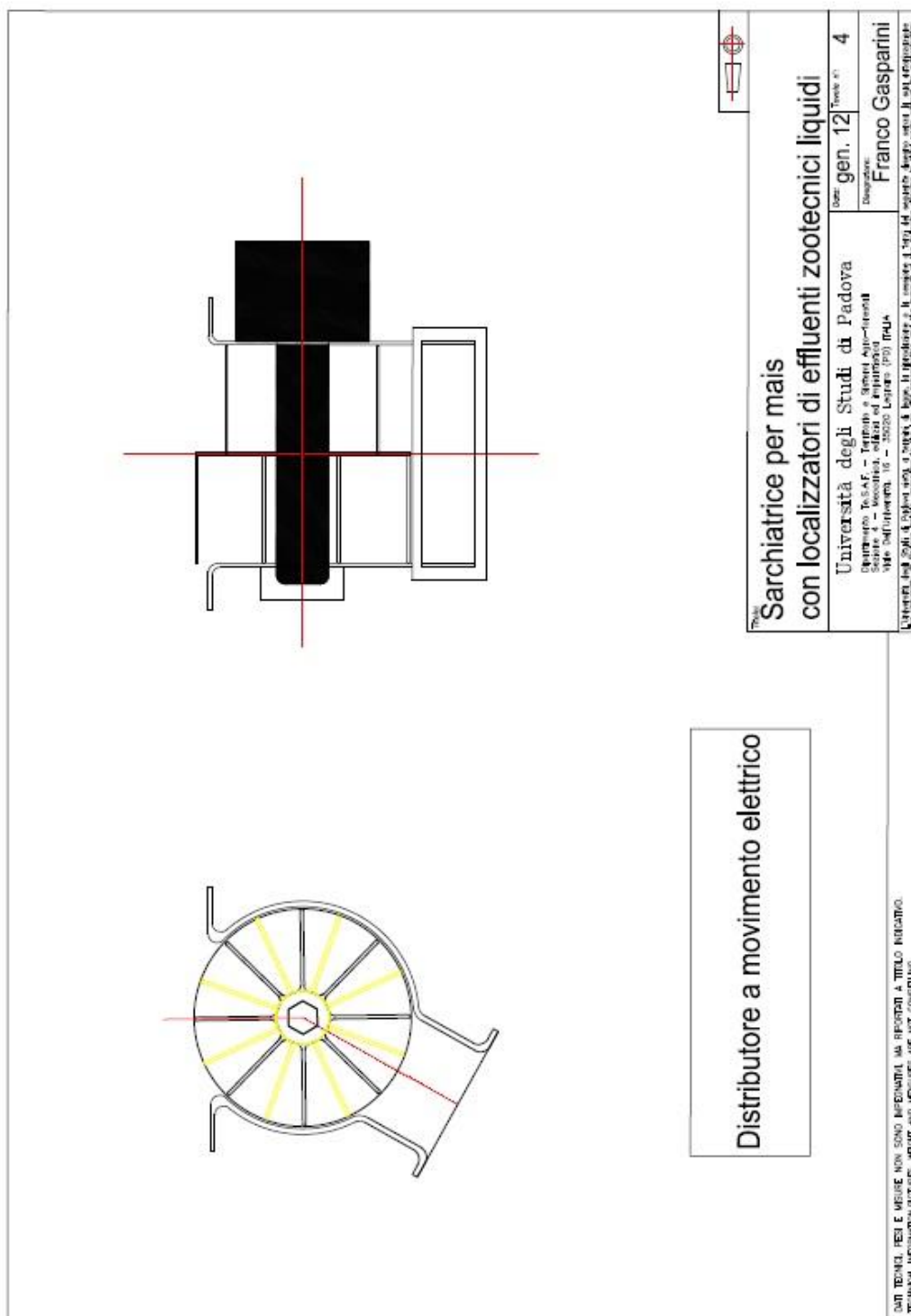


## 10.4 Prototipo di distributore per la dosatura del liquame

Il presupposto che fa scaturire l'esigenza di questo prototipo è il fatto che nei classici carri botte con sistema a pressione, è assai difficile poter effettuare una taratura. In quanto la velocità del flusso di uscita è dipendente da troppe variabili dovute al sistema, infatti è noto che il flusso varia moltissimo sia a seconda della tipologia di liquame da distribuire, che della quantità di liquame contenuto nella botte. Alternative a questo sistema, sono le soluzioni a pressione atmosferica con l'utilizzo di pompe a vite o a lobi. Queste tipologie riescono a garantire un flusso proporzionale alla velocità di rotazione, la quale però dipende dal regime della PDP della trattrice che essendo legata al regime del trattore, molto spesso non è confacente con le esigenze della velocità di avanzamento. Inoltre, hanno alcuni inconvenienti legati al fatto che l'intero flusso deve passare al loro interno, per cui si hanno alte usure e alte probabilità di rottura dovute al passaggio di possibili corpi estranei come pietre e oggetti metallici che si possono trovare accidentalmente all'interno degli effluenti zootecnici. Visto ciò, si è pensato di ipotizzare un sistema in grado di effettuare il dosaggio in maniera indipendente dal sistema di pompaggio della botte. Questo dosatore verrà posto vicino agli organi di distribuzione che verranno alimentati direttamente da esso. A questo punto il sistema di pompaggio del carro botte, sarà deputato esclusivamente alle fasi di carico della botte e di trasporto del materiale fino all'organo dosatore. Per tale progettazione è stata impiegata la metodologia di designazione mediante l'ausilio del software Autocad®.

### 10.4.1 Descrizione del componente

Esso è costituito da una girante palettata del diametro di 200 mm, incamiciata all'interno di una cassa fissa. Essa è suddivisa con un piano mediano e da ciascun lato sono saldate 8 palette equidistanti fra loro e sfalsate del 50% fra i due piani. L'apertura superiore permette il riempimento contemporaneo di due setti, i quali, girando, vanno a definire una camera chiusa con la carcassa esterna. Tale camera ha un volume interno di circa  $300 \text{ cm}^3$  per ogni setto, definendo quindi la distribuzione di 4,8 litri per ogni giro completo. Vengono riempiti e svuotati contemporaneamente due setti e la sfasatura ha la funzione di rendere quanto più possibile lineare la fuoriuscita del liquame. La camera è a tenuta stagna, per cui eventuali perdite dal sistema per eventuale trafileamento, vengono convogliate sempre verso il tubo adduttore, al quale può essere applicata una valvola che eviti fenomeni di gocciolamento durante le fasi di trasporto. Tale sistema è concepito in maniera modulare e ciascuna coppia di setti serve un solo tubo adduttore. Il movimento del rotore, può avvenire sia attraverso trasmissione meccanica con cambio di velocità collegato con una ruota solidale al terreno, sia con un sistema a motore idraulico comandato da una centralina che parzializza in maniera proporzionale all'avanzamento la quantità di olio al motore. Ma l'evoluzione più auspicabile è verso un sistema mosso da un motore elettrico il quale apre la strada verso l'implementazione di sistemi elettronici sia di controllo della dose che della sua tracciabilità.



**Figura 10.7:** Tavola raffigurante il progetto di un distributore in grado di dosare il liquame anche su caribotte già esistenti.

## 10.5 Prototipo di dispositivo per la tracciabilità della distribuzione degli effluenti zootecnici.

A seguito di un accordo nato nell'ambito delle visite aziendali intercorse durante l'anno dottorale passato, si è instaurato un rapporto di mutua collaborazione con la ditta veneta "MC ELETTRONICA s.r.l." con sede in Fiesso Umbertino (RO). Si è arrivati alla definizione progettuale di un sistema per la tracciabilità delle distribuzioni degli effluenti zootecnici.

L'intero sistema è stato progettato per poter funzionare in ambiente agricolo (temperature di esercizio, protezione all'acqua, protezione alla polvere, vibrazioni, agenti corrosivi come idrocarburi, di facile installazione, versatilità, utilizzo intuitivo e non manomissibile da operatori non autorizzati), il tutto secondo le norme ISO 14982, ottemperando a tutti gli aspetti, compresa la compatibilità elettromagnetica, fino a arrivare alla marchiatura CE e la possibilità di commercializzazione.

Sommariamente, il sistema, può essere descritto come una centralina contenente un modulo GPS in grado di definire la posizione spazio-temporale, da un componente in grado di ricevere i segnali provenienti da eventuali sensori, da un processore che elabora i dati, da un data-recorder e da un modulo di invio degli stessi tramite rete GSM, o via cavo. I sensori collegati potranno comunicare attraverso l'emissione di segnali sia digitali che analogici. La visualizzazione in tempo reale avverrà attraverso un monitor che potrà interrogare il sistema e visualizzare i dati richiesti effettuando anche piccole elaborazioni (es.: portata del flusso + velocità di avanzamento + larghezza di lavoro = quantità distribuita per unità di superficie o tempo).

Tale sistema ha come punti di particolarità: il contenimento di tutta la componentistica in un unico involucro, limitando la cavetteria lungo la trattrice, una realizzazione after-market a basso costo, di utilizzo semplice ed intuitivo.

### 10.5.1 Descrizione della componentistica

#### La centralina

La centralina sarà costituita internamente da due parti principali:

- una scheda di acquisizione dati con collegato un data-recorder;
- una scheda costituita da un apparato GPS da 1 Hz. Questa scheda avrà integrata un'antenna e una SIM telefonica, in grado di trasmettere dati attraverso la rete GSM.

Le due schede appena descritte comunicano internamente mediante una presa seriale RS 232 standard. Tali apparati sono montati all'intero di una scatola in materiale plastico, a forma di calotta sferica avente un diametro d'ingombro di 190 mm e un'altezza di 80 mm. La centralina verrà progettata con ingressi liberi anche per future applicazioni. Saranno comunque presenti tre connettori stagni aventi le seguenti funzioni e caratteristiche:

- N° 1 connettore a 12 vie per l'alimentazione, 6 ingressi digitali NPN/PNP e 2 analogici 4-20 mA;
- N° 1 connettore ausiliario a 4 vie ( +, -, CAN) per la comunicazione con un monitor LCD esterno;
- N° 1 presa seriale di tipo RS 232 da utilizzarsi per la programmazione e per gli eventuali aggiornamenti software.

### **I sensori**

La sensoristica di base, può essere ravvisabile in:

- uno o più flussometri in grado di rilevare le quantità di prodotto realmente distribuita e/o caricata;
- un rilevatore di velocità di avanzamento.

A seconda delle diverse esigenze d'impiego, può essere previsto l'impiego di ulteriori sensori come ad esempio:

- contagiri;
- contaore;
- conta impulsi;
- celle di carico;
- temperatura.

### **Il monitor**

Il monitor LCD ha la funzione di visualizzatore in tempo reale di dati pre-selezionati da impostazioni di fabbrica, oppure in versione più avanzata, può prevedere la possibilità di interazione attraverso la selezione dei parametri da visualizzare o, ulteriormente, la possibilità di restituire dati elaborati, come ad esempio la dose distribuita istantaneamente per unità di superficie o di tempo (possibilità di immettere il valore della larghezza di lavoro, elaborazione con la quantità di flusso e la velocità d'avanzamento, restituzione del valore finale facilmente interpretabile dall'operatore che può operare le possibili modifiche del caso affinché ottenga il risultato atteso).

#### **10.5.2 Descrizione funzionale dell'intero apparato.**

La centralina, acquisisce i dati provenienti dai diversi sensori, li elabora e li collega con il posizionamento puntuale GPS. Effettuato ciò, salva tali valori in un formato consono all'applicativo software che effettuerà l'elaborazione d'ufficio. A cadenza prestabilita o a interrogazione, il pacchetto di dati sarà inviato e scaricato mediante richiesta telefonica, oppure direttamente tramite cavo. Il monitor, se previsto, può interrogare il sistema in tempo reale e visualizzare i parametri richiesti.

#### **10.5.3 Tipologia di dati rilevabili.**

I dati da trasmettere, qui sotto riportati, saranno in un formato da concordare con chi si occuperà dello sviluppo del software applicativo su PC. Essi possono essere dati base, oppure dati elaborati direttamente dalla centralina o dagli altri apparati. La frequenza di tutti i parametri di base, avviene con cadenza programmabile stimata a circa 1 minuto e a ogni stringa viene rilevata contemporaneamente e abbinata ai dati di posizionamento spaziale.

Dati di base:

- nome identificativo dell'azienda e del mezzo;
- dati del GPS, quali: posizione geografica, giorno, data e ora;
- inizio e fine della sessione di lavoro;
- velocità di avanzamento (km/h);
- larghezza di lavoro della macchina (m);
- flusso di materiale in entrata e/o uscita (l/sec, m/sec).

Dati elaborati dal server o dal monitor:

- tempo di lavoro effettivo, totale e per sessione di lavoro (min);
- distanza percorsa (km, m);
- quantità distribuita, totale e per sessione di lavoro (m<sup>3</sup>, l, t, kg, etc.);
- superficie trattata, totale e per sessione di lavoro (ha);
- quantità distribuita per unità di superficie e/o tempo (l/ha, m<sup>3</sup>/ha, l/min, m<sup>3</sup>/h, etc.).

#### **10.5.4 Versatilità del sistema.**

Il prodotto, nasce per esigenze legate alla distribuzione degli effluenti zootecnici liquidi e solidi, ma potrà anche essere trasferito e riutilizzato per altre macchine agricole, come irroratrici per diserbo, concimazione liquida, spandiconcime, ecc., effettuando la corretta scelta sensoristica e dei parametri da analizzare.



**Figura 10.8:** Disegno di massima della centralina.

## 10.6 Considerazioni conclusive

Ciascun prototipo può essere realizzato e impiegato per l'applicazione nella risoluzione delle singole problematiche per le quali è stato concepito. Anche se sarebbe molto interessante poter realizzare una macchina che racchiuda in sé tutte le potenzialità dei diversi prototipi. Questo potrebbe essere possibile con la realizzazione del telaio ideato per la distribuzione in copertura, sul quale poter montare in maniera intercambiabile a seconda delle esigenze, sia gli organi per la sarchiatura che quelli per la distribuzione su fasce tampone boscate. Il tutto regolando la dose con il distributore a setti rotanti movimentato da un motore elettrico comandato dalla centralina elettronica, che oltre al controllo della dose ne effettua la completa tracciabilità.



## BIBLIOGRAFIA

**Adamchuk V.I., A.V. Skotnikov, J.D. Speichinger and M.F. Kocher**, 2003. Instrumentation system for variable depth tillage. ASAE Paper n° 031078, St. Joseph, Michigan, USA.

**Adamchuk V.I., J.W. Hummel, M.T. Morgan and S.K. Upadhyaya**, 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computer and Electronics in Agriculture*, 44: 71-91.

**Aggarwal G.C.** 1995. Fertilizer and irrigation management for energy conservation in crop production, *Energy Vol. 20, No. 8*, pp. 771-776, 1995.

**Albuzio A., P. P.** (2007). Note di uso e riciclo delle biomasse. Padova: CLEUP.

**Arogo J., Westerman P.W., Heber A.J., Robarge W.P., Classen J.J.**, 2001. Ammonia In Animal Production – A Review, ASAE Paper Number: 01-40891-51.

**Arvidsson J. e Feiza, V.**, 1998. Conventional and Ploughless Tillage Systems with Normal and Low Tyre Inflation Traffic. *Swedish Journal Agricultural Research*.

**Bakhsh A., T.S. Colvin, D.B. Jaynes, R.S. Kanwar and U.S. Tim**, 2000. Using soil attributes and GIS for interpretation of spatial variability in yield. *Transaction of the ASAE*, 43(4): 819-828.

**Balsari P.**, 2000. Le tecnologie disponibili per l'agricoltura di precisione. *L'Informatore Agrario*, 24: 61-69.

**Balsari P.**, 2003. Attrezzature innovative per la distribuzione dei fitofarmaci. In: *Forme di allevamento della vite e modalità di distribuzione dei fitofarmaci*, Balsari P. e Scienza A., Bayer CropScience s.r.l., Milano, 249-258.

**Balsari P., Airoidi G. e Gioielli F.**, 2002. Design and realization of an innovative slurry spreader. Budapest 2002.

**Balsari P., Airoidi G.**, 1991. Liquami in campo ma con giudizio, *Informatore Zootecnico*, 16: 29-36.

**Balsari P., Airoidi G.**, 1995. Liquami zootecnici, soluzione per spanderli ed interrarli. *Macchine e Motori Agricoli*, 11: 42-52.

**Balsari P., Airoidi G., Ferro A.**, 1995. Diverse modalità di distribuzione dei liquami bovini su prato: aspetti meccanici, agronomici ed economici. *Informatore Agrario* 11: 53-61.

**Balsari P., Airoidi G., Gioielli F.**, 2002. Design and realization of an innovative slurry spreader, Budapest 2002

**Balsari P., Gioielli F.**, 2003. Tecniche e attrezzature per lo spandimento dei liquami. *Informatore Agrario* 45: 71-76.

**BALSARI P., SANTORO E., AIROLDI G.**, Primi risultati ottenuti dalla separazione solido liquido, Università degli Studi di Torino, Facoltà di Agraria - DEIAFA, Racconigi (TO), 19 maggio 2005 ([http://www.regione.pmn.it/agri/dirett\\_nitrati/dwd/documentazione.pdf](http://www.regione.pmn.it/agri/dirett_nitrati/dwd/documentazione.pdf))

---

**Basso B., J. T.** 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize–alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108, 329–341.

**Basso B., Sartori L., Bertocco M. and Oliviero G.**, 2003. Evaluation of variable depth tillage: economic aspects and simulation of long term effects on soil organic matter and soil physical properties. In: *Precision Agriculture*, Stafford J. and A. Werner (eds.), Wageningen Academic Publishers. Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, 15-18 June, 2003 Berlin, Germany, p.62-67.

**Basso B., Ritchie J.T., Pierce F.J., Braga R.P. and Jones J.W.**, 2001. Spatial validation of crop models for precision agriculture. *Agricultural System*, 68: 97-112.

**Basso B., Sartori L. e Bertocco M.**, 2004. *Agricoltura di Precisione. Concetti teorici ed applicazioni pratiche*. Ed. Informatore Agrario, Verona, Italia.

**Bastgen H.M., Diserens E.**, 2009. q value for calculation of pressure propagation in arable soils taking topsoil stability into account. *Soil Tillage Research* 102, 138-143.

**Bechis S., Piccarolo P.**, 1994. Distribuzione dei liquami: Modalità di impiego e risultati delle prove, *Informatore Agrario*, 23: 35-41.

**Beck A.D., S.W. Searcy and J.P. Roades**, 2001. Yield data filtering techniques for improved map accuracy. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4): 423-431.

**Bertocco M., Bigli E. e Benini G.**, 2004. Procedura per l'acquisizione, la gestione e la mappatura dei dati produttivi. *Informatore Agrario – Speciale mietitrebbie*, 20: 39-43.

**Bing C.S. and Farrell R.E.**, 2004. Scale-dependent relationship between wheat yield and topographic indices. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 577-587.

**BIONDI P.**, 1999. *Meccanica agraria – Le macchine agricole*, UTET, Torino.

**Bisaglia C.**, 1992. *Macchine e attrezzature per la gestione delle deiezioni animali*. *Informatore Agrario* 13: 79-93.

**Bjarne J. and H. Steffen**, 2003. Intra-field variations over crops and years. *European Journal of Agronomy*, 19: 23-33.

**Blackmore B.S. and C.J. Marshall**, 1996. Yield mapping: errors and algorithm. In: *Proceedings of the 3<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture*, Robert P.C., R.H. Rust and W.E. Larson eds., ASA, CSSA and SSSA Publishers, Madison, Wisconsin, USA. 23-26 June 1996, Minneapolis, Minnesota, USA, p. 403-415.

**Blackmore S., R.J. Godwin and Fountas S.**, 2003. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering*, 84(4): 455-466.

**Bodria L., Oberti R., Vicinanza V.**, 2003. Nuove esigenze per la tracciabilità nella catena alimentare, *Informatore Agrario*, 42: 99-101.

---

**BODRIA L., PELLIZZI G., PICCAROLO P.**, 2006. Meccanica Agraria – Vol. 1 – Il trattore e le macchine operatrici, Edagricole, Bologna.

**Bonazzi G., Cortellini L., Piccinini S.**, 2001. Determinazione delle caratteristiche chimiche degli effluenti zootecnici, Liguami zootecnici, ed. l'informatore agrario: 33-48.

**Bongiovanni R. and J. Lowenberg-DeBoer**, 2004. Precision Agriculture and Sustainability. Precision Agriculture, 5: 359-387.

**Borin M.**, 2003. Strategie per l'uso ecocompatibile dei reflui zootecnici, Informatore Agrario, 45: 79-82.

**Borin M., Menini C., Sartori L.**, 1997. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in North-Eastern Italy. Soil and Tillage Research, 40, 209–226

**Bouma J.**, 1998. Precision Agriculture: a unique tool to unify production and environmental requirements in agriculture. In: Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Robert P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.), 1999. 19-22 July, St. Paul, Minnesota, USA.

**Boydell B. and A.B. McBratney**, 2002. Identifying potential within-field management zones from cotton-yield estimates. Precision Agriculture, 3: 9-23.

**Bullock D.S. and D.G. Bullock**, 2000. From agronomic research to farm management guidelines: a primer on the economics of information and precision technology. Precision Agriculture, 2: 71-101.

**Cahn M.D., J.W. Hummel and B.H. Brouer**, 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. Soil Science Society of America Journal, 58: 1240-1248.

**Cassel D.K., O. Wendroth, and D. R. Nielsen**, 2000. Assessing Spatial Variability in an Agricultural Experiment Station Field: Opportunities Arising from Spatial Dependence. Agronomy Journal, 92: 706–714.

**Castrignanò A.**, 1997. Campionamento. In: Pagliai M., Metodi di Analisi Fisica del Suolo, Angeli F. (ed), p. 1-13.

**Centro Ricerche Produzioni Animali**, 2001. Liguami Zootecnici. Edizioni l'Informatore Agrario.

**Cera M. e Sartori L.**, 1993. Lavorazioni e Trafficità. Progetto Editoriale Panda.

**Chadwick D., Laws J.**, 2002. The impact of novel slurry application techniques on ammonia emissions, silage quality and sward acceptance by grazing cattle, Iger Innovations, 6, 42-45.

**Chambers B., Nicholson N., Smith K., Pain B., Cumby T., Scotford I.**, 2001. Spreading systems for slurries and solid manures Booklet 3, ADAS, Institute of Grassland and Environmental Research e Silsoe Research Institute.

**Chen Y., Rahaman S., Ren X.**, 1999. Criteria for selecting injection depth and evaluation on existing liquid manure injection tools. ASAE paper 991112, July 18-21, Toronto, Ontario, Canada.

**Chen Y., Ren X.**, 2002. High performance tool for liquid manure injection. Soil & Tillage Research, 67:75-83.

---

**Chen Y., Tessier S.**, 2001. Criterion for design and selection of injection tools to minimize liquid manure on the soil surface, *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1421–1428.

**Chen Y., Zhang Q., Petkau D. S.**, 2001. Evaluation of different techniques for liquid manure application on grassland, *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4), 489–496.

**Chen Y.**, 2002. A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions, *Transactions of the ASAE*, 45(6), 1729–1736.

**Chiumenti R., Donantoni L., Guercini S.**, 1988. Il controllo degli odori dei liquami zootecnici, *Genio Rurale*, 5: 33-41.

**Clark R.L.**, 1996. Soil strength variability within fields. In: *Proceedings of the 3<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture*, Robert P.C. and W.E. Larson. (eds.), ASA, CSSA and SSSA Publishers, Madison, Wisconsin, USA. 19-22 June 1996, Minneapolis, Minnesota, USA, p. 201-210.

**Cora J.E., F.J. Pierce, B. Basso and J.T. Ritchie**, 1999. Simulation of within-field variability of corn yield with Ceres-Maize model. In: *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture*, Robert P.C., R.H. Rust and W.E. Larson. (eds.), ASA, CSSA and SSSA Publishers, Madison, Wisconsin, USA. 19-22 July, 1998, Minneapolis, Minnesota, USA, p. 1309-1319.

**Dalgaard T., Halberg N., Porter J.R.**, 2001, A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87, 51–65.

**De Smet J., Wontroba J., De Boodt M., Hartmann R.**, 1991. Effect of Application of Pig Slurry on Soil Penetration Resistance and Sugar Beet Emergence. *Soil<sup>3</sup> Tillage Research*.

**Decreto Ministeriale del 19 aprile 1999** recante "Approvazione del codice di buona pratica agricola" G.U. n°102 S.O. n°86 del 4 maggio 1999.

**Deike S., Pallutt B., Christen O.**, 2008. Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity, *Europ. J. Agronomy* 28 (2008) 461–470.

**Dickey, E.C., Shelton, D.P., Jasa, P.J., Petterson, T.R.**, 1985. Soil erosion from tillage system used in soybean and corn residues. *Transaction of the ASAE*, 28 (4): 1124-1140.

**Diserens E.**, 2010. Welcome to TASC!, *Agroscope ART*, Reckenholz-Taenikon, CH, pp. 74.

**Diserens E., Spiess E., Steinmann G.**, 2003. TASC : a new practical computer tool to prevent soil compaction damage in arable farming. In: *Proceedings of the international Conference on Geo-Environmental Engineering*. Singapore, pp. 85-92.

**Domsch H., T. Kaiser, K. Witze and B. Kreitz**, 2002. Variation in soil test values and electrical soil conductivity. In: *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering*, 30 June – 4 July 2002, Budapest, Hungary, p.159-160.

---

**Earl R., G. Thomas and B.S. Blackmore**, 2000. The potential role of GIS in autonomous field operations. *Computer and Electronics in Agriculture*, 25: 107-120.

**Ehlert D., S. Kraatz and H.-J. Horn**, 2003. Improvement of the pendulum-meter for measuring crop biomass. In: Program book of the joint conference of EPCA – ECPLF, A. Werner and A. Jarfe (eds.), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands. Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, 15-18 June 2003, Berlin, Deutschland, p. 199-204.

**EUROPEAN COMMISSION**, 2003. Integrated pollution prevention and control (ippc), reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs.

**Febo P., Pessina D.**, 1999. Il Compattamento del Terreno Agrario. *L'Informatore Agrario*.

**Febo P.**, 1991. Dossier Compattamento. *Macchine e Motori Agricoli*.

**Ferguson R.B., Hergert G.W., Schepers J. S. and Crawford C.A.**, 1998. Site-specific nitrogen management of irrigated corn. In: *Precision Agriculture*, Robert P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.), ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, 19-22 July, 1998, St. Paul, Minnesota, USA, p. 733-744.

**Fezzi F, Pecile A, Sartori L.**, 2007. Metodi innovativi per la distribuzione in campo. In: Pecile A. *Innovazioni nella gestione delle deiezioni zootecniche: opportunità, tecnologie, vincoli*. p. 70-79, Trento: IASMA, ISBN/ISSN: 978-88-7843-017-4.

**Fountas S., Ess D.R., Sorensen C.G., Hawkins S.E., Pederson H.H., Blackmore B.S. and Lowenberg-Deboer J.**, 2003. Information sources in precision agriculture in Denmark and in USA. In: *Precision Agriculture*, Stafford J. and A. Werner (eds.), Wageningen Academic Publishers. Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, 15-18 June, 2003 Berlin, Germany, p. 211-216.

**Gasparetto E., Passina D.**, 1998. *Macchine per la concimazione organica*. Dispense del corso di Meccanica agraria, Istituto di Meccanica agraria, Università degli Studi di Milano, A.A. 1998-99.

**Gezer I., Acaroglu M., Haciseferogullari H.**, (2003) Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey, *Biomass and Bioenergy* 24 (2003) 215 – 219.

**Giardini L. Borin M. e Berti A.**, 1999. Effetti del letame e del liquame bovino in avvicendamenti colturali a diverso livello di concimazione. *Rivista di Agronomia*, 33: 118-129.

**Giardini L.**, 1991. Problemi nell'inquinamento dei corpi idrici da parte di allevamenti zootecnici intensivi e in generale dalla concimazione dei campi, *Agricoltura e Ambiente*: 239-275.

**Giardini L.**, 2002. *Agronomia generale ambientale e aziendale*, Patron Editore, Bologna, Italia.

---

**Giardini L., Giupponi C.**, 1993. Proposta metodologica per la determinazione della capacità ricettiva del territorio per l'impiego agronomico dei liquami zootecnici, *Rivista di Agronomia*, 27: 149-159.

**Giau B.**, 1999. Prospettive economiche dell'agricoltura di precisione in Italia. In: *Acta of National Meeting: L'innovazione tecnologica per l'agricoltura di precisione e la qualità produttiva*. 22-23 June 1999, Turin, Italy, p.23-34.

**Ginting D., Moncrief J.F. and Gupta S.C.**, 2003. Performance of a variable tillage system based on interactions with landscape and soil. *Precision Agriculture*, 4: 19-34.

**Ginting D., Moncrief J.F, Gupta S.C., and Evans S.D.**, 1998a. Corn yield, runoff, and sediment losses from manure and tillage systems. *Journal of Environmental Quality*, 27: 1396-1402.

**Ginting D., Moncrief J.F, Gupta S.C., and Evans S.D.**, 1998b. Interaction between manure and tillage system on phosphorus uptake and runoff losses. *Journal of Environmental Quality*, 27: 1403.

**Godwin R.J. and Miller P.C.H.**, 2003. A review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosystems Engineering*, 84(4): 393-407.

**Godwin R.J., Richards T.E., Wood G.A., Welsh J.P. and Knight S.M.**, 2003. An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production. *Biosystem Engineering*, 84(4): 533-545.

**Guidetti A., Veneri A.**, 2000. Caratteristiche costruttive degli spandiliquame fabbricati in Italia. *Informatore Agrario* 4:83-85.

**Gumpertsberger e Jürgens**, 2003.

**Gupta R.K., Mostaghimi S., McClellan P.W., Birch J.B. and Brann D.E.**, 1997. Modeling spatial variability of soil chemical parameters for site-specific farming using stochastic methods. *Water, Air and Soil Pollution*, 110: 17-34.

**Han S., Schneider S.M., Evans R.G. and Davenport J.R.**, 2004. Block estimating of spatial yield data and its uncertainty. *Precision Agriculture*, 5: 73-84.

**Han S., Schneider S.M., Rawlins S.L., Evans R.G.**, 1997. A bitmap method for determining effective combine cut width in yield mapping, *Transaction of the ASAE*, 40(2): 485-490.

**Harmel R.D., Kenimer A.L., Searcy S.W. and Torbert H.A.**, 2004. Runoff water quality impact of variable rate sidedress nitrogen application. *Precision Agriculture*, 5: 247-261.

**Heege H.J. and Thiessen E.**, 2002. On-The-Go sensing for site-specific nitrogen top dressing. *ASAE Paper n° 021113*.

**Huijsmans, J.F.M.**, 2003. Manure application and ammonia volatilization, PhD thesis Wageningen University ISBN 90-5808-937-1.

**Hülsbergen K.-J., Feil B., Biermann S., Rathke G.-W., Kalk W.-D., Diepenbrock W.** 2001, A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86, 303–321.

---

**Isermann K. and Isermann R.**, 1998. Food production and consumption in Germany: N flows and N emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 52 (2/3): 289-301.

**Janzen D.C., Hefner R.E., Erbach D.C.**, 1985. Soil and Corn Response to Track and Wheel Compaction. *Atti "International Conference on Soil Dynamics"*, Auburn (Usa).

**Jiang P. and K. D. Thelen**, 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn–soybean cropping system. *Agronomy Journal*, 96: 252-258.

**Joernsgaard B. and S. Halmoe**, 2003. Intra-field yield variation over crops and years. *European Journal of Agronomy*, 19: 23-33.

**Kaspar T.C., T.S. Colvin, D.B. Jaynes, D.L. Karlen, D.E. James and D.W. Meek**, 2003. relationship between six years of corn yields and terrain attributes. *Precision Agriculture*, 4: 87-101.

**Krishnana M., C. A.-Q.** (2006). Adaptive modeling and control of a manure spreader for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* (52), 1–10.

**Laflen J.M., J.L. Baker, R.O. Hartwing, W.F. Buchele and H.P. Johnson**, 1978. Soil and water loss from conservation tillage systems. *Transaction of the ASAE*, 21(5): 881-885.

**Lal R., Logan T.J., Fausey N.R.**, 1989. Long-term Tillage and Wheel Traffic Effects on a Poorly Drained Mollic Ochraqualf in Northwest Ohio.1. Soil Physical Properties, Root Distribution and Grain Yield of Corn and Soybean. *Soil<sup>3</sup> Tillage Research*.

**LANDONIO S., AZZOLI G.**, 2010. Progetto Metamorfosi (METAdistretto industriale per lo sviluppo di tecnologie di MONitoraggio e controllo Remoto a Favore dello svolgimento delle Operazioni di Spandimento di effluenti zootecnici secondo logiche a basso Impatto ambientale) – Dispositivo per il monitoraggio operativo dei mezzi agricoli, scheda MHW 4, Regione Lombardia – DG Industria – Metadistretti Industriali 2007, Milano.

**Larson W., J. Lamb, B. Khakural, R. Ferguson and G. Rehm**, 1997. Potential of site specific management for non-point environmental protection. In: *The State of Site-Specific Management for Agriculture*, Pierce F.J. and E. Sadler (eds.) ASA, Madison, Wisconsin, USA, p.337-367.

**Lipiec J., Hakansson I., Tarkiewicz S., Kossowski J.**, 1991. Soil Physical and Growth of Spring Barley as Related to the Degree of Compactness of Two Soil. *Soil<sup>3</sup> Tillage Research*.

**Lowenberg-DeBoer J. and S.M. Swinton**, 1997. Economics of site-specific management in agronomic crops. In: *Precision Agriculture*, Robert et al. (eds.), ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. *Proceeding of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Precision Agriculture*, 23-26 June 1996, Minneapolis, Minnesota, USA, p. 369-395.

**Machado S., Bynum E.D., Archer T.L., Bordovsky J., Rosenow D.T., Peeterson C., Bronson K., Nesmith D.M., Lascano R.J., Wilson L.T. and**



---

**Segarra E.**, 2002. Spatial and temporal variability of sorghum grain yield: influence of soil, water, pests and diseases relationships. *Precision Agriculture*, 3: 389-406.

**Machado S., Bynum E.D., Archer T.L., Lascano R.J., Wilson L.T., Bordovsky J., Segarra E., Bronson K., Nesmith D.M. and Xu W.**, 2000. Spatial and temporal variability of corn grain yield: site-specific relationships of biotic and abiotic factors. *Precision Agriculture*, 2: 359-376.

**Maggiore T., Spallaci P., Tano F.**, 1998. Aspetti agronomici dell'impiego dei reflui zootecnici, *Rivista di Agronomia*, 32: 173-195.

**Mallarino A.P., Oyarzabal E.S. and Hinz P.N.**, 1999. Interpreting within-field relationships between crop yields and soil and plant variables using factor analysis. *Precision Agriculture*, 1: 15-25.

**MANTOVI P.**, 14 settembre 2007. La gestione dell'azoto a diverse scale in un sistema da latte: azienda, stalla, campi, Convegno Internazionale Gestione dell'azoto in conformità alla Direttiva Nitrati, Reggio Emilia, ([http://www.crpa.it/media/documents/crpa\\_www/Progetti/OptiMa-N/it/CI\\_20070914/Mantovi.pdf](http://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Progetti/OptiMa-N/it/CI_20070914/Mantovi.pdf))

**MANZONE M.**, Meccanizzazione degli impianti di biomassa legnosa a rapido accrescimento (SRF) per la produzione di energia, vol. 2, Università degli Studi di Torino, Facoltà di Agraria, Tesi di Dottorato, ciclo XIX

**Margotti A.**, 2000. Una precision farming per la concimazione azotata. *Macchine e motori agricoli*, 4: 50-51.

**Marra M., Pannell D.J. and Abadi Ghadim A.**, 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve. *Agricultural Systems*, 75: 215-234.

**Mazzetto F., Calcante A.**, 2008. Monitoraggio automatico per lo spandimento dei reflui. *L'Informatore Agrario* (40), 107-110.

**Mazzetto F., Calcante A.**, 2010. Progetto Metamorfosi (METAdistretto industriale per lo sviluppo di tecnologie di Monitoraggio e controllo Remoto a Favore dello svolgimento delle Operazioni di Spandimento di effluenti zootecnici secondo logiche a basso Impatto ambientale) – Dispositivo semplificato per la stima della concentrazione di azoto negli effluenti allo stato liquido, scheda MHW-1, Regione Lombardia – DG Industria – Metadistretti Industriali 2007, Milano.

**MAZZETTO F., CALCANTE A., SACCO P., SALOMONI F.**, Realizzazione e primi test di un sistema wireless a logica client-server per il monitoraggio operativo su scala aziendale, IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Ischia Porto, 12-16 settembre 2009, memoria n. 7-33 (scaricabile da: <http://www.aiia2009.it/CD/pdf/7-33.pdf>)

**MAZZETTO F., CALCANTE A., SALOMONI F.**, Implementazione di sistemi per il monitoraggio operativo dello spandimento di reflui zootecnici su scala territoriale: il progetto Mosaico, Workshop "Il Telerilevamento per un'agricoltura sostenibile", Centro Congressi dell'Università Cattolica del Sacro Cuore (PC), 20 aprile 2006 (presentazione Power Point scaricabile da: <http://www.crust.it/allegati/II5.pdf>)

**Mazzetto F., Landonio S.**, 1999, Le tecnologie informatiche, *Macchine e Motori Agricoli*, n.2, 51-63.

---

**Mazzetto F., Landonio S., Salvi M.**, 2000. Development of an automated modular system for slurry tanks, <http://utenti.lycos.it/savio>

**McBratney A.B. and Pringle M.J.**, 1999. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 1:125-152.

**Moal J-F.**, 1996. Volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers apres epandage. Cemagref editions, Paris.

**Mohamed S.B., Evans E.J. and Shiel R.S.**, 1996. Mapping techniques and intensity of soil sampling for precision farming. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Precision Agriculture, Robert P.C., R.H. Rust and W.E. Larson. (eds.), ASA, CSSA and SSSA Publishers, Madison, Wisconsin, USA. 23-26 June, 1996, Minneapolis, Minnesota, USA, p.217-226.

**Morris D.K., Ess D.R., Hawkins S.E., Parsons S.D.**, 1999. Development of a site-specific application system for liquid animal manures, *Applied Engineering in Agriculture*, 15: 633-638.

**Munack A., H. S.** (2001). Adaptive predictive control of liquid manure spreading. ASAE Annual International Meeting. Sacramento, California, USA: ASAE.

**Neményi M., Mesterhá P.A., Pecze Zs. and Stépán Zs.**, 2003. The role of GIS and GPS in precision farming. *Computer and Electronics in Agriculture*, 40: 45-55.

**Nielsen D.R., Wendroth O. and Pierce F.J.**, 1999. Emerging concepts for solving the enigma of precision farming research. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Robert P.C. R.H. Rust and W.E. Larson. (eds.), ASA, CSSA and SSSA Publishers, Madison, Wisconsin, USA. 19-22 July, 1998, Minneapolis, Minnesota, USA, p. 303-318.

**Payne P., Tanner D.W.**, 1959. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 4:312-325.

**Pedersen S.M., Fountas S., Blackmore B.S., Pedersen J.L. and Pedersen H.H.**, 2003. Adoption of precision farming in Denmark. In: *Precision Agriculture*, Stafford J. and A. Werner (eds.), Wageningen Academic Publishers. Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, 15-18 June, 2003 Berlin, Germany, p. 533-538.

**Pessina D.**, 1991. Come si può Ridurre il Compattamento. *Macchine e Motori Agricoli*.

**Petelkau H., Dannowski M.**, 1990. Effect of Repeated Vehicle Traffic in Traffic Lines on Soil Physical Properties, Nutrient Uptake and Yield of Oats. *Soil Tillage Research*.

**Pierce F.J. and P. Nowak**, 1999. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, 67: 1-85.

**Ping J.L., Green C.J., Zartman R.E. and Bronson K.F.**, 2004. Exploring spatial dependence of cotton yield using global and local autocorrelation statistics. *Field Crop Research*, 89: 219-236.

---

**Pringle M.J., McBratney A.B., Whelan B.M. and Taylor J.A.**, 2003. A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using yield monitor data. *Agricultural systems*, 76: 273-292.

**Rahaman S., Chen Y.**, 2001. Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. *Soil & Tillage Research*, 58: 19-29.

**Rahman S., Chen Y., Lobb D.A.**, 2002. Movement of soil by sweep injection tools, ASAE Paper Number 021141.

**Rahman, S., Chen, Y., Buckley, K., & Akinremi, W.** (2004). Slurry Distribution in Soil as influenced by Slurry Application Micro-rate and. *Biosystems Engineering*, 495–504.

**Rathke G.-W., Diepenbrock W.**, 2006, Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop, *Europ. J. Agronomy* 24 35–44.

**Rejesus R.M. and R.H. Hornbaker**, 1999. Economic and environmental evaluation of alternative pollution-reducing nitrogen management practices in central Illinois. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 75: 41-53.

**Rosato P., Fantinato L., Lazzaro B., De Rosa F.**, 2008. Programma Interregionale “Monitoraggio direttiva Nitrati” – seconda fase – Modulo:5, Strategie di gestione integrata degli effluenti zootecnici. Rapporto definitivo.

**Roberts R., B. English and S. Mahajanashetti**, 2001. Environmental and economic effects of spatial variability and weather. In: *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference on Precision Agriculture*, Blackmore S. and G. Grenier (eds.), Montpellier, France, p. 545-550.

**Rosenberger A., Kaul H.-P., Senn T., Aufhammer W.**, 2001, Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals: the effect of crop production intensity, *Applied Energy*, 68 51-67.

**Sandri R., Anken T., Hilfiker T., Sartori L., Bollhalder H.**, 1998. Comparison of methods for determining cloddiness in seedbed preparation, *Soil Tillage Reserce*, 45: 75-90.

**Sangiorgi F. et al.**, 2000. Distribuzione dei Reflui. Progetto Di.Re.Zo.

**Sangiorgi F.**, 2000. Di.Re.Zo. Distribuzione Reflui Zootecnici. Regione Lombardia, Direzione Generale Agricoltura.

**Sangiorgi F., Balsari P., Bonfanti P.**,1986. Reflui Zootecnici: possibili trattamenti in vista dell'impiego agronomico, Edagricole, Bologna, Italia.

**Sartori L., Bertocco M.**, 2002. Cerere seminatrice polivalente ed eclettica. *Macchine e motori agricoli*, 11: 93-101.

**Sartori L.**, 2000. “Conservation tillage” all'italiana. *Terra e Vita – Speciale lavorazioni del terreno*, 27: 40-45.

---

**Sartori L., Bertocco M.**, 2003. Stato attuale e prospettive delle tecnologie applicate all'agricoltura sito-specifica in Italia, Atti Convegno Soc. It. Agronomia "Qualità integrale": il ruolo della ricerca agronomica, Facoltà di Agraria Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici (NA), 16-18 settembre 2003.

**Sartori L., Rizzo S.**, 1999. Aspetti tecnologici dell'AP possibilità e prospettive, Bologna (Granoitalia) 16-17 settembre 1999.

**Sartori L., Rota M.**, 2006. Come ridurre le perdite di ammoniaca. L'informatore Agrario, vol. 40; p. 33-36.

**Schellberg J., R. L.** (2009). A site-specific slurry application technique on grassland and on arable crops. *Bioresource Technology* , 280–286.

**Schellberg J., M. J.** (2008). Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy* (29), 59–71.

**Schmerler J. and M. Basten**, 1999. Cost/benefit analysis of introducing site-specific management on a commercial farm. In: Precision Agriculture '99, Stafford J.V. (ed.), Sheffield Academic Press, Sheffield, United Kingdom, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Conference on Precision Agriculture, 11-15 July 1999, Odense, Denmark, p. 959-967.

**Schreoder, J.** (2005). Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresource Technology* (96), 253–261.

**SCOTTON M.**, 1989. Fondamenti di fisica applicata alle macchine agricole, Edagricole, Bologna.

**Sharpe R.R. and Harper L.A.**, 1997. Ammonia and nitrous oxide emission from sprinkler irrigation applications of swine effluent. *Journal of Environmental Quality* 26:1703-1706.

**Smith K.A., Jackson D.R. e Withers P.J.A.**, 2001. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 1 Nitrogen. *Environmental Pollution*, 112: 41-51.

**Smith K.A., Jackson D.R. e Withers P.J.A.**, 2001. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land.2 Phosphorus. *Environmental Pollution*, 112: 53-60.

**Smith, K.A., Jackson D.R., Misselbrook T.H., Pain B.F. and Johnson R.A.**. 2000. REDUCTION OF AMMONIA EMISSION BY SLURRY APPLICATION TECHNIQUES. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77(3):277-287.

**Snyder C., Havlin J., Kluitenberg G. and Schroeder T.**, 1998. Evaluating the economics of precision agriculture. In: Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Robert P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.), ASA, CSSA and SSSA Publishers, Madison, Wisconsin, USA. 19-22 July, 1999, St. Paul, Minnesota, USA.

**Soane B.D.**, 1994. Soil compaction in crop production. pp 417 – 428. Elsevier.

**Soane B.D.**, 1990. The Role Of Organic Matter in Soil Compactability: a Review of Some Practical Aspects. *Soil<sup>3</sup> Tillage Research*.

---

**SOLDANO M.**, Biogas: i parametri tecnico economici per lo studio di fattibilità, Centro Ricerche Produzioni Animali - Settore Ambiente, Piacenza, 20 marzo 2009 ([http://www.crpa.it/media/documents/crpa\\_www/Progetti/Seq-Cure/19-20\\_3\\_09\\_Corso/Soldano\\_20-03-09\\_fatt.pdf](http://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Progetti/Seq-Cure/19-20_3_09_Corso/Soldano_20-03-09_fatt.pdf))

**Sorensen P. e Amato M.**, 2002. Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *European Journal of Agronomy*, 16: 81-95.

**Stafford J.V.**, 1993. Precision arable agriculture: sensing and control requirements. *Meas. Control*, 26: 202-205.

**Stafford J.V.**, 1999. An investigation into the within-field spatial variability of grain quality. In: *Precision Agriculture '99*, Stafford J.V. (ed.), Sheffield Academic Press, Sheffield, United Kingdom, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Conference on Precision Agriculture, 11-15 July 1999, Odense, Denmark, p.353-361.

**Stafford J.V., Ambler B., Lark R.M. and Catt J.**, 1996. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 14: 101-119.

**Stuevel J. M., Schoen H. G. and Lehmann B.**, 2003(a). Examining the EGNOS – reference signal under field condition for track navigation. In: Program book of the joint conference of EPCA – ECPLF, Werner A. and A. Jarfe (eds.), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, 15-18 June, 2003, Berlin, Germany, p. 577-579.

**Stuevel J. M., Schoen H. G. and Lehmann B.**, 2003(b). Assessing the EGNOS – correction signal for point positioning. In: Program book of the joint conference of EPCA – ECPLF, Werner A. and A. Jarfe (eds.) (Wageningen Academic Publishers). Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, 15-18 June, 2003 Berlin, Germany, p. 581-582.

**Sudduth K.A., Drummond S.T., Birrel S.J. and Kitchen N.R.**, 1996. Analysis of spatial factors influencing crop yield. In: Proceeding of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Precision Agriculture. Robert P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.), ASA, CSSA and SSSA Publishers, Madison, Wisconsin, USA, June 23-26, Minneapolis, Minnesota, USA, 1: 129-140.

**Sullivan M., Ehsani M.R., Walker J.T., Levison P. and Lang L.**, 2001. Accuracy and availability of WAAS for Precision Agriculture. ASAE Paper n° 011155.

**Tabaglio V., Cortellini L. e Spallaci P.**, 1992. Uso agronomico dei liquami per una zootecnica a minor impatto ambientale. *Informatore Agrario*, 18: 33-42.

**Tabaglio V., Ligabue M.**, 1998. Confronto fra le diverse modalità di distribuzione dei reflui zootecnici su prato stabile, *Rivista di Agronomia*, 32: 221-230.

**Tabaglio V., Spallaci P.**, 2001. I principi agronomici della concimazione con effluenti zootecnici, in: *Liquami zootecnici* (ed. l'Informatore Agrario), 233-257.

**Teixeira C.A., de Lacerda Filho A.F., Pereira S., de Souza L.H., Russo J.R.**, 2005, Balanço energético de uma cultura de tomate, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9.(3), 429-432, 2005.

**Thirion F., Soullignac V. et Le Bozec G.**, 2000. Apport des technologies de l'information pour la gestion des épandages des effluents de l'élevage, Agriculture et Environnement: 83-98.

**Thiron F., Chabot F.**, 2003, Epandage des boues résiduelles et effluents organiques. Matériels pratiques, CEMAGREF Editions, Paris.

**Thrikawala S., Weersink A., Kachanoski G. e Fox G.**, 1999. Economic feasibility of variable rate technology for nitrogen on corn. American Journal of Agricultural Economics, 81: 914-927.

**Timlin D.J., Pachepsky Y., Snyder V.A. and Bryant R.B.**, 1998. Spatial and temporal variability of corn grain yield on a hillslope. Soil Science Society of America Journal, 62: 764-773.

**Trindade H., Coutinho J., Jarvis S., Moreira N.**, 2001. Nitrogen mineralization in sandy loam soil an intensive double-cropping forage system with dairy-cattle slurry application, European Journal of Agronomy, 15: 281-293.

**UNI EN 13080:2003** - Macchine agricole: Spandiletame – Protezione ambientale, Requisiti e metodi di prova per la precisione di spargimento.

**UNI EN 13406:2003** – Macchine agricole: Spandiliquame e dispositivi di spargimento – Protezione ambientale, Requisiti e metodi di prova per la precisione di spargimento.

**Van Alphen B.J. and Stoorvogel J.J.**, 1998. A methodology to define management units in support of an integrated, model-based approach to precision agriculture. In: Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Robert P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.), ASA, CSSA and SSSA Publishers, Madison, Wisconsin, USA. 19-22 July, 1999, St. Paul, Minnesota, USA.

**Voßhenrich H.-H. and Sommer C.**, 2003. Site-specific primary tillage and cultivation. In: Precision Agriculture, Stafford J. and A. Werner (eds.), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, 15-18 June, 2003 Berlin, Germany, p. 324.

**Vrindts E., Reyniers M., Darius P., De Baerdemaecker J., Gilot M., Sadaoui Y., Frankinet M., Hanquet B. and Destain M.F.**, 2003. Analysis of soil and crop properties for precision agriculture for winter wheat. Biosystems Engineering, 85(2): 141-152.

**Wang D., Prato T., Qiu Z., Kitchen N.R. e Sudduth K.A.**, 2003. Economic and environmental evaluation of variable rate nitrogen and lime application for claypan soil fields. Precision Agriculture, 4: 35-52.

**Watkins K.B., Lu Y.C. and Huang W.Y.**, 1998. Economic return and environmental impacts of variable rate nitrogen fertilizer and water application. In: Precision Agriculture, Robert et al. (eds.), ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, 19-22 July, 1998, St. Paul, Minnesota, USA, p.1671-1679.

**Werner A.**, 2003, Preface. In: Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF, Werner A. and Jarfe A. (ed.), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, 15-18 June, 2003 Berlin, Germany, p.41-43.

**Whelan B.M. and McBratney A.B.**, 1997. Sorghum grain flow convolution within a conventional combine harvester. In: Precision Agriculture '97, Stafford J.V. (ed.), Sheffield Academic Press, Sheffield, United Kingdom, Proceeding of the 1<sup>st</sup> European Conference on Precision Agriculture. Oxford, UK, p. 759-766.

**Zentner R.P., Stumborg M.A., Campbell C.A.**, 1989, Effect of Crop Rotations and Fertilization on Energy Balance in Typical Production Systems on the Canadian Prairies, Agriculture, Ecosystems and Environment, 25, 217-232 217

**Zhang Q. and Han S.**, 2002. An information table for yield data analysis and management. Biosystems Engineering, 83(3): 299-306.