

3

LA LOGISTICA DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO: CONFERIMENTO E DISTRIBUZIONE

Indice

3

La logistica degli effluenti di allevamento: conferimento e distribuzione

■ 3.1	Il trasporto extra-aziendale.....	pag. 49
3.1.1	Trasporto extra-aziendale su ruote	» 49
3.1.2	La geolocalizzazione di un centro di riferimento.....	» 50
3.1.3	Trasporto extra-aziendale su tubazioni.....	» 50
3.1.4	Un confronto fra trasporto a ruote e rete di tubazioni	» 51
■ 3.2	Trasporto e distribuzione intra-aziendale	» 52
3.2.1	Le emissioni di ammoniaca in fase di distribuzione	» 53
3.2.2	Il compattamento del terreno nella distribuzione....	» 53
3.2.3	Proposte progettuali per attrezzature di distribuzione di reflui su colture in atto	» 54
■ 3.3	Aspetti funzionali ed economici di trasporto e distribuzione degli EA	» 55
3.3.1	Il caso dei palabili.....	» 55
3.3.2	Il caso degli EA liquidi.....	» 56
■ 3.4	La tracciabilità nella movimentazione degli effluenti.....	» 59
■ 3.5	Considerazioni conclusive	» 63

Autori

Luigi Sartori (*referente scientifico*)

Marco Bietresato

Franco Gasparini

3 La logistica degli effluenti di allevamento: conferimento e distribuzione

In agricoltura la logistica gioca oggi un ruolo importante, dato che in questo settore nuove sfide – quali globalizzazione, tracciabilità, distribuzione del prodotto locale, macchine di raccolta ad elevata capacità, impatto ambientale – e nuove opportunità – connesse a filiere agro energetiche, tecnologie *Global Navigation Satellite System* (GNSS), commercio elettronico, metodi innovativi di ricerca operativa, tecnologie informatiche e di comunicazione – richiedono un’ottimizzazione nel flusso di *input* e *output* e delle informazioni ad essi correlate.

Nella catena di fornitura alimentare ed agricola, inoltre, il *trasporto* è un elemento chiave in relazione al compito di provvedere ad un servizio essenziale per la società.

Al contempo, tuttavia, il trasporto è responsabile di effetti negativi sull’ambiente. Ciò evidenzia l’importanza degli sforzi per migliorarne l’efficienza economica così come quella ambientale.

In particolare, la logistica applicata alla gestione degli effluenti di allevamento (EA) porta a considerare molteplici aspetti, essenzialmente legati al flusso del materiale in entrata degli impianti di trattamento e a quello in uscita da questi verso la distribuzione in campo.

Il trasporto in entrata e in uscita dagli impianti (che potremo definire extra-aziendale) può essere eseguito con veicoli a ruote oppure con infrastrutture fisse, come le tubazioni. Lo stesso vale per il trasporto intra-aziendale, dove l’utilizzo di veicoli o tubazioni condiziona anche la scelta delle attrezzature utilizzate nella fase di distribuzione. Tale fase prevede comunque la presenza di unità primarie addette alla distribuzione vera e propria e, nel caso dei cantieri separati, anche di unità di servizio per il trasporto su strada, o da impianti di alimentazione per il trasporto con tubazioni.

Si prospettano quindi problematiche distinte secondo la soluzione adottata, relative al trasporto su strada o su tubazioni. Nell’affrontare la casistica riferita alla prima soluzione assume rilievo il *Vehicle Routing Problem*¹ (VRP), con l’obiettivo di minimizzare i percorsi e razionalizzare i mezzi di trasporto in modo da ridurre i costi e l’impatto ambientale; nella soluzione del trasporto con tubazioni si rende necessaria l’individuazione della rete più corta, che colleghi i punti di prelievo dell’effluente con il punto di conferimento.

Compito della “logistica applicata alla gestione degli effluenti” è anche l’individuazione delle distanze massime economicamente sostenibili per il loro trasporto. Tali indicatori dipendono essenzialmente dal valore intrinseco del

prodotto e dalle quotazioni di mercato dei fertilizzanti minerali di cui il liquame è un surrogato.

3.1 Il trasporto extra-aziendale

3.1.1 Trasporto extra-aziendale su ruote

Un sistema di trasporto destinato a movimenti “interno-esterno” (vale a dire tra centro aziendale e mondo esterno, nello specifico tra singola azienda e centro di conferimento dell’effluente) oppure “esterno-interno” (percorso contrario al precedente, e quindi dal mondo esterno, in particolare dal centro di trattamento alla superficie aziendale), sia esso una macchina semovente autonoma (quindi dotata di motore) o non autonoma (rimorchio da attaccare al trattore oppure ad altri veicoli), va scelto e dimensionato sulla base di esigenze tecniche e vincoli diversificati e conseguenti all’utilizzo che se ne deve fare.

Il sistema di trasporto dipenderà quindi da quanto segue:

- tipologia del carico trasportato, in termini di caratteristiche fisiche, strutturali e chimiche;
- quantità di carico da trasportare, in termini massivi e/o volumetrici, e distanza media di trasporto;
- caratteristiche della macchina motrice, animazione degli eventuali dispositivi ausiliari e velocità media che il carico deve tenere;
- caratteristiche del suolo tipico di percorrenza del mezzo e delle carreggiate che esso dovrà percorrere;
- tipologia delle operazioni da effettuare per il carico e lo scarico e capacità di lavoro desiderata dei mezzi preposti a tali operazioni;
- capacità delle stazioni di accumulo del materiale a monte e a valle del trasporto;
- sicurezza degli operatori;
- necessità di sistemi di misurazione e di tracciatura delle quantità movimentate e di analisi del carico trasportato.

I sistemi di trasporto su ruote possono essere di tipo:

- *autonomo*: camion tipo “autobotti” (per liquidi), autocarro (a 2, 3 o 4 assi), autoarticolato o autotreno (per i solidi);
- *non autonomo*: rimorchi o “carri botte” monoasse, a 2 o 3 assi più o meno ravvicinate o sterzanti.

La loro capacità media nominale varia da 4,4 t per un assale a 20 t per tre assali. Per il trasporto del liquame la tabella 1 riporta le potenze richieste e i relativi consumi orari.

¹ Il *Vehicle Routing Problem* (VRP) è un tipico problema operativo nelle reti di distribuzione e consiste nello stabilire i percorsi di una serie di veicoli per servire un insieme di clienti. I veicoli hanno determinate caratteristiche e devono visitare un insieme di clienti (anche essi con determinate caratteristiche) distribuiti all’interno di una rete di trasporto a partire da uno (o più) depositi centrali.

Tabella 1 – In funzione della capacità media dei trasportatori, si riportano i principali dati relativi alle potenze richieste, i consumi e le emissioni

Indicatori considerati	Capacità media nominale dei trasportatori (m ³)		
	4,4	10,6	19,9
Massa stimata (kg)	6.548	15.229	20.900
Forza su terra battuta (N)	2.731-4.097	5.475-8.213	9.592-14.388
Forza su strada (N)	683-2.048	1.369-4.106	2.398-7.194
Velocità su terra battuta (km/h)	20	20	20
Velocità su strada (km/h)	40	40	40
Potenza minima richiesta (kW)	15-23	30-46	53-80
Consumi orari (kg/h)	10,90	18,68	34,50
Consumi assoluti (l)	1 km	0,32	0,55
	5 km	1,60	2,75
	15 km	4,81	8,24
Consumi unitari (g/m ³)	1 km	0,07	0,05
	5 km	0,36	0,26
	15 km	1,09	0,78
Emissioni di CO ₂ (kg) assolute	1 km	0,85	1,45
	5 km	4,23	7,25
	15 km	12,69	21,75
Emissioni di CO ₂ unitarie (g/m ³)	1 km	0,19	0,14
	5 km	0,96	0,68
	15 km	2,88	2,05

I consumi di gasolio crescono all'aumentare della quantità trasportata e della distanza. In particolare si passa da 0,32 a 1,01 l/km rispettivamente per trasporto su carbotte di bassa portata (4,4 m³) e di elevata portata (20 m³). Dal punto di vista unitario, i consumi per m³ di liquame trasportato dimostrano che non è conveniente il trasporto con mezzi di piccole dimensioni e che i consumi unitari, nel caso di capacità medie (10 m³) e alte (20 m³), sono simili. Riduzioni di circa il 5% nei consumi si ottengono utilizzando trattatrici dotate di cambio a variazione continua rispetto a quello a rapporti fissi.

3.1.2 La geolocalizzazione di un centro di conferimento

La minimizzazione dei percorsi si ottiene individuando il sito ottimale per il trattamento in un ambito territoriale esteso (geolocalizzazione), essendo la rete stradale e podere una struttura poco modificabile. Per questo, i siti di collocazione degli impianti di trattamento degli EA dovrebbero avere le seguenti caratteristiche:

- essere quanto più possibile vicini sia ai produttori di deiezioni zootecniche (aziende zootecniche, *sources*) sia ai fruitori (aziende agricole, *sinks*);
- essere collegati e possibilmente adiacenti alla rete stradale;
- essere quanto più possibile distanti dai centri abitati (per il traffico dei mezzi di trasporto e il rilascio di odori molesti nell'atmosfera).

Nell'ambito del Progetto RiduCaReflui il problema logistico di minimizzazione dei percorsi è stato affrontato per successive approssimazioni; in particolare si è messa a punto un metodologia adatta a raggiungere i seguenti obiettivi:

- definire la procedura matematica per la ricerca di una posizione candidata al posizionamento dell'impianto di trattamento;

- definire la funzione obiettivo in un problema di logistica, partendo da una formulazione basata sulle distanze per arrivare a tenere in considerazione i costi di trasporto;
- attribuire un'importanza differenziata alle sorgenti e destinazioni (*sources and sinks*) sulla base della quantità di materia movimentata da e verso di essi e della stagionalità delle produzioni;
- definire un approccio che tenga in considerazione la rete stradale esistente e quindi i percorsi reali che i trasporti devono necessariamente seguire in luogo delle distanze in linea retta.

3.1.3 Trasporto extra-aziendale su tubazioni

La messa in opera di un sistema di tubazioni per la raccolta dei reflui zootecnici costituisce un'alternativa interessante sotto molti punti di vista, al sistema costituito da vettori su ruote. La presenza di una rete di tubazioni consente infatti di non incrementare il traffico sulle strade, con ripercussioni benefiche su congestione stradale, manutenzione del manto carrabile, emissioni in atmosfera di gas di combustione generati dai motori e di altri gas provenienti dal carico trasportato, durante le operazioni di movimentazione e in caso di sversamento. Per quanto riguarda il funzionamento, inoltre, una rete di tubazioni non è influenzata dalle condizioni meteorologiche e di traffico, essendo protetta, in caso di interrimento, anche dalle escursioni termiche estreme. Per contro, un tale sistema logistico, essendo di tipo infrastrutturale (*capital-intensive*), comporterebbe:

- elevati costi d'investimento iniziale (imputabili all'acquisto delle tubazioni, allo scavo delle trincee, alla posa in opera, 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;
- ridotti costi di manutenzione e di personale (che risulterebbe impiegato solamente per sorvegliarne il funzionamento ed eseguire la manutenzione).

La considerevole durata prevista per tale sistema, unitamente alla scarsa flessibilità ai cambiamenti delle condizioni operative che lo caratterizza (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 premesse necessarie a considerarlo per il conferimento dei reflui zootecnici siano le seguenti:

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

3.1.4 Un confronto fra trasporto a ruote e rete di tubazioni

I modelli matematici messi a punto per affrontare il problema di minimizzazione dei costi di conferimento sono stati applicati in un caso di studio individuato in una cooperativa lattiera (in provincia di Vicenza) comprendente 32 aziende agro-zootecniche tra le 400 aziende socie del Consorzio. In questa struttura il numero di capi per stalla varia da 32 a 400, la media è di 103 bovini da latte per allevamento. La distribuzione geografica delle aziende interessate copre un areale rettangolare di circa 23x44 km, con una superficie coperta di circa 1.000 km². Le aziende si trovano quasi tutte in provincia di Vicenza e per la maggior parte nelle vicinanze dello stabilimento centrale (distanza media dallo stabilimento, calcolata in linea retta, di poco inferiore agli 8 km).

Il sistema di conferimento dei reflui ipotizzato nell'ambito del *trasporto su strada*, si basa su carro botte trainato a tre assi da 24 m³. Stimata la produzione giornaliera di latte e calcolate le distanze minime di ciascun allevamento dal centro di conferimento (pressoché coincidente con il baricentro calcolato teoricamente), è stato possibile stimare:

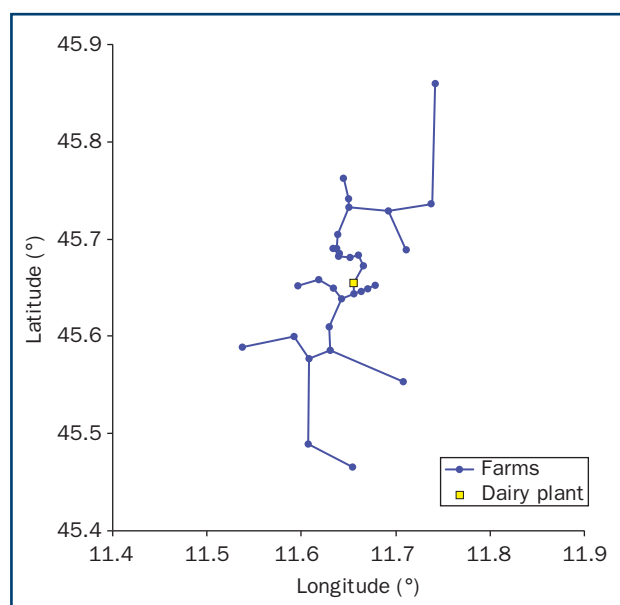
- il numero di viaggi effettuati dal trasportatore in un anno;
- il numero di chilometri percorsi;
- il costo totale annuo e i costi unitari di trasporto.

Sempre con metodologie indirette sono stati calcolati i consumi e le emissioni di CO₂ attraverso la stima della massa complessiva del carrobotte, il suo coefficiente di rotolamento su strada, la richiesta di potenza e i rendimenti termodinamici del trattore utilizzato.

La progettazione della *rete di tubazioni* si è orientata verso la minimizzazione del tracciato complessivo seguito dalle condotte piuttosto che verso la minimizzazione delle portate intercettate da ciascun ramo della rete. La morfologia della rete di convogliamento delle deiezioni risulta quindi "ramificata" (molte confluenze, pochi rami in ingresso allo stabilimento di raccolta) piuttosto che "stellata" (poche confluenze, tracciati che congiungano quanto più possibile in maniera diretta i singoli allevamenti con il punto di raccolta).

Tracciando le possibili connessioni fra i 32 allevamenti e lo stabilimento centrale, ed assegnando a ciascuna connessione un peso pari alla distanza euclidea tra i punti connessi, emerge che dal punto di vista topologico la soluzione del problema è rappresentata da un albero ricoprente avente costo minimo e ramificazioni poste in corrispondenza agli allevamenti, ovvero da un *albero di supporto minimo* (*Minimum Spanning Tree*) (Figura 1).

Figura 1 - Proposta di rete per il convogliamento dei reflui zootecnici verso lo stabilimento vicentino considerato



Nella scelta dei diametri delle tubazioni si sono di volta in volta sommati i capi equivalenti dovuti alle confluenze e alle produzioni del nodo di confluenza e si sono calcolate le portate di reflui in transito secondo dei coefficienti tabellari. Si sono inoltre considerati i costi relativi allo scavo e all'acquisto delle tubazioni, oltre che la ripartizione dei costi di costruzione sui reflui zootecnici movimentati.

La comparazione tra i due sistemi di conferimento viene sintetizzata nella tabella 2, da cui emergono le seguenti considerazioni:

- il sistema di trasporto che fa uso di *vettori su strada* è economicamente più conveniente del sistema basato sull'impiego di una rete di tubazioni, sia in termini di costo annuo totale, sia in termini di costi unitari (per unità di massa e di lunghezza); il rapporto tra i costi dei due sistemi si attesta su un fattore 2 e la differenza è dovuta alla diversa entità degli investimenti richiesti nei due casi;

- il sistema di conferimento basato sull'impiego di *rete di tubazioni* richiede quasi la metà dell'energia richiesta dai vettori stradali e complessivamente emette poco più di un terzo dell'anidride carbonica emessa dal sistema di convogli "trattore con carro botte"; questo fatto è dovuto alla grande differenza tra il rendimento del sistema "centrale elettrica ed elettrodotti" (58,5%), nei confronti del rendimento di un motore endotermico a ciclo Diesel (36,7%, poco meno dei due terzi del precedente).

In base a quanto appena esposto si può quindi concludere quanto segue. In una realtà privata o consortile, ma comunque locale, la mera convenienza economica suggerisce l'implementazione di un sistema di trasporti basato su vettori stradali del tipo "trattore con carro botte". In un ambito istituzionale regionale o nazionale vengono considerate anche questioni legate al Mercato delle Emissioni (Direttiva 2003/87/CE), all'ecologia globale della soluzione, oppure al contenimento dei consumi e delle importazioni nazionali di combustibili fossili e, conseguentemente, la soluzione della rete di tubazioni è senz'altro da preferire.

Tabella 2 - Valori riassuntivi tecnici ed economici per il conferimento dei reflui ad opera di un vettore gommato piuttosto che di una rete di tubazioni

Quantità	Unità di misura	Valore		
		Vettore gommato	Rete di tubazioni	Variazioni rispetto al vettore gommato (%)
Liquami movimentati	t/anno	35.982		
Distanza totale	km/anno	34.227	99	
Costo totale annuo	€/anno	132.624	265.279	+ 100
Costo per unità di massa	€/t	3,69	7,37	+ 99
Costo per unità di lunghezza	€/km	3,87	-	
Potenza totale installata	kW	165	266	+ 61
Energia consumata in un anno	kWh	151.352	91.792	- 39
Gasolio consumato	l/anno	41.181	15.663	- 62
Emissioni di CO ₂ , annuali	kg/anno	127.907	48.650	- 62
Energia totale teorica di combustione (P.C.I. = 42.4 MJ/kg)	MJ/anno	1.484.153	564.502	- 62
	kWh/anno	412.265	156.806	- 62
Rendimento medio	-	0,367	0,585	+ 59

3.2 Trasporto e distribuzione intra-aziendale

Secondo le caratteristiche del refluo da trasportare (materiale liquido tal quale o trattato, oppure materiale palabile come letame, pollina, *compost* o separato) i cantieri cambiano, ma fondamentalmente le configurazioni possono prevedere la distribuzione congiunta con il trasporto oppure quella in cui trasporto e distribuzione sono separati. 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 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 nei pressi degli appezzamenti con le varie soluzioni previste per il carico e la distribuzione in campo.

Le migliori tecnologie per il trasporto e la distribuzione sono quelle che, a fianco di prestazioni funzionali (produttività, tempestività) ed economiche ottimali, consentono di ottenere anche i seguenti obiettivi:

- conoscenza del prodotto che si distribuisce;
- possibilità di distribuire in maniera uniforme e nelle quantità previste;
- riduzione del compattamento del terreno;
- aumento del periodo di utilizzazione agronomica;
- riduzione degli odori e delle perdite di ammoniaca.

Per i *materiali solidi*, il trasporto viene effettuato generalmente con autocarri o autoarticolati della portata utile rispettivamente di 13 o 32 t, oppure con rimorchi agricoli di capacità non inferiore a 14 t. La distribuzione avviene con spanditori aventi capacità compresa tra 6 e 28 m³, che si caratterizzano anche in funzione delle tipologie del sistema di distribuzione e alimentazione.

Sono presenti attrezzature:

- 1) a spandimento posteriore:
 - a) a disco singolo o doppio: buona larghezza di lavoro e regolarità di distribuzione;
 - b) a rotori orizzontali: bassa larghezza di lavoro;
 - c) a rotori verticali: larghezza di lavoro di 6-8 m;
 - d) a barra: larghezza di 6-8 m con distribuzione molto regolare.
- 2) a spandimento anteriore laterale:
 - a) a disco singolo orizzontale;
 - b) a disco singolo verticale;
 - c) a rotore.

Nella gestione dei *materiali liquidi* la fase di trasporto fino agli appezzamenti può avvenire con diverse modalità:

- carbotte trainate da trattori (cantieri riuniti o separati);
- autobotte semovente (navette, solo per cantieri separati);
- tubazioni (sistema ombelicale).

La fase di distribuzione prevede la deposizione del liquame superficiale o rasoterra, leggermente in profondità (sottosuperficiale a solco chiuso o aperto), o in profondità e ad ogni modalità corrispondono attrezzature specifiche. Se una coltura è presente (prato o in copertura), anche se la 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 (terreno nudo), 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.

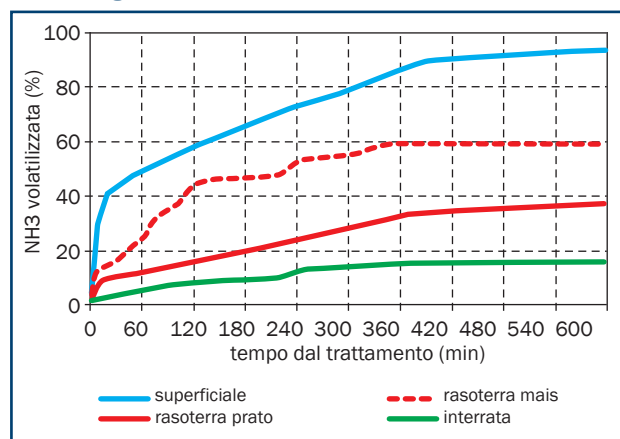
3.2.1 Le emissioni di ammoniaca in fase di distribuzione

Nel caso di applicazione superficiale, 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 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).

In Italia si sono sviluppati sistemi di interrimento del liquame poco razionali, perché collocano il prodotto ad elevate profondità (30-40 cm), con attrezzature munite posteriormente di ancore di elevate dimensioni. Queste possono favorire la lisciviazione, soprattutto in presenza di terreni sciolti e in annate particolarmente piovose e necessitano l'accoppiamento con trattrici di elevata potenza per erogare forze di trazione di oltre 10.000 N per metro di larghezza di lavoro, 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.

Le esperienze condotte nell'ambito del progetto RiduCaReflui hanno confermato i risultati riportati in letteratura. Come evidenziato nella figura 2, le perdite di ammoniaca nello 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 inquinamento dell'atmosfera. La somministrazione rasoterra determina perdite di ammoniaca oscillanti tra il 40 e il 60%. I valori più bassi si riferiscono probabilmente ai casi in cui la vegetazione della coltura fa da 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.

Figura 2 – Perdite di ammoniaca cumulate espresse in percentuale rispetto alla quantità somministrata per diverse metodologie



Le migliori tecniche disponibili sono quelle che prevedono il completo interrimento del refluo contemporaneamente alla distribuzione a bassa profondità. 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 attrezzature ad ampia larghezza operativa per la lavorazione senza inversione degli strati superficiali del terreno. In questo caso tuttavia il periodo utile di distribuzione viene ridotto drasticamente ai soli periodi in cui il terreno è privo di coltura.

Sono da evitare, per motivazioni fra di esse 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 è utilizzabile, oltre che su terreno non coltivato, anche su colture sarchiate, contribuendo all'aumento del periodo utile per la distribuzione in campo nel periodo primaverile ed estivo. La distribuzione su terreno non lavorato funge anche da minima lavorazione conservativa e alcune realizzazioni prevedono la localizzazione del liquame in contemporanea 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.

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 e profondità di lavoro, numero di assolcatori).

3.2.2 Il compattamento del terreno nella distribuzione

I problemi causati dal compattamento del terreno in seguito alla distribuzione degli effluenti sono tanto gravi quanto difficili da individuare. Essi possono produrre un peggiora-

mento delle caratteristiche del terreno che induce riduzioni delle produzioni (oggi contrastate solamente con l'eccessiva fertilizzazione chimica) e una sempre maggiore difficoltà di ripristinare le situazioni ottimali per la semina e lo sviluppo delle piante attraverso le lavorazioni. Inoltre il problema è maggiore dove il contenuto di sostanza organica è basso.

Gli effetti del compattamento nella distribuzione dei reflui possono essere ridotti di intensità o prevenuti con accorgimenti che interessano le tecnologie e le pratiche agronomiche. Tali accorgimenti sono i seguenti.

- a. *Riduzione della massa applicata sugli assali mediante:*
 - costruzione di serbatoi in vetroresina e non in acciaio;
 - utilizzo di trasportatori differenziati su strada e su appezzamento, ciascuno equipaggiato adeguatamente;
 - utilizzo di ruote in tandem non allineate.
- b. *Aumento della superficie di contatto tra suolo e pneumatico mediante:*
 - adozione di pneumatici di maggior diametro;
 - adozione di pneumatici a larga sezione o gemellati;
 - impiego di una minor pressione di gonfiaggio (non superiore a 1,5 bar);
 - utilizzo di sospensioni idonee per una costante distribuzione dei pesi su tutte le ruote.
- c. *Aumento della velocità di avanzamento.*
- d. *Riduzione degli slittamenti.*
- e. *Aumento della capacità portante del suolo mediante:*
 - adozione di tutte quelle pratiche che tendono ad aumentare il contenuto di sostanza organica nel terreno (concimazioni organiche, cover crop, lavorazioni conservative, etc.);
 - controllo del traffico e aumento delle larghezze di lavoro;
 - effettuazione di distribuzioni solamente quando il terreno lo permette e preferibilmente in copertura.

Le sperimentazioni su questo argomento, svolte nell'ambito del Progetto RiduCaReflui, hanno confrontato tre tipi di carrobotte:

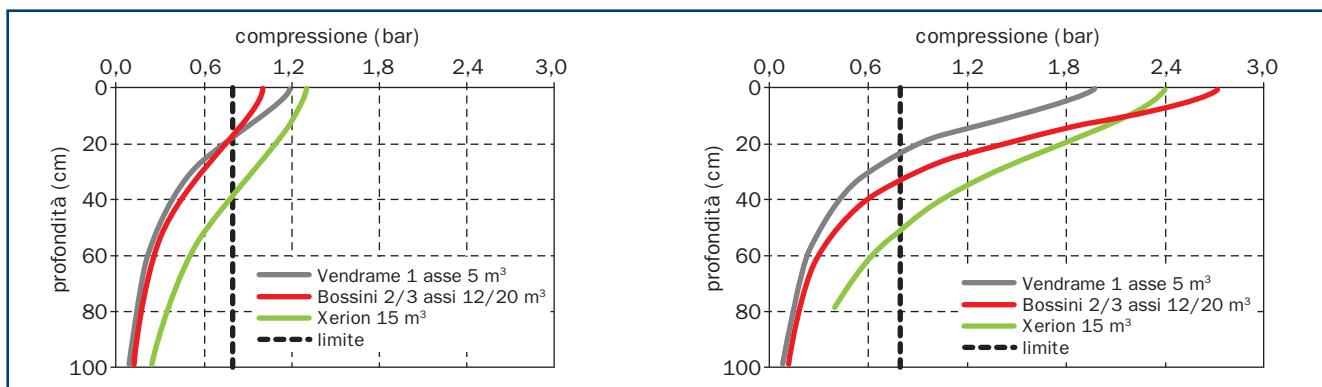
1. Carrobotte trainato a 1 asse della capacità di 5 m³, in grado di svolgere anche operazioni in copertura (Vendrame);
2. Carrobotte trainato a 2 o 3 assi, della capacità oscillante da 12 a 20 m³;
3. Carrobotte semovente della capacità di 15 m³.

Le diverse attrezzature hanno effetti differenti in funzione delle condizioni del terreno, come dimostra la figura 3. Innanzitutto si nota che lo stress di compressione è tanto maggiore quanto più il terreno è cedevole ed umido; in questo caso i valori di pressione raggiunti nei primi strati di terreno sono doppi rispetto a suoli più portanti.

Per conoscere poi la pericolosità del transito di queste macchine sul terreno, occorre introdurre il concetto del "valore limite di compressione". Con questo termine si intende quel valore di pressione oltre il quale la bibliografia è concorde nell'affermare che iniziano a verificarsi problemi per le radici e per la coltura. In suoli argillosi il valore limite è pari a 0,8÷0,9 bar, in suoli sabbiosi oscilla tra 1,2÷1,4 bar.

Si vede così che la macchina semovente è la più pericolosa perché il valore limite viene superato fino a profondità di 40 cm nel suolo portante e a 55 cm nel suolo cedevole; questo a causa della maggiore massa gravante per assale. Seguono, in ordine di pericolosità: i carro botte trainati a 2/3 assi e infine quelli a un asse. A questa tendenza fa eccezione la maggiore compressione esercitata dai carrobotte a 2/3 assi nel terreno cedevole (umido) negli strati superficiali (meno di 10 cm) che risulta maggiore delle macchine semoventi. Inoltre, negli stessi strati si verifica anche una maggior compressione da parte delle macchine a un asse rispetto a quelle a 2/3 assi nelle condizioni portanti. Questo può essere ricondotto alla minore superficie di contatto degli pneumatici.

Figura 3 - Distribuzione dello stress di compressione negli strati causato da differenti attrezzature in un suolo argilloso portante (a sinistra) e cedevole (a destra)



3.2.3 Proposte progettuali per attrezzature di distribuzione di reflui su colture in atto

Allo scopo di rendere il processo di distribuzione degli EA liquidi compatibile e rispettoso delle esigenze delle colture, si è proceduto alla progettazione di una nuova attrezzatura. Ci si è in particolare prefissi l'obiettivo che la macchina fosse in grado di distribuire il liquame in copertura, su colture

erbacee e arboree, per valorizzare appieno le potenzialità fertilizzanti con un ridotto impatto ambientale.

Le caratteristiche della nuova attrezzatura dovevano essere le seguenti:

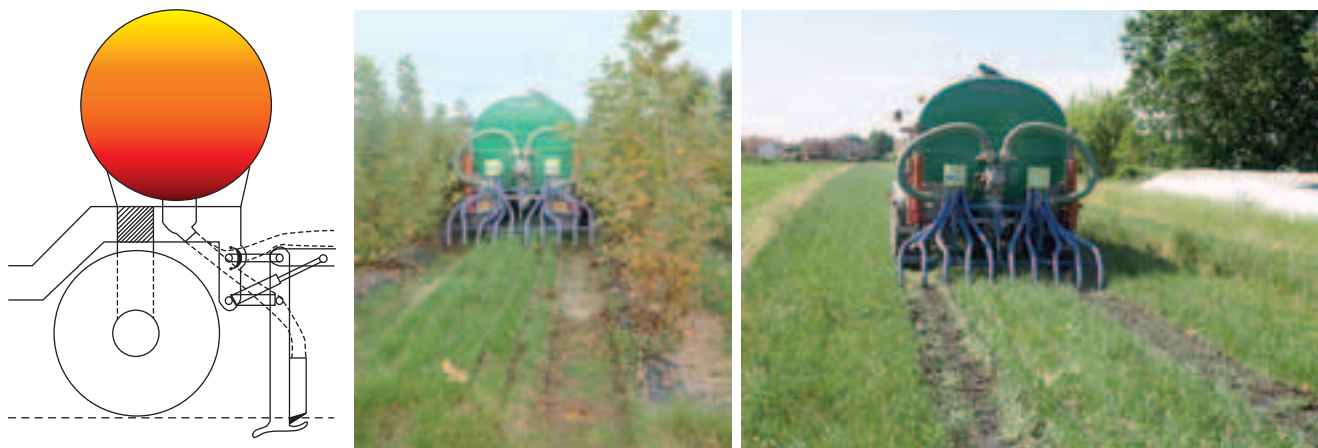
- essere in grado di distribuire in maniera dosata e precisa il liquame zootecnico;
- effettuare, contemporaneamente alla distribuzione,

- eventualmente anche una sarchiatura con iniezione sotto-superficiale del liquame;
- avere una certa autonomia di distribuzione, tale da poter raggiungere almeno la fine di una singola passata o di un giro completo;
- essere compatta, facilmente manovrabile, costruttivamente semplice ed affidabile;
- limitare il compattamento del terreno;
- preservare, per quanto possibile, l'integrità delle piante in campo;

- essere manovrabile anche in spazi ridotti (piccoli appezzamenti);
- rendere visibile all'operatore la zona del terreno in lavorazione;
- essere gestibile anche da trattori di piccola potenza.

La definizione di tali requisiti ha portato sia alla stesura di un progetto di attrezzatura per la distribuzione del refluo su mais in copertura, sia alla realizzazione di un prototipo per la distribuzione su: aree filtro forestali (AFF), vigneti e prati (Figura 4).

Figura 4 - Schema del distributore per colture erbacee (a sinistra) e prototipo dell'attrezzatura in fase di lavoro su AFF (in centro) e su prato (a destra)



3.3 Aspetti funzionali ed economici di trasporto e distribuzione degli EA

3.3.1 Il caso dei palabili

La *distribuzione con cantieri separati* si effettua con tipologie di macchine caratterizzate da diversa dimensione del cassone, che 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. Essa oscilla da 2,6 ha/h per le macchine di piccole dimensioni a oltre 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 del numero di voltate e dei tempi di rifornimento, è inferiore rispetto alla capacità effettiva del 35÷50%. Rispetto alle capacità effettive, le capacità "reali" si riducono allora rispettivamente a valori compresi tra 1 e 2,3 ha/h.

Nei *cantieri riuniti* l'analisi delle capacità di lavoro mostra come questo parametro sia nettamente diverso rispetto

ai cantieri separati, perché maggiori sono i tempi improduttivi dovuti al rifornimento del materiale. La differenza si amplifica anche al diminuire della portata della macchina spanditrice. 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, all'aumento della distanza, la capacità di lavoro diminuisce drasticamente fino ad arrivare a valori prossimi allo zero per distanze superiori a 50 km (Figura 5).

Dal punto di vista economico, il *costo unitario per il solo trasporto* del materiale palabile varia da 0,14 a 0,38 €/t·km in funzione della tipologia del trasportatore (Tabella 3). I valori inferiori in assoluto si ottengono con l'uso dell'autoarticolato, che ha portata utile pari a 32 t, mentre quelli più alti vengono ottenuti 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) (Figura 6).

Tabella 3 - Costi per il trasporto del materiale palabile per tonnellata e per chilometro percorso

Tipologia mezzo	Portata utile (t)	Costo unitario (€/km • 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

Il costo della sola distribuzione per unità di prodotto oscilla tra 5 e 10 €/t al variare dei materiali utilizzati e si dimostra relativamente costante in funzione della capacità dei mezzi distributori. Sommando i costi della distribuzione e quelli del trasporto, si ottiene il costo del cantiere separato, che risulta scarsamente dipendente dalla capacità del cassone di distribuzione e variabile in funzione del prodotto e della distanza di trasporto. I valori oscillano tra 5 e 10 €/t per basse distanze fino a 20-25 €/t a distanze di 50 km.

Figura 5 - I cantieri riuniti nella distribuzione dei materiali palabili sono convenienti per brevi distanze dal centro di stoccaggio



Figura 6 - Con attrezzature di elevata capacità la distanza limite per il cantiere riunito si aggira attorno ai 13-20 km in funzione del tipo di materiale, superati i quali conviene utilizzare i cantieri separati



L'analisi economica per i cantieri riuniti evidenzia invece 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 e di 70 e 85 €/t per piccole macchine.

La scelta tra un cantiere e l'altro dipende dalla dimensione della macchina distributrice e dal tipo di materiale trattato. Con macchine spanditrici di piccole dimensioni a cantieri riuniti non conviene superare distanze di 4÷5 km dal centro di stoccaggio. Con cassoni di maggiori dimensioni e quindi con le attrezzature di distribuzione più evolute, 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 il separato

ed il compost. Oltre a questa distanza conviene adottare i cantieri separati.

A prescindere dalla tipologia del cantiere e in linea puramente teorica, l'opportunità da parte dell'utilizzatore finale per l'uso dell'effluente solido in alternativa ai concimi chimici si può definire considerando il valore di surrogazione dello stesso effluente che dipende essenzialmente dai costi di distribuzione e di trasporto. In altre parole la convenienza nell'uso degli effluenti sussiste fintantoché i costi per il loro trasporto e distribuzione sono inferiori al valore di surrogazione.

Tale valore di surrogazione permette di definire la distanza massima oltre la quale non conviene trasportare e distribuire il materiale palabile, ipotizzando che questo abbia un costo di produzione pari a zero.

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, P₂O₅ e K₂O, questo varia in funzione della concentrazione di elementi fertilizzanti dei diversi tipi di effluenti e quindi risulta 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.

Conseguentemente, si ottiene che i materiali ad alto potere fertilizzante potrebbero essere distribuiti in linea generale a distanze ragguardevoli (la pollina fino a 113 km), mentre il letame a non più di 20 km (Figura 7).

3.3.2 Il caso degli EA liquidi

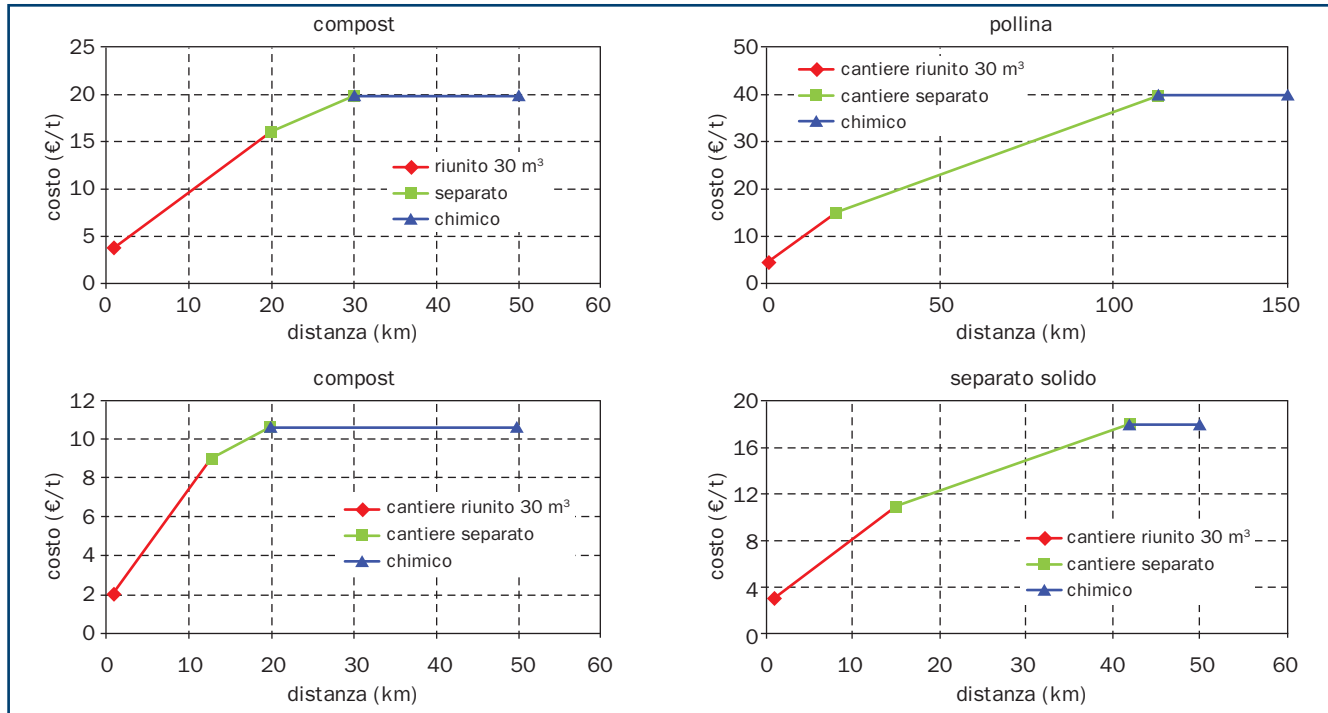
Nel caso degli effluenti liquidi, per confrontare le opzioni di trasporto e distribuzione dei reflui sono stati scelti quattro cantieri rappresentativi, differenti tra loro per le capacità di trasporto e la eventuale separazione di queste due fasi, mentre nella distribuzione si è considerata per tutti quella interrata sottosuperficiale.

- 1) Cantiere riunito con carrobotte a 2 assi della capacità di 12 m³ trainato da un trattore da 95 kW (R12). È il cantiere limite ammesso dal Codice della strada (Figura 9).
- 2) Cantiere riunito con carrobotte a 3 assi della capacità di 24 m³ trainato da trattore da 157 kW (R24) (Figura 10).
- 3) Cantiere separato con carrobotte a 3 assi della capacità di 24 m³, asservito da autocisterne della capacità di 30 m³ (S24).
- 4) Cantiere separato con trattore polivalente della potenza di 280 kW e carrobotte della capacità di 15 m³, adibito alla distribuzione di liquami, asservito da autocisterne della capacità di 30 m³ (SS) (Figura 11).

In termini di capacità di lavoro, le prestazioni delle quattro soluzioni 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.

La quantità di prodotto distribuito (dose) dipende dal contenuto di azoto nel liquame e dai limiti massimi di azoto organico distribuibile per legge nel rispetto delle disposizioni di settore.

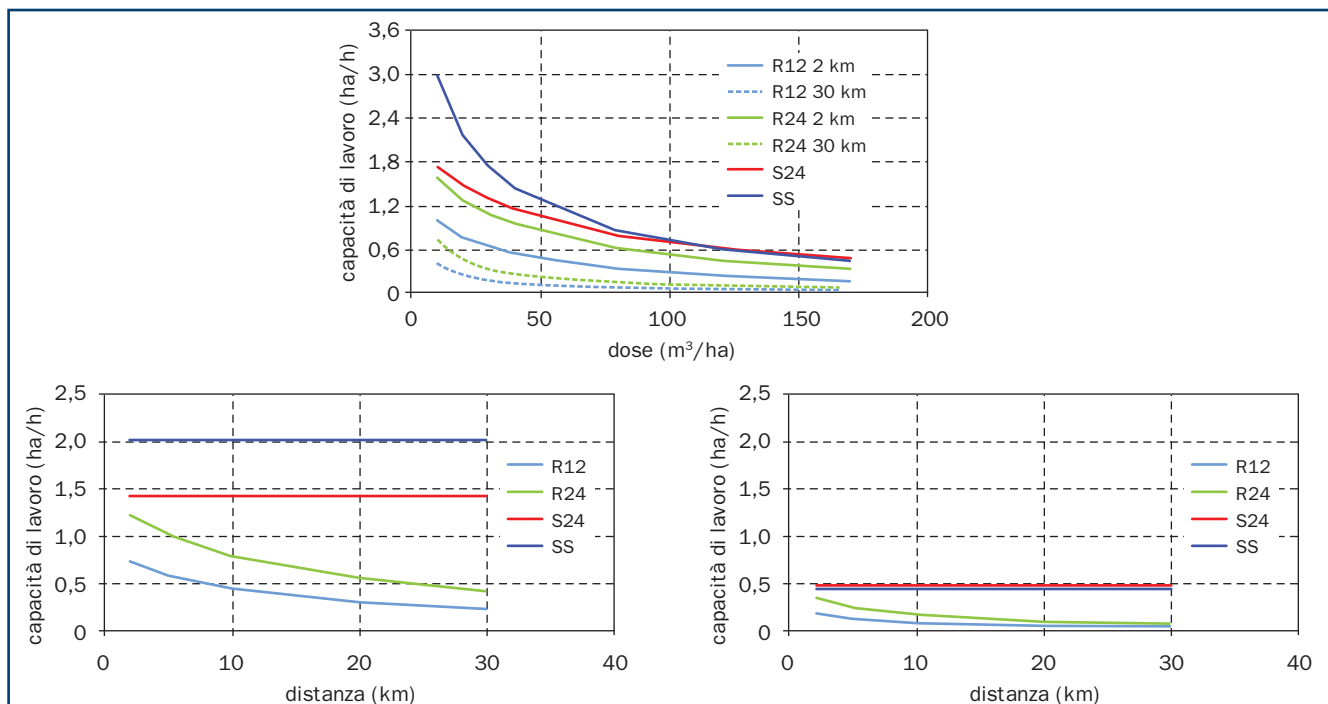
Figura 7 - Distanze massime percorribili per la distribuzione dei vari materiali solidi effettuata con cantieri riuniti (di alta capacità) e cantieri separati in confronto con l'uso di fertilizzanti chimici



Nelle considerazioni espone successivamente si è sempre adottata l'ipotesi di una distribuzione di quantitativi pari a 170 kg/ha di N. Essendo considerati sia liquami tal quali che trattati, le concentrazioni sono molto variabili e, di conseguenza, anche i quantitativi distribuiti sono altrettanto variabili e inversamente proporzionali al contenuto di N nell'effluente. L'effetto della dose risulta evidente nella figura 8, dove si mette in relazione la capacità di lavoro con

le dosi utilizzabili. L'aumento delle quantità unitarie tende ad appiattire 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 da 24 m³ 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.

Figura 8 - Capacità di lavoro dei vari cantieri in funzione della dose adottata (a sinistra) e della distanza per basse dosi (24 m³/ha, in centro) e per alte dosi (170 m³/ha, a destra)



Le prestazioni calano anche in relazione alla distanza tra il luogo della distribuzione e quello di stoccaggio, almeno per i cantieri riuniti. Dalla figura 8 risultano evidenti anche le riduzioni della capacità di lavoro a causa dei maggiori tempi di trasporto. I cantieri separati invece non sono affetti da questo limite e mantengono inalterate le loro potenzialità.

Figura 9 – I cantieri riuniti con carro botte da 12 m³ idonei al trasporto su strada sono consigliabili per bassi quantitativi annui e per distanze inferiori a 10 km



Figura 10 – Al variare delle distanze i cantieri che risultano più economici sono quelli a maggiore volume di carico (24 m³)



Il cantiere con mezzo semovente ha i maggiori costi unitari rispetto agli altri a causa dell'elevato costo di investimento e della bassa capacità di carico che lo rendono poco economico anche nei confronti del cantiere separato trainato. In effetti, se la capacità effettiva di lavoro risulta elevata per il sistema semovente grazie alla maggior potenza installata nella motrice, che permette una velocità più elevata e una larghezza di lavoro maggiore, all'atto pratico questa soluzione viene penalizzata dalla bassa capacità di carico, che costringe a rifornimenti più frequenti. I minori costi unitari si hanno con il cantiere riunito da 12 m³ per quantitativi distribuibili annualmente attorno a 10.000 m³ e con alte dosi, nonché con il cantiere separato trainato S24 per quantitativi maggiori e basse dosi.

Al variare delle distanze otteniamo che i cantieri più economici per unità di prodotto distribuito sono quelli a maggiore volume di carico (24 m³): il cantiere riunito (R24) fino a distanze di 22 km per dosi basse (24 m³/ha) è sempre conveniente per tutte le distanze con dosi elevate. Il cantiere separato S24 risulta conveniente oltre i 22 km per le dosi più basse.

Figura 11 – Il mezzo semovente ha capacità di lavoro più alta e minor impatto ambientale rispetto alle altre soluzioni. La sua adozione si può prospettare nel caso di considerevoli quantità da distribuire annualmente, con liquame concentrato e basse dosi di distribuzione



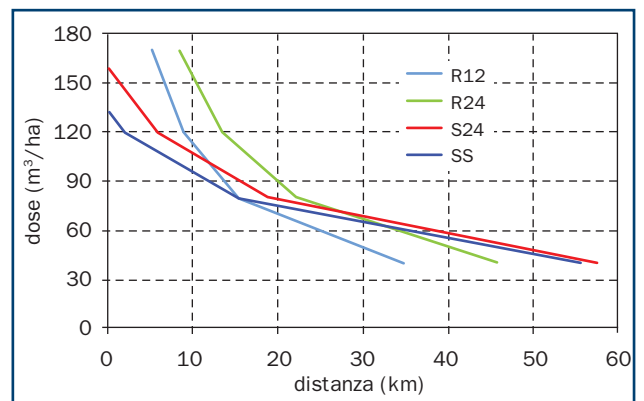
Per comparare la distribuzione di fertilizzante organico liquido con quella di materiale chimico di sintesi si utilizza il costo per unità fertilizzante azotato. Esso varia orientativamente a partire da valori inferiori all'unità fino a oltrepassare i 12 €/kg(N). Le variazioni sono essenzialmente dovute alla dose distribuita per ettaro e alla distanza. La quantità annua di prodotto ha scarsa influenza.

A basse dosi, tale costo varia da 0,8 a 1,8 €/kg(N) per tutti i cantieri fra 2 e 30 km di distanza, mentre alle dosi massime il costo varia molto, secondo il cantiere e 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.

Il valore di surrogazione del liquame è stato calcolato considerando il valore di un concime complesso con un rapporto N:P:K simile a quello del liquame (nello specifico: 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 soglia per definire la convenienza della fertilizzazione organica.

Si verifica che le distanze massime di convenienza si riducono all'aumentare della dose distribuita (Figura 12) e che il cantiere R24 è effettivamente più conveniente fino a distanze di 25 km e per dosi superiori a 75 m³/ha. Per distanze superiori e con dosi più basse conviene utilizzare i cantieri separati ad elevate capacità di carico sia trainati che semoventi.

Figura 12 – Distanze e dosi di soglia per l'utilizzo economico del refluo zootecnico per i quattro cantieri, prendendo come riferimento il costo dell'unità fertilizzante dei concimi minerali



3.4 La tracciabilità nella movimentazione degli effluenti

La tracciabilità della filiera di movimentazione e distribuzione degli effluenti è stata testata prima di tutto all'interno delle singole aziende agro-zootecniche, tramite installazione di sistemi di raccolta e registrazione di dati relativi ai quantitativi movimentati, ai percorsi seguiti e ai periodi di movimentazione.

In tal modo è possibile porre in essere a livello territoriale un sistema integrato di tracciabilità degli effluenti di allevamento (ed avere quindi un *Sistema Informativo Territoriale* o SIT) in grado di integrare e gestire le informazioni derivanti dalle molteplici aziende agro-zootecniche.

All'atto dell'implementazione di un sistema di tracciabilità è necessario predisporre alcuni componenti, in alcuni casi

da installare sui veicoli coinvolti nel trasporto del prodotto da tracciare (*sensori, trasmettitori, attuatori, processori, GPS, memorie, bus di comunicazione*), e in altri casi sulle infrastrutture aziendali (*sensori, rice-trasmettitori, personal computer, server*) (Figura 13).

È stato valutato come tutti questi sistemi possano essere interfacciati e gestiti da un sistema informatico il cui *software* presenta le seguenti funzionalità: la compilazione dei quaderni di campagna informatici, la generazione di report, il monitoraggio delle strutture di accumulo (vasche), il controllo della flotta di trasporti e macchine operatrici per lo spandimento dei reflui, il controllo sito-specifico degli spandimenti.

Tale *software*, a seconda delle funzionalità di controllo e gestione, può interessare la singola macchina (*Firmware*), oppure operare su una scala aziendale (SIA) o territoriale (SIT) (Figura 14).

Figura 13 – Parti di cui si compone un sistema per la tracciabilità dei veicoli di spandimento degli EA

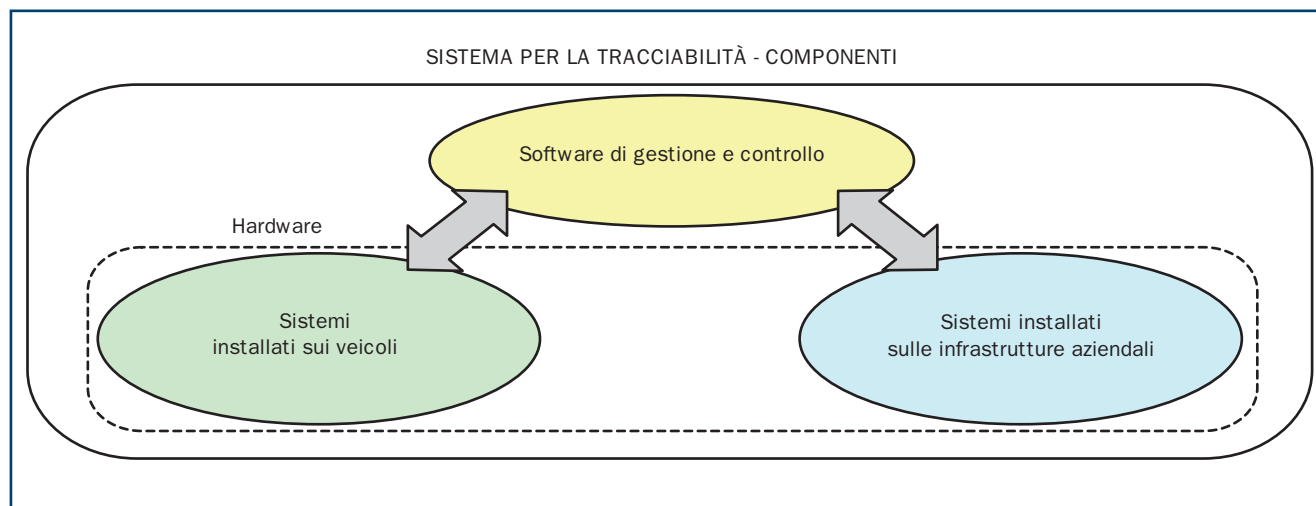
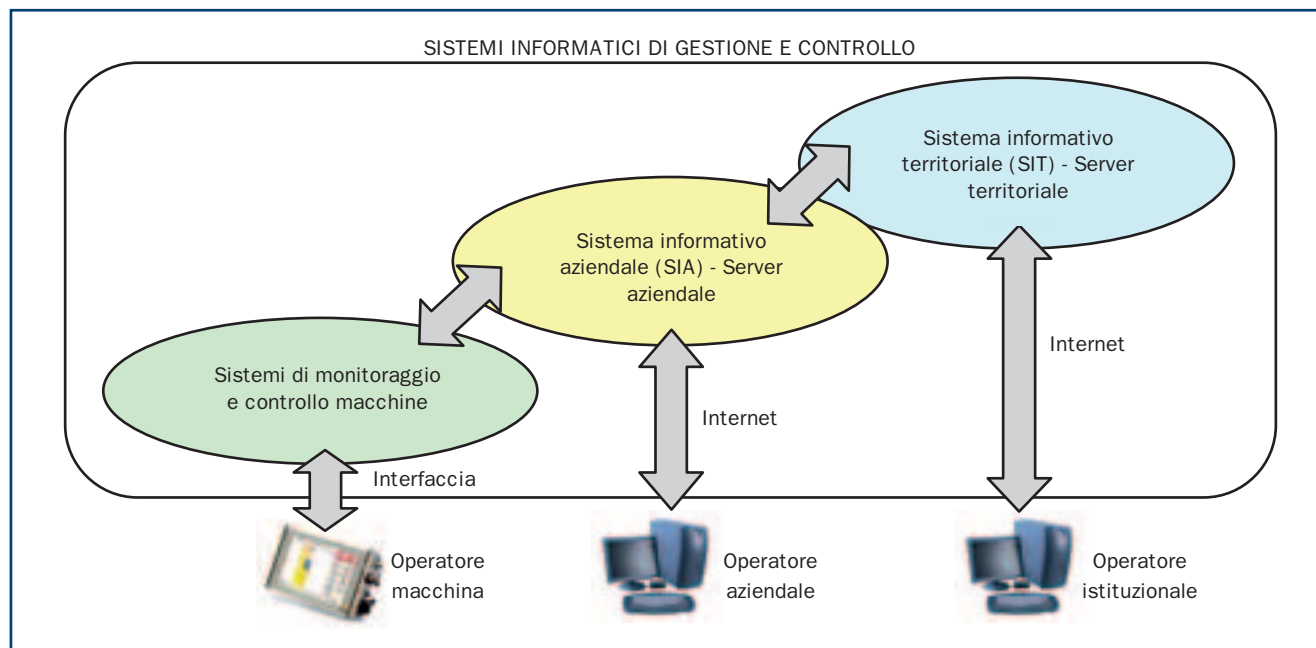


Figura 14 – Possibilità di accesso ad un sistema informatico di gestione e controllo della tracciabilità di tipo web-based



Le soluzioni informatiche per la tracciabilità (*hardware* e *software*) possono presentare differenti architetture:

- *software residenti*, installati su PC e facenti uso delle reti interne ad una determinata azienda;
- *software basati su Internet* (cosiddetti *software web-based*), quindi risiedenti su di un particolare server (au-

torità di controllo) e accessibili in ogni istante da tutto il mondo a patto di disporre di una connessione ad Internet e delle credenziali di accesso.

Le due soluzioni proposte presentano vantaggi e svantaggi che vanno valutati soprattutto in relazione all'uso interno o esterno all'azienda produttrice degli effluenti (Tabella 4).

Tabella 4 – Confronto tra software tradizionali e web-based utilizzabili nell'implementazione di un sistema di tracciabilità

	Software residenti in azienda	Software web-based	
		Gestione di ditte private	Gestione istituzionale
Vantaggi	<ul style="list-style-type: none"> - Ottimi per l'implementazione di un sistema di tracciabilità interna - Permette di generare la documentazione da esibire in caso di controlli - Tutti i dati risiedono solo in azienda 	<ul style="list-style-type: none"> - Ottimi per l'implementazione di un sistema di tracciabilità esterna - Adattabili alla tracciabilità interna - Nessun investimento aggiuntivo - Pagine web dinamiche: nessuna occupazione di memoria, nessuna installazione richiesta - Esenta l'autorità di controllo nel provvedere alla memorizzazione dei dati che sia sicura e duratura nel tempo 	<ul style="list-style-type: none"> - Ottimi per l'implementazione di un sistema di tracciabilità esterna - Adattabili alla tracciabilità interna - Basso costo e nessun investimento aggiuntivo - Pagine web dinamiche: nessuna occupazione di memoria, nessuna installazione richiesta - Controllo diretto degli accessi da parte dell'autorità di controllo - Nessun problema di compatibilità dei dati e interfacciamento
Svantaggi	<ul style="list-style-type: none"> - Inadatti all'implementazione di un sistema di tracciabilità esterna - Richiedono investimenti hardware - Richiedono conoscenze informatiche da parte dell'imprenditore - Installazione richiesta - Lascia all'utente l'incombenza di assicurare una memorizzazione sicura e duratura nel tempo 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Pay per use</i>: il servizio nonché lo storico dei dati accumulati è disponibile solo fintanto che si è abbonati - Utilizzo vincolato alla disponibilità di accesso alla rete Internet - Problemi di gestione delle procedure di accesso - Problemi di compatibilità dei dati ed interfacciamento coi server dell'autorità di controllo 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizzo vincolato alla disponibilità di accesso alla rete Internet - Problemi di gestione del flusso di dati al server - Impone la stesura di un protocollo di compatibilità dei formati di invio dei dati direttamente ai produttori dei dispositivi di localizzazione

Al fine di mettere a disposizione degli utenti una soluzione economica, installabile anche su carbotte esistenti, ma comunque completa per quanto riguarda il contenuto informativo, nella sperimentazione effettuata si è messo a punto un sistema *implement-oriented* (in cui la componentistica elettronica principale è montata sul carbotte, Figura 15) costituito inizialmente dai seguenti sottosistemi:

- unità centrale per la gestione generale del sistema, dotata di:
 - sistema di acquisizione dei dati dai diversi sensori;
 - memoria di buffer da utilizzare in caso di impossibilità di invio dei dati acquisiti;
 - sistema di alimentazione autonomo a batteria ricaricabile;
 - SIM 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;
 - antenna satellitare GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*);
 - antenna di trasmissione dati GPRS (*General Packet Radio Service*);

- sensore per la stima del contenuto di nutrienti nel carico trasportato (sonda bipolare per la rilevazione della conducibilità elettrica del liquame);
- sensori per la stima (indiretta) del volume di carico trasportato (sonda ad ultrasuoni per la rilevazione della portata di liquame in transito nelle tubazioni del carbotte durante la fase di carico e scarico della cisterna).

In particolare, due sistemi uguali "ARVAtec" con la configurazione sopra descritta sono stati installati e monitorati su tre differenti mezzi trainati per il trasporto e lo spandimento di reflui zootecnici (Figura 16).

Tramite un'interfaccia *web*, il sistema permette all'utente di conoscere in tempo reale la posizione del mezzo su cui è installato il sistema, seguendone quindi le traiettorie su strada e in campo, anche sovrapposte ad una ortofoto oppure ad una foto aerea di *Microsoft Bing* (Figure 17, 18). La stessa interfaccia consente all'utente di ottenere numerosi dati numerici in ordine cronologico (coordinate geografiche, letture dei sensori) e di scaricare tali dati sul proprio *personal computer*.

Figura 15 – Componenti del sistema per la tracciabilità dei reflui zootecnici installato sui mezzi di trasporto

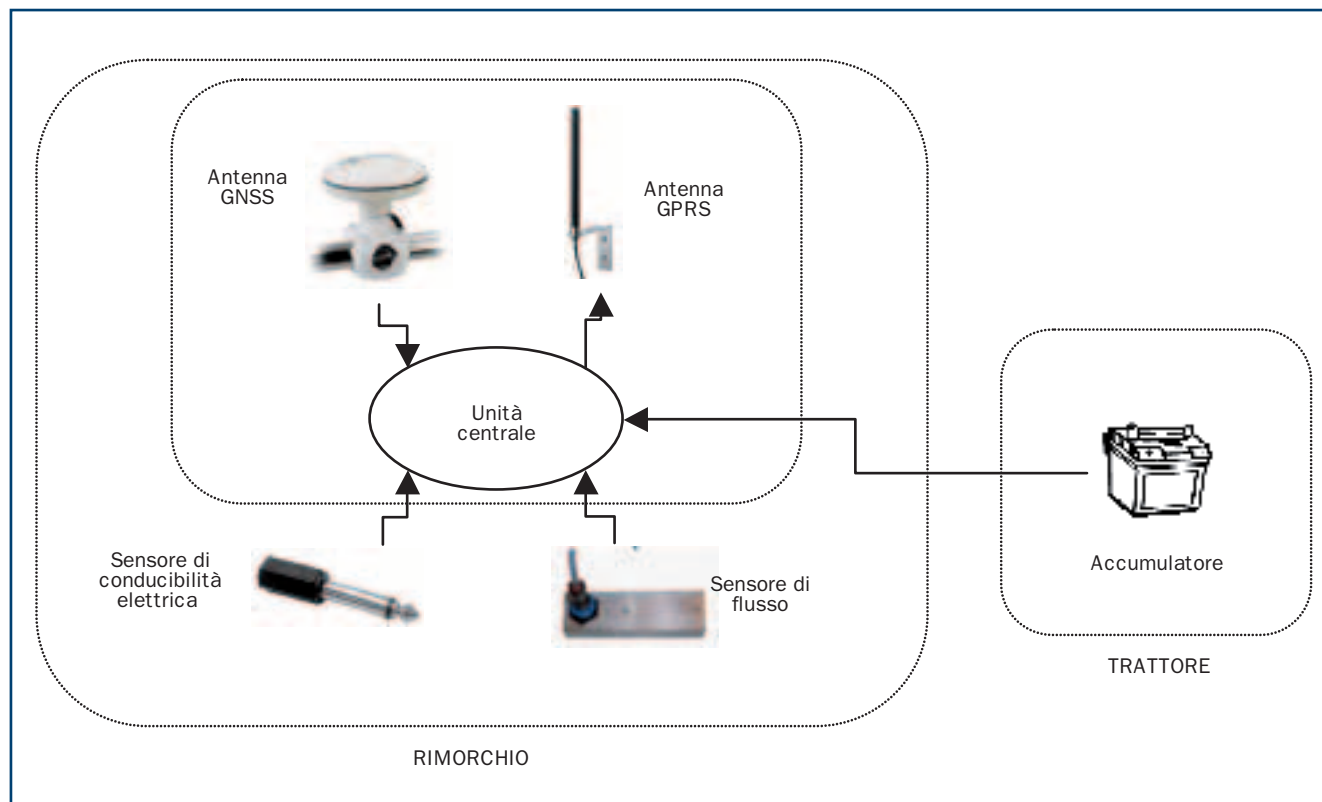


Figura 16 – Particolare del sistema di localizzazione installato sul carrobotte



L'applicazione dei sensori per la stima del contenuto di nutrienti nel carico trasportato e dei sensori per la stima del volume di carico ha fatto emergere dei limiti derivanti dal livello ancora sperimentale delle sonde disponibili, che hanno fatto propendere per una configurazione semplificata comprendente la sola unità centrale. Inoltre, nel caso un sistema di tracciabilità come sopra descritto possa venire utilizzato in applicazione della Deroga alla Direttiva Nitrati, stabilita dalla Decisione di esecuzione della Commissione Europea del 3 novembre 2011², in base a quanto riportato nell'art. 9, i limiti espressi dalle tecnologie attualmente disponibili per la stima del contenuto di nutrienti presenti nel carico trasportato possono essere agevolmente superati correlando la portata del mezzo di trasporto impiegato, il numero di spostamenti effettuati e l'estensione delle superfici agrarie di destinazione al contenuto di elementi fertilizzanti degli effluenti oggetto di spandimento.

² La Decisione 2011/721/UE concede una deroga richiesta dall'Italia con riguardo alle regioni Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte e Veneto, a norma della direttiva 91/676/CEE del Consiglio relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

Figura 17 – Visualizzazione ortografica ingrandita delle traiettorie seguite da un mezzo nel sistema ARVatec; le linee continue delle traiettorie sono sostituite da frecce che ne indicano il senso di percorrenza

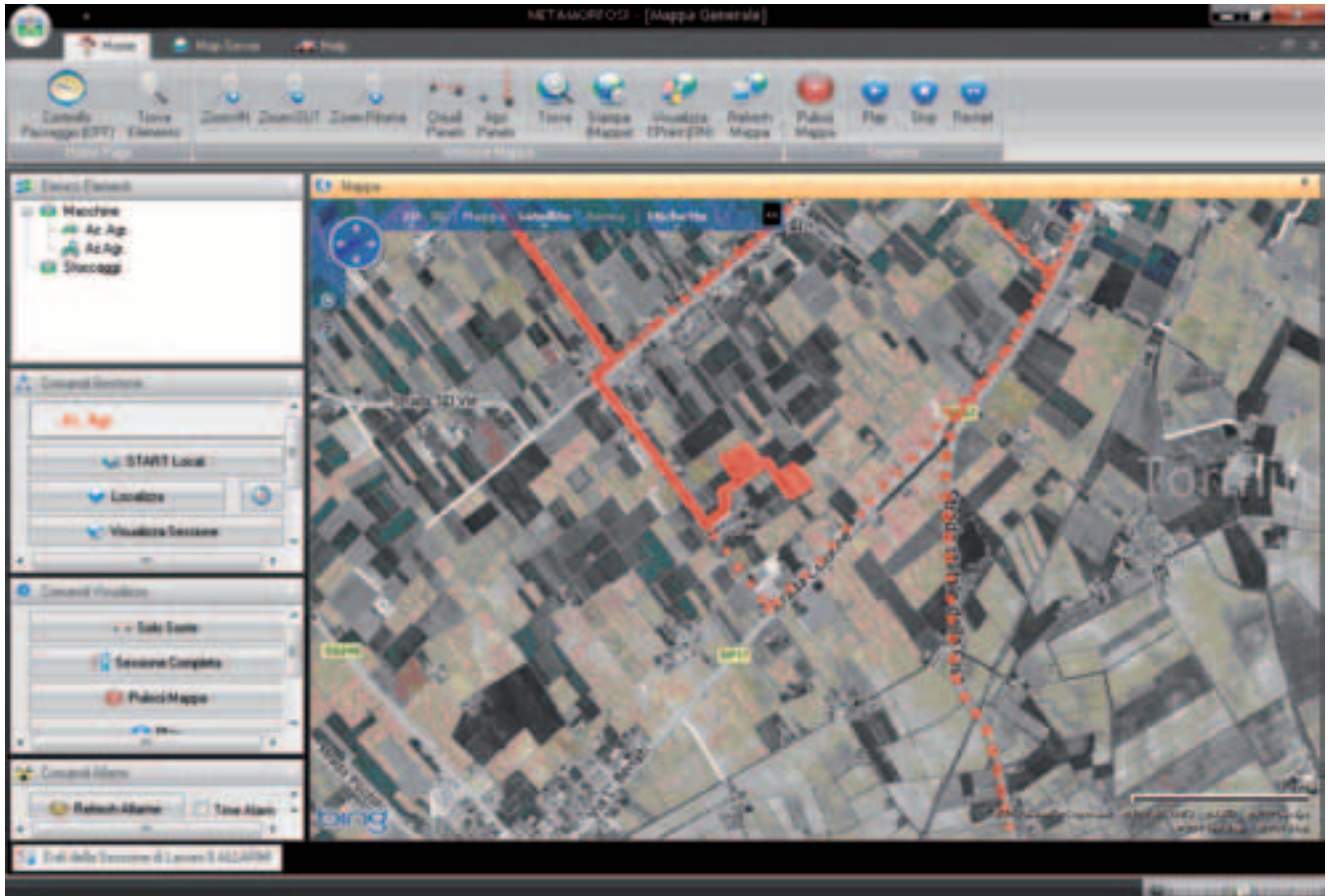
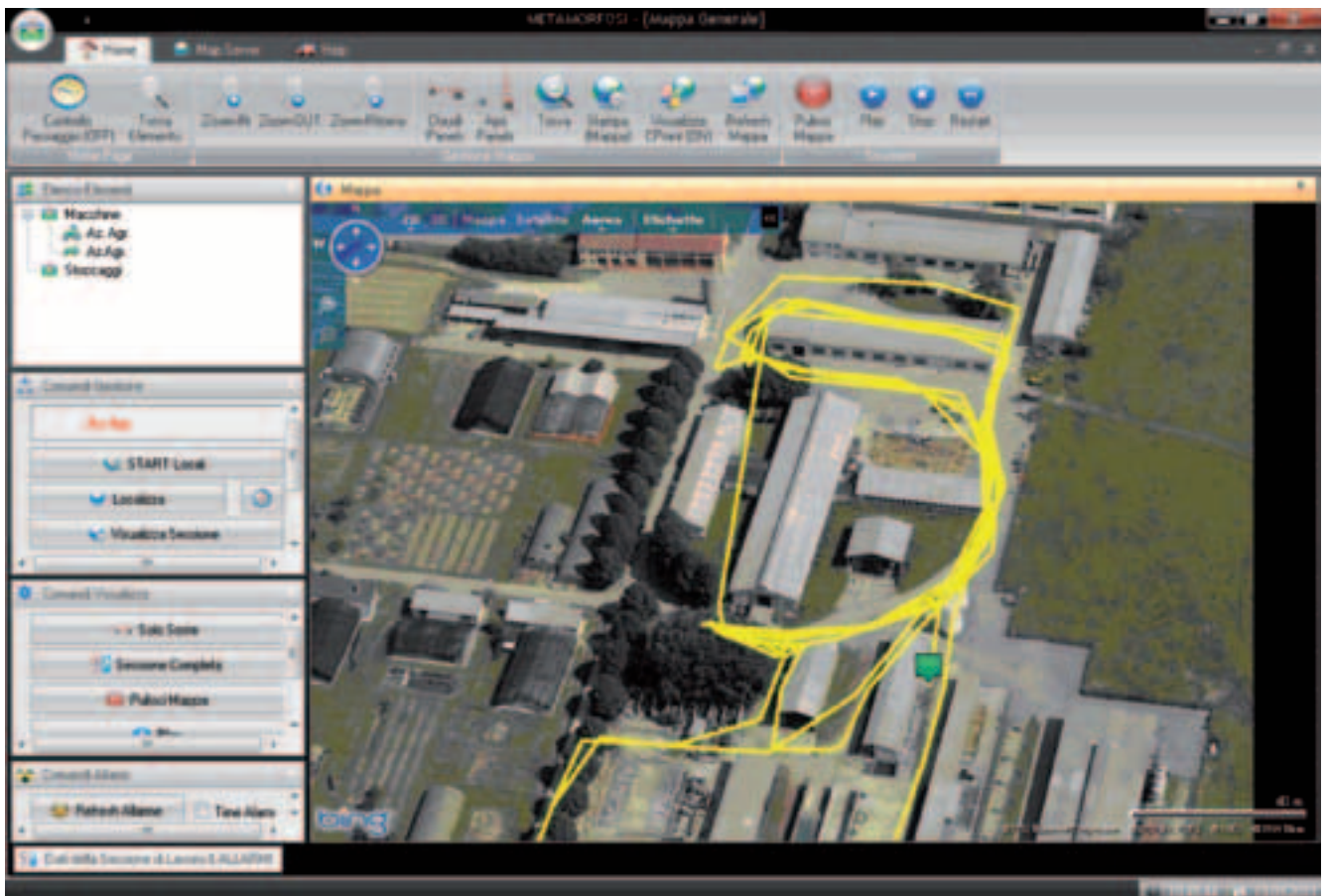


Figura 18 – Visualizzazione “aerea” delle traiettorie seguite da un veicolo



3.5 Considerazioni conclusive

La logistica del processo di trattamento e distribuzione degli EA costituisce un elemento chiave per una loro gestione corretta dal punto di vista agronomico e rispettosa della legge. Lo studio operativo realizzato nell'ambito del Progetto RiduCaReflui evidenzia come, rispetto all'opzione tra sistemi di trasporto extra-aziendali su ruote o tubazioni, attualmente il trasporto su strada sia più conveniente dal punto di vista economico, ma produca impatti ambientali maggiori. Per brevi distanze e trasporti intra-aziendali sono invece proponibili le tubazioni, anche dal punto di vista della convenienza economica.

Tra i possibili cantieri di distribuzione, risulta non economico quello facente uso di basse capacità di carico (il limite di trasporto stradale è di 12 m³) o di macchine semoventi. Le distanze di trasporto a cui si può giungere in modo conveniente

variano in funzione del "valore" del refluo e oscillano da una decina a un centinaio di km (per i materiali palabili), mentre sono compresi nella forbice che va da 8 a oltre 50 km per i liquidi, rispettivamente diluiti (1% di azoto) o concentrati (7%). La distribuzione interrata è la più efficace dal punto di vista agronomico e ambientale. La possibilità di distribuzione sulla coltura in atto è fondamentale e, allo scopo, si sono ideate e costruite nell'ambito di questo Progetto delle attrezzature per la distribuzione in copertura destinate a colture erbacee, arboree e aree filtro forestali.

Dallo studio di fattibilità sulla tracciabilità emerge che i sistemi installati sui mezzi di trasporto e sugli impianti risultano affidabili da un punto di vista tecnico, soprattutto per quanto riguarda la localizzazione. Rimane oggetto di ulteriori approfondimenti lo studio sulle architetture informatiche necessarie per gestire a livello aziendale o territoriale le informazioni tracciate.

Riferimenti bibliografici

- Bochtis, D. D. and C. G. Sørensen (2009), "The vehicle routing problem in field logistics part i." *Biosystems Engineering* 104(4): 447-457.
- Bochtis, D. D. and C. G. Sørensen (2010), "The vehicle routing problem in field logistics: Part ii." *Biosystems Engineering* 105(2): 180-188.
- Bochtis, D. D., C. G. Sørensen, et al. (2010), "Tramline establishment in controlled traffic farming based on operational machinery cost." *Biosystems Engineering* In Press, Corrected Proof.
- Bodria L., Berruto R., (2011), *L'innovazione nello sviluppo della meccanizzazione e della logistica*, Convegno di Medio Termine dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Belgirate, 22-24 settembre 2011, Relazione introduttiva.
- EEA (2005), How much biomass can europe use without harming the environment, briefing 2/2005.
- EEA (2007), "Transport and environment: On the way to a new common transport policy term 2006: Indicators tracking transport and environment in the european union." *EEA report 1/2007*.