AQUA

Achieving good water quality status in intensive animal production areas

LIFE09 ENV/IT/000208

VENETO AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

TECNICHE DI DISTRIBUZIONE DEGLI EFFLUENTI ZOOTECNICI E AGRO-ENERGETICI

LIFE09 ENV/IT/000208 - AQUA

Coordinatore

CRPA

Progetto Finanziato dall'Unione Europea nel Programma Life Plus Ambiente

Partner

FCSR

CRA Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura

ipla istituto per le piante da legno e l'ambiente ipla spa
società controllata dalla Regione Piemonte

ERSAF Ente regionale per i servizi all'agricoltura e alle foreste

VENETO AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

ersa Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Agenzia regionale per lo sviluppo rurale

Cofinanziatori

Regione Piemonte

Regione Lombardia

Regione Emilia-Romagna

Regione del Veneto

iren

HERA

AGCO Your Agriculture Company

AQUA

Achieving good water quality status in intensive animal production areas

LIFE09 ENV/IT/000208

VENETO AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

TECNICHE DI DISTRIBUZIONE DEGLI EFFLUENTI ZOOTECNICI E AGRO-ENERGETICI

Coordinatore

CRPA

Progetto Finanziato dall'Unione Europea nel Programma Life Plus Ambiente

Partner

ECSRS

CRA Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura

ipla istituto per le piante da legno e l'ambiente ipla spa società controllata dalla Regione Piemonte

ERSAF Ente regionale per i servizi all'agricoltura e alle foreste

VENETO AGRICOLTURA *Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare*

ersa Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia — Agenzia regionale per lo sviluppo rurale

Cofinanziatori

Regione Piemonte

Regione Lombardia

Regione Emilia-Romagna

Regione del Veneto

iren

HERA

AGCO Your Agriculture Company

Progetto Finanziato dall'Unione Europea nel Programma Life Plus Ambiente
Organismo responsabile dell'informazione: **Veneto Agricoltura**
Coordinatore: **Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A.**

Coordinamento per il Veneto: Arduin M., Sartori A. - *Veneto Agricoltura*

Elaborazioni e testi:
Luigi Sartori, Franco Gasparini, Andrea Pezzuolo - *Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali, Università degli Studi di Padova*

Foto:
Le foto sono tratte dalle sperimentazioni condotte nell'ambito del progetto AQUA
e dalle relative giornate dimostrative organizzate da Veneto Agricoltura.

Pubblicazione edita da:
Veneto Agricoltura
Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale ed Agroalimentare
Viale dell'Università, 14 - 35020 Legnaro (PD)
Tel. 049 8293711 - Fax 049 8293815
e-mail: ricerca@venetoagricoltura.org
www.venetoagricoltura.org

Realizzazione editoriale:
Veneto Agricoltura
Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale ed Agroalimentare
Coordinamento editoriale:
Silvia Ceroni - *Settore Divulgazione Tecnica, Formazione Professionale ed Educazione Naturalistica*
Federica Mazzuccato - *Edizioni MB srl - Rovigo*
Via Roma, 34 - 35020 Legnaro (PD)
Tel. 049 8293920 - Fax 049 8293909
e-mail: divulgazione.formazione@venetoagricoltura.org

È consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ecc. previa autorizzazione da parte di Veneto Agricoltura, citando gli estremi della pubblicazione.

Finito di stampare nel mese di marzo 2014
presso TEXT di Crivellaro Massimo e Roberto - via Cristofori, 1 /a - z.i. Vigorovea
35020 S. Angelo di Piove di Sacco (PD) - Fax 049 9714507 - e-mail: info@digitaltext.it

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE: L'ACCETTABILITÀ DEGLI EFFLUENTI COME FERTILIZZANTI ..... pag. 5

2. TECNICHE DI DISTRIBUZIONE DEGLI EFFLUENTI ..... » 8

2.1 Macchine e cantieri per la distribuzione dei materiali palabili ..... » 8
2.1.1 Introduzione ..... » 8
2.1.2 Principali caratteristiche delle macchine distributrici ..... » 8
2.1.3 Il sistema di distribuzione ..... » 8
2.1.4 Il sistema di alimentazione ..... » 10
2.1.5 Macchine aziendali e comprensoriali ..... » 10
2.1.6 I cantieri di carico ..... » 11
2.1.7 I cantieri di trasporto extra-aziendali ..... » 11

2.2 Macchine e cantieri per la distribuzione dei materiali liquidi ..... » 12
2.2.1 Sistemi di trasporto extra-aziendali dei reflui liquidi ..... » 12
2.2.2 Sistemi di trasporto aziendale e all'interno del campo dei reflui liquidi ..... » 13
2.2.3 La fase di distribuzione in campo ..... » 17
2.2.4 Considerazioni sulle diverse soluzioni per la distribuzione di effluenti liquidi ..... » 21

3. ASPETTI QUALITATIVI NELLA DISTRIBUZIONE ..... » 23

3.1 Il rispetto della dose ..... » 23

3.2 Regolarità di distribuzione ..... » 23
3.2.1 La regolarità di distribuzione longitudinale ..... » 23
3.2.2 Regolarità di distribuzione trasversale ..... » 24
3.2.3 Regolarità di distribuzione relativa alle principali tecniche disponibili ..... » 24

4. CONTROLLO E GESTIONE DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA IN FASE DI DISTRIBUZIONE ..... » 26

4.1 Tecniche di distribuzione a confronto ..... » 26
4.1.1 Spandimento superficiale ..... » 27
4.1.2 Spandimento rasoterra in banda ..... » 27
4.1.3 Spandimento rasoterra in banda con deflettore ..... » 27
4.1.4 Spandimento sotto-superficiale a solco aperto ..... » 27
4.1.5 Spandimento sotto-superficiale a solco chiuso ..... » 27
4.1.6 Iniezione profonda ..... » 27

4.2 Fattori operativi incidenti sulle emissioni ..... » 28
4.2.1 Fattori meteorologici ..... » 28
4.2.2 Le caratteristiche del refluo ..... » 29

4.3 Confronto sperimentale tra distribuzione superficiale con piatto deviatore e distribuzione rasoterra ..... » 29

4.4 Considerazioni conclusive ..... » 31

5. IL COMPATTAMENTO DEL TERRENO NELLA DISTRIBUZIONE ..... » 32

5.1 La riduzione del compattamento ..... » 32

5.2 Analisi del compattamento provocato dalla distribuzione dei reflui ..... » 34
5.2.1 Distribuzione dello stress di compressione utilizzando il modello TASC ..... » 35

5.3 Considerazioni conclusive ..... » 39

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ..... » 40

1. INTRODUZIONE: L'ACCETTABILITÀ DEGLI EFFLUENTI COME FERTILIZZANTI

Che sia liquido o palabile, digestato, trattato o tal quale, impoverito o arricchito di elementi nutritivi, gli effluenti zootecnici e agro-energetici devono essere distribuiti in campo non tanto per svuotare le vasche di stoccaggio, ma per chiudere il ciclo dei nutrienti e della sostanza organica che vengono restituiti alla dotazione naturale del suolo. Non è quindi una massa da smaltire, quanto una risorsa agronomica vera e propria alternativa ai fertilizzanti chimici.
La mancata valorizzazione agronomica degli effluenti 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 risulta essere di fondamentale importanza in quanto da essa dipende la completa utilizzazione ed efficienza degli elementi nutritivi da parte della coltura e la possibilità di generare fenomeni di inquinamento.
Un'idonea attrezzatura per la distribuzione deve rispondere a una serie di esigenze che poi corrispondono a precise soluzioni tecniche. Esse sono rappresentate da: 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 e, non ultimo, la convenienza economica; tutto questo condiziona la scelta delle attrezzature e i loro sistemi di dosatura e distribuzione.
Tuttavia, è necessario rendere competitivo l'effluente rispetto al ricorso ai fertilizzanti chimici non solo in termini economici, ma anche qualitativi. Perché l'effluente zootecnico o agro energetico sia accettato e appetibile da parte dell'azienda agricola utilizzatrice occorre non solo che sia competitivo nei confronti del fertilizzante chimico in termini economici, ma deve anche possedere caratteristiche fisiche e chimiche omogenee, costanti e conosciute, che sia distribuito in modo razionale e in ampi periodi con minimi impatti sul terreno, sulla coltura dell'azienda ospitante e sull'ambiente. Infine occorre considerare che la variabilità climatica, pedologia e colturale non consente l'impiego in tutte le situazioni e che alcune zone o terreni sono più recettivi di altri.

Apporto di elementi nutritivi

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 negli effluenti al momento della loro distribuzione. Tuttavia, questi contenuti risultano essere assai variabili in funzione dei vari processi subiti 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 colturali.
La conoscenza delle caratteristiche dei letami e liquami prodotti in allevamento è dunque un elemento fondamentale per poter determinare la giusta quantità da distribuire. È pertanto consigliabile ricorrere a un'analisi dell'effluente al fine di determinare al momento della distribuzione in modo preciso e puntuale il suo contenuto di azoto. Tale parametro, altamente variabile anche nel tempo, può essere determinato mediante analisi chimica oppure con metodi più pratici applicabili direttamente in azienda, o con sensori istantanei ancora in fase di sperimentazione.
Definita la dose, occorre che l'effluente venga distribuito in modo uniforme su tutta la superficie e quindi, il dosatore e il distributore dell'attrezzatura, dovranno garantire una buona uniformità longitudinale (erogare il prodotto con flusso sempre costante) e trasversale (la larghezza di lavoro deve essere interessata dalla stessa quantità di prodotto).
La correttezza nella distribuzione viene garantita da sistemi di variazione del flusso di effluente in funzione della velocità di avanzamento e in relazione alla variabilità del terreno in fatto di dotazione dei elementi nutritivi.

Scelta del metodo di distribuzione

Idealmente l'operazione di spandimento può essere distinta in due fasi operative: la fase di trasporto del prodotto dal luogo di stoccaggio a quello di utilizzazione e la fase di distribuzione vera e propria.
Ciascuna fase può venire realizzata con diverse metodologie, infatti, se tali fasi vengono attuate da un solo mezzo si parla di *cantiere riunito*, mentre se le due fasi sono prerogativa 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 successiva distribuzione dell'effluente. I cantieri separati, invece, sono prerogativa delle grandi attrezzature e delle semoventi che, per il loro elevato investimento iniziale, ri-

chiedono una maggiore organizzazione logistica al fine di estendere il più possibile la loro capacità di lavoro.
Le tecniche adottabili come le migliori disponibili verranno trattate nel capitolo inerente alle attrezzature e sono quelle che prevedono l'interramento del effluente contemporaneo alla distribuzione, a bassa profondità, ma completo.
Per motivazioni opposte, sono da evitare 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 effluente contemporaneo con la semina su sodo; la distribuzione in copertura, frazionando gli interventi, aumenta di fatto 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).

Qualità nella distribuzione

L'uniformità di distribuzione è rappresentata dalla regolarità di spandimento sul terreno sia in senso trasversale sia longitudinale.
Il conseguimento di una corretta uniformità di distribuzione permette una omogenea distribuzione in campo, la riduzione delle sovrapposizione, un aumento della larghezza di lavoro e una più uniforme 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 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-solide l'uso di pompe volumetriche garantisce meglio l'uniformità longitudinale, mentre la presenza di ripartitori quella trasversale.

La riduzione dei costi

Come tutti i sottoprodotti aziendali anche gli effluenti di allevamento soffrono di due inconvenienti: il basso valore (economico, energetico, fertilizzante, ecc.) per unità di volume e la loro eterogeneità.
Lo scarso valore in elementi nutritivi per le colture stride un po' sulla quantità totale di liquame prodotta annualmente in Italia e cioè 150 milioni di t pari a oltre mezzo milione di tonnellate di Azoto e 160.000 t di Fosforo, concentrati prevalentemente nel Nord Italia.
La riduzione dei costi per trasporto e distribuzione sembra essere uno dei punti nodali della corretta gestione dei reflui.
A tal proposito, le strade da seguire possono essere 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; tali argomenti verranno affrontati nel capitolo delle attrezzature.

Allungamento del periodo di applicazione e allargamento delle superfici

Da un punto di vista agronomico le applicazioni vicine alla semina e in copertura forniscono i migliori risultati produttivi in quanto la coltura è in grado di sfruttare al meglio gli elementi che gli vengono messi a disposizione. Bene allora le applicazioni nella stagione vegetativa, con dosi frequenti e controllate; svantaggiose sono 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 richieste nutritive ma anche da diverse dinamiche di utilizzo degli elementi apportati mediante la distribuzione degli effluenti zootecnici.
L'allargamento del periodo utile di distribuzione consente anche una maggior utilizzazione delle macchine e conseguente riduzione dei costi. La distribuzione di effluenti 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.

Perdite di azoto

Le perdite di azoto rappresentano una diminuzione della quota di elemento apportato al terreno, ma costituiscono anche una delle principali cause di inquinamento. In linea generale l'azoto viene perso sotto forma ammoniacale a carico dell'atmosfera (volatilizzazione), ed una in forma nitrica a carico delle falde e delle acque superficiali (percolazione e ruscellamento).

Per quanto riguarda la ***volatilizzazione***, a parità di condizioni ambientali, le perdite di azoto ammoniacale risultano tanto maggiori quanto più superficiale è la distribuzione e quindi è bene ricorrere ai sistemi che prevedono l'interramento (anche a pochi centimetri di profondità) in fase di distribuzione. Sono da evitare quindi i sistemi di distribuzione con piatto deviatore o quelli a lunga gittata che provocano un'elevata polverizzazione e conseguente dispersione in atmosfera del prodotto.

Il fenomeno della ***lisciviazione*** interessa invece 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.

Compattamento del terreno

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.

Nei capitoli seguenti sono proposte le soluzioni per ovviare a questo problema e limitarne i danni.

Emissioni di odori

I diversi sistemi di spargimento possono accompagnarsi all'inconveniente dell'emanazione di odori sgradevoli, soprattutto nel caso in cui la distribuzione non sia seguita dall'interramento del liquame; il problema degli odori è diventato sempre più importante, a seguito anche dell'applicazione in campo di elevate dosi di effluenti e delle difficoltà di distribuzione che si possono avere in taluni periodi dell'anno. L'emissione di odori è correlata con la volatilizzazione dell'ammoniaca e quindi tutti gli accorgimenti riportati in seguito previsti per la limitazione di questa valgono anche per quella.

2. TECNICHE DI DISTRIBUZIONE DEGLI EFFLUENTI

2.1 Macchine e cantieri per la distribuzione dei materiali palabili

2.1.1 Introduzione

I materiali palabili vengono distribuiti sul terreno tramite apposite macchine spanditrici, la cui tipologia costruttiva è riconducibile agli spandiletame, caratterizzata da un sistema di traslazione del prodotto verso l'organo di distribuzione e un sistema apposito di distribuzione sul campo.

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 d'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.

2.1.2 Principali caratteristiche delle macchine distributrici

- ***Capacità di trasporto***, perché consente di ridurre i tempi di lavoro, incrementare l'autonomia e, per le macchine destinate a 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 caratterizzati da una larga sezione e bassa pressione per aumentare l'area di contatto, un profilo idoneo della carcassa per ridurre il compattamento ma anche scegliendo macchine dotate di elevata larghezza di lavoro e con un numero di assi proporzionato alla capacità di trasporto.

2.1.3 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***: (Figura1) sistema costituito di solito da due dischi controrotanti che lan-

Figura 1 – Sistema di distribuzione a dischi posteriori orizzontali.

ciano 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 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) 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 (indicata per materiali con basso contenuto di umidità e/o polverulenti).

Figura 2 – Sistema di distribuzione a rulli verticali (a) e relativa macchina in lavoro (b).

Figura 3 – Barra di distribuzione.

- **<u>a spandimento anteriore laterale</u>**
  - ***a disco singolo orizzontale***: (Figura 4) formato da un grosso disco, disposto anteriormente di dia-

Figura 4 – Sistema di distribuzione a disco singolo orizzontale anteriore (a) e relativa macchina in lavoro (b).

metro 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***: 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***: 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.

2.1.4 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, sospinge 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, sospinge il materiale verso il sistema di distribuzione, se doppia spesso migliora l'omogeneizzazione.

2.1.5 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 5 e 9).

Figura 5 – Particolare del sistema di copertura automatico che evita la dispersione del materiale in trasporto.

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^3) 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 localiz zano il materiale concentrato su filare o interrato (Figura 6).

Figura 6 – Attrezzatura aziendale per la distribuzione localizzata su vigneti e frutteti o arboree in genere.

2.1.6 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:

- ***caricatore a benna*** è costituito da un carrello trainato dalla trattrice, dove è inserita una piattaforma girevole su 360° che porta un braccio snodato, terminante con una benna mordente e azionati idraulicamente tramite un pompa collegata alla p.d.p della trattrice. Questa tipologia di mezzo è comune nelle aziende agricole, soprattutto in quelle zootecniche (Figura 7).

Figura 7 – Caricatore a benna mordente al lavoro.

- ***pala caricatrice***, montata frontalmente al trattore, consiste in una coppia di bracci, articolati al telaio della trattrice i quali portano all'estremità una benna ribaltabile; il sollevamento e il ribaltamento della benna è ottenuto idraulicamente, tramite comandi dal posto di guida.
- ***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. Il motore 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 (Figura 8).

Figura 8 – Caricatore semovente con braccio telescopico.

- ***escavatore*** è un mezzo semovente a cingoli o ruote, che sorreggono una piattaforma girevole su 360°, sulla quale è montata posteriormente il motore 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.

2.1.7 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 di medie dimensioni*** reperibili nelle normali aziende agricole del territorio;
- ***trasporto con rimorchio di grandi dimensioni*** reperibili in aziende medio-grandi o imprese agromeccaniche (Figura 9);
- ***trasporto con autocarro***;
- ***trasporto con autoarticolato***.

Figura 9 – Rimorchio agricolo adatto al trasporto su strada degli effluenti solidi palabili.

2.2 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.

2.2.1 Sistemi di trasporto extra-aziendali dei reflui liquidi

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

- ***trasporto mediante navette:*** *autonome* (autobotti) e non autonome (rimorchi tipo carribotte);
- ***trasporto mediante impianti fissi***: rete di condutture a partire dal centro di stoccaggio.

Trasporto mediante 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 (Figura 10), oppure prelevare il materiale da un punto di stoccaggio temporaneo (Figura 11). 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. 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 essi viene aspirato direttamente dalla macchina operatrice di campo. 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 mobile che può essere posizionato in punti strategici a seconda delle esigenze specifiche del momento. 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 10 – Fase di rifornimento diretto dalla navetta.

Figura 11 – Prelievo diretto da un punto di stoccaggio temporaneo.

Trasporto mediante impianti fissi

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. Questa tipologia di trasporto prevede che al punto di approvvigionamento sia installata una pompa che preleva il materiale dalla vasca di stoccaggio e lo spinge in pressione lungo una reta di tubature più o meno ramificate verso i punti di destinazione (Figura 12). 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 (in caso di tubazioni interrate).

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 une 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.

2.2.2 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 pocanzi descritte. All'interno dell'azienda le modalità di trasporto dell'effluente sul campo possono essere le seguenti.

Sistemi di tipo mobile

Spandiliquame trainato (carrobotte)

I carri spandiliquame trainati (Figura 13) 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 sommariamente riconducibili alle

Figura 12 – Stazione di pompaggio per il trasporto degli effluenti liquidi mediante impianti fissi.

Figura 13 – Carrobotte trainato a due assi.

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 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. Il riempimento del serbatoio avviene attraverso la manipolazione più o meno automatizzata di una serie di valvole a tre vie che riescono a far si che il flusso del liquido sia invertito e di conseguenza la macchina sia in grado di aspirare e riempire il serbatoio. Quest'ultimo, in 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 diversi dall'acciaio, e 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).

Spandiliquame semovente

Tali macchine (Figura 14) sono generalmente trattori portattrezzi a 4 ruote isodiametriche in grado di alloggiare serbatoi a pressione atmosferica e con dimensioni oscillanti dai 5 e ai 21 m^3. 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. 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 14 – Macchina semovente di grandi dimensioni.

Sistemi di tipo fisso

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 sistema 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 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.

- *Vasca di stoccaggio o di appoggio temporaneo*
Nei cantieri dove è impossibile pompare il liquame dalla fossa principale, occorre inserire una vasca d'appoggio. Di costruzione artigianale, la riserva è bene che sia da 40 a 120 m^3 e prevede la sua mobilità per il trasferimento da un cantiere all'altro. La capacità raccomandata per ottimizzare la distribuzione e ridurre i tempi morti è attorno ai 90 m^3. Per evitare depositi di solidi sul fondo della vasca occorre svuotarla ogni stagione o dotarsi di un miscelatore azionato da trattore.

- *Il sistema di pompaggio*
È normalmente azionata da un motore diesel/elettrico a punto fisso o carrellato e/o dal trattore. Le portate oscillano da 50 a oltre 200 m^3/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 sovrapressione che faccia andare il sistema in by-pass 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.

- *Condutture fisse di alimentazione*
La fase di alimentazione può avvenire a livello aziendale mediante una serie di condutture permanenti che prevedono lungo il loro percorso appositi punti di prelievo.
Questa rete di tubazioni viene normalmente realizzata in materiale plastico principalmente identificabili in polietilene e 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.

- *Condutture mobili di alimentazione*
Le condutture mobili ricevono il liquame dai punti di prelievo delle condutture fisse e provvedono il successivo invio al sistema di distribuzione in campo.

Questo può avvenire attraverso l'impiego di tubazioni colassabili o semirigide.
Il tubo impiegato nelle tubazioni di tipo colassabile (Figura 15) è generalmente in polipropilene ed è in grado di tenere al 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 e il costo relativamente contenuto del sistema.

Figura 15 – Aspo avvolgitubo equipaggiato con tubo collassabile.

Per quanto riguarda la tipologia semirigida (Figura 16), molto utilizzato il materiale PET e 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 avvolgitrice 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.
Essendo in materiale semirigido, che quindi mantiene la propria sezione anche in assenza di pressione interna, non è necessaria un totale svolgimento del tubo ma anche in modo parziale.
Queste caratteristiche permettono una maggiore flessibilità di utilizzo su superfici di estensione variabile in quanto la lunghezza del tubo può arrivare anche a 600 metri, facendo si che la superficie dominabile da una singola postazione possa essere anche dell'ordine di 15-16 ettari.

Figura 16 – Aspo avvolgitubo equipaggiato con tubo semirigido.

- *Il sistema di spandimento (Figura 17)*

Il sistema di spandimento deve avere alcune caratteristiche essenziali. 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.

Figura 17 – Sistema di distribuzione interrata del liquame, alimentato con tubazione.

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.

Fertirrigazione

La tecnica della fertirrigazione prevede la distribuzione contemporanea all'irrigazione di prodotti fertilizzanti (Figura 18). 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 18 – Impianto per la fertirrigazione mediante l'utilizzo di effluenti liquidi.

2.2.3 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 60 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 spaziati, una maggiore esposizione all'aria del liquame.

Il carrobotte con piatto deviatore (Figure 19) 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 ap-

Figura 19 – Distribuzione di liquame con piatto deviatore.

plicazione 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).
Qualora non sia possibile intervenire con altre tecniche che prevedano l'interramento contemporaneo alla distribuzione è possibili effettuare una incorporazione differita dell'effluente distribuito.
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 (Arogo 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. È 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.

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 20).
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 20 – Distribuzione rasoterra in banda con barra di grande larghezza di lavoro.

Spandimento rasoterra in banda con deflettore

Le attrezzature hanno la stessa configurazione di quelle per la distribuzione in banda (larghezza massima di 8-12 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 21). Questa tecnica è applicabile su prati e cereali autunno-vernini la cui la vegetazione abbia un'altezza minima di 8 cm: il deflettore sposta lateralmen-

te 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 (Arogo et al., 2001) e dello ione ammonio per opera delle radici.

Figura 21 – Particolare dello spandimento rasoterra con deflettori.

Spandimento sotto-superficiale a solco aperto

L'effluente 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, spaziati di 20-40 cm, incidono il terreno e lasciano aperto un profilo che viene poi riempito dal sottoprodotto. Questo tipo di distribuzione è adatto per prati con sviluppo non eccessivo (Figura 22) e cereali autunno-vernini (Figura 23) (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. È 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 cotica erbosa. Sono impiegati particolari elementi distributori, schematicamente costituiti da: una serie di dischi folli, che operano tagli verticale della cotica e la conseguente apertura di solchi e tubi addutto-ri, che permettono la distribuzione del liquame all'interno degli stessi. Possono essere annessi anche uno o due ele-

Figura 23 – Distribuzione a solco aperto, in copertura su sorgo.

Figura 22 – Barra con interratori a disco a solco aperto su prato (a) e suo effetto (b).

menti 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. Airoldi 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.

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 24). 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

Figura 24 – Attrezzatura per la distribuzione interrata mediante ancore superficiali.

del liquame (Rahman et al., 2002; Chen e Tessier, 2001; Chen e Ren, 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 25).

Figura 25 – Oltre ad ancore superficiali, possono essere proposte diverse soluzioni di coltivatori leggeri, come i dischi che oltre a distribuire il liquame, operano anche una lavorazione superficiale del terreno.

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 26).

Figura 26 – Anche la distribuzione in copertura su colture sarchiate, è una valida soluzione per distribuire il fertilizzante nel momento agronomicamente ottimale per la coltura.

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 27).
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 27 – Attrezzatura per la distribuzione profonda.

2.2.4 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 interramento del liquame poco razionali perché 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 trattrici 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'interramento del liquame (Sorensen e Amato, 2002; Tabaglio 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) 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.

3. ASPETTI QUALITATIVI NELLA DISTRIBUZIONE

3.1 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.

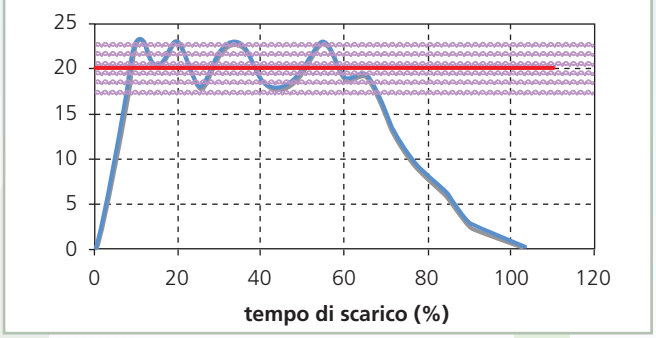
3.2 Regolarità di distribuzione

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.

3.2.1 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: Spandiliquame 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 rappresentato in Figura 28.

Figura 28 – 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 ± 15%. Si può quindi determinare la percentuale di tempo di svuotamento compreso nella zona di tolleranza, che nella Figura 28, 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 28, il CV è pari a 26%.
Il CV è derivato dalla seguente relazione:

$$CV = \frac{\sigma \cdot 100}{\chi}$$

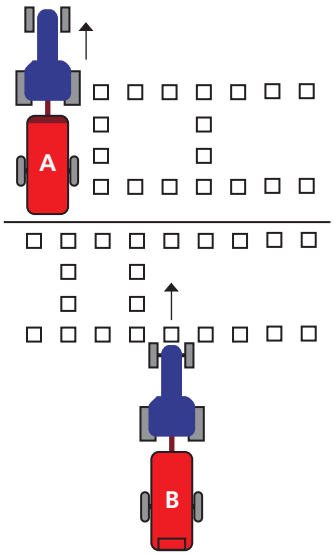
dove:
σ = deviazione standard dei valori
x = media

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 spandiliquame.
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.

3.2.2 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 29). I valori pesati di ogni vaschetta corrispondono ad un passaggio.
Questi valori non devono essere considerati singolarmente, ma devono essere conteggiate anche le quantità distribuite nei passaggi adiacenti. 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.
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.
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.

Figura 29 – Disposizione delle vaschette per la valutazione dell'uniformità di distribuzione per lo spargimento laterale (A) e posteriore (B).



3.2.3 Regolarità di distribuzione relativa alle principali tecniche disponibili

Piatto deviatore

Il sistema di distribuzione con piatto deviatore rappresenta la principale tipologia dei sistemi superficiali.
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, si stabilisce un sottodosaggio tra le passate. Risulta chiaro che la larghezza di lavoro in questi casi non coincide con la metà della gittata del liquame e non supera 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.

Distribuzione 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 trituratore. 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.

Distribuzione sottosuperficiale

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 falcioni per 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.

4. CONTROLLO E GESTIONE DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA IN FASE DI DISTRIBUZIONE

Una mancata valorizzazione agronomica dei reflui, oltre alla perdita in termini di efficienza economica, si accompagna anche a problematiche ambientali sempre più vincolanti per il settore agricolo, quali, la contaminazione da nitrati delle acque superficiali e profonde, l'eccessivo accumulo di fosforo e metalli pesanti nel terreno, le emissioni di ammoniaca e altre sostanze maleodoranti in atmosfera.

In particolare, le perdite azotate, costituiscono una delle principali cause di inquinamento ambientale in quanto l'azoto può venire perso sotto forma ammoniacale a carico dell'atmosfera (volatilizzazione) e in forma nitrica a carico delle falde e delle acque superficiali (percolazione e ruscellamento).

Le perdite di ammoniaca per volatilizzazione durante la distribuzione devono essere quindi attentamente valutate sia perché spesso possono assumere valori importanti, anche di 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 ridurne l'impatto sembrano essere facilmente introducibili nell'azienda a costi relativamente bassi.

4.1 Tecniche di distribuzione a confronto

Le migliori tecniche di distribuzione per controllare i processi di volatilizzazione, a parità di condizioni ambientali, sono quelle che riducono la diffusione del gas limitando il tempo di esposizione e le superfici di contatto tra il liquame e l'atmosfera. Le perdite di azoto ammoniacale risultano essere tanto maggiori quanto più superficiale è la distribuzione effettuata, infatti, la possibilità di interramento rappresenta la soluzione migliore per il contenimento di tali perdite.

Tuttavia, la scelta delle tecniche di distribuzione (Tabella 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.

Tabella 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

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.

4.1.1 Spandimento superficiale

I sistemi ad alta pressione comprendono gli irrigatori e i carribotte con piatto deviatore.
L'irrigatore, operando ad elevate pressioni di esercizio e con gittate che possono superare i 60 m, le perdite ammoniacali risultano essere considerevoli a causa della ridotta dimensione delle gocce prodotte e il tempo di permanenza di queste a contatto con l'atmosfera.
Nemmeno l'utilizzo di carribotte con piatto deviatore 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).

4.1.2 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. 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).

4.1.3 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 la presenza di 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 (Arogo et al., 2001) e dello ione ammonio per opera delle radici.

4.1.4 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, spaziati di 20-40 cm, incidono il terreno e lasciano aperto un profilo che viene poi riempito dal liquame. (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.

4.1.5 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.

4.1.6 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.

4.2 Fattori operativi incidenti sulle emissioni

Le perdite di ammoniaca durante la fase di distribuzione possono essere influenzate anche da ulteriori fattori operativi. Tra i principali, le condizioni climatiche, le caratteristiche del liquame, le condizioni del terreno e la presenza o meno di vegetazione o residui colturali in superficie rivestono un ruolo molto importante sul contenimento di tali emissioni e la conoscenza può essere decisiva per mettere a punto una efficace strategia di riduzione delle perdite di ammoniaca (Tabella 2).

4.2.1 Fattori meteorologici

La temperatura dell'aria condiziona la volatilizzazione dell'ammoniaca e l'evaporazione dell'acqua. L'evaporazione dell'acqua, che incide 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 (Figura 30).

Figura 30 – Esempio dell'effetto della temperatura (a) e del vento (b) sulle perdite di ammoniaca in fase di distribuzione.

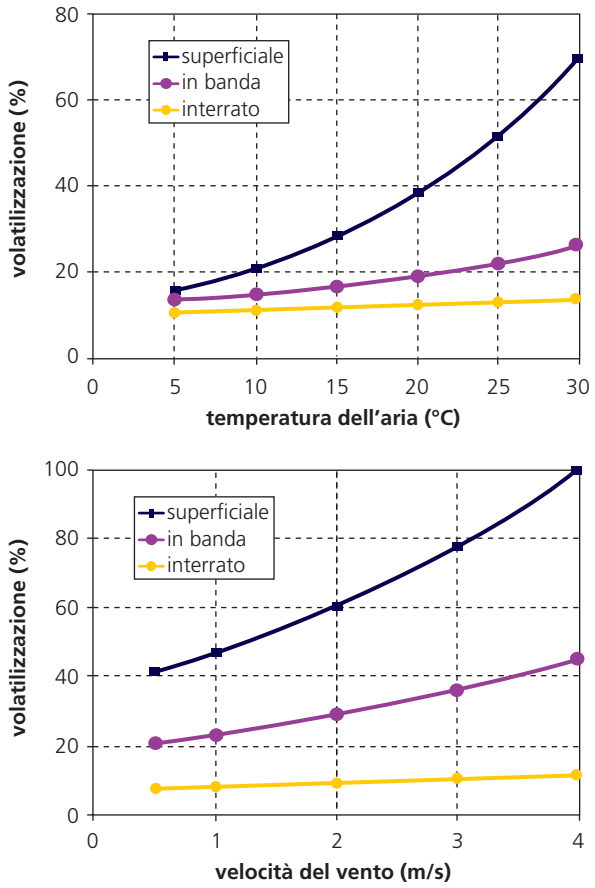


Tabella 2 – Principali fattori esterni che influiscono sulla volatilizzazione dell'ammoniaca in fase di distribuzione.

Fattori operativi		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	+

Nel programmare le distribuzioni, occorre considerare questo effetto preferendo i mesi meno caldi e i periodi più freddi della giornata in quanto si è 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 ed elevata temperatura si possa formare una crosta superficiale di liquame che funge da barriera contro la diffusione di ammoniaca del liquame.
L'emissione di ammoniaca aumenta inoltre 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.
Infine, precipitazioni atmosferiche prima della distribuzione 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.

4.2.2 Le caratteristiche del refluo

Un elevato contenuto di solidi totali aumenta la 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 Gioelli, 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.

Suolo e coltura

Un'elevata capacità di scambio cationico e un basso pH riducono le perdite per volatilizzazione, come pure un suolo dotato di 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 Gioelli, 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.

4.3 Confronto sperimentale tra distribuzione superficiale con piatto deviatore e distribuzione rasoterra

Allo scopo di valutare concretamente il ruolo delle tecniche di distribuzione sulle emissioni, si è condotta su terreno coltivato a prato polifita una valutazione delle emissioni ammoniacali confrontando la distribuzione con piatto deviatore e quella rasoterra.
Le macchine utilizzate sono state un carrobotte biasse dalla capacità di 14 m^3 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 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 sottoprodotto distribuito era un liquame bovino con le seguenti caratteristiche chimico-fisiche (Tabella 3).

Tabella 3 – 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 operativa è stata di 120 m^3/h, una larghezza di lavoro di 7 m e una velocità di avanzamento pari a 6 km/h. La dose mediamente distribuita con questo sistema è stata di 28,5 m^3/ha (Figura 31).
Con l'attrezzatura di distribuzione rasoterra si è mantenuto la stessa velocità e portata mentre con una larghezza di lavoro di 2,5 m la dose è risultata di circa 160 m^3/ha (Figura 32).
Le quantità totali di ammoniaca sono state di 75 e 159 kg/ha rispettivamente per i due sistemi.
Le perdite sono iniziate subito dopo la distribuzione e

Figura 31 – L'attrezzatura utilizzata nelle prove: il piatto deviatore.

Figura 32 – L'attrezzatura utilizzata nelle prove: il distributore rasoterra.

Figura 33 – Andamento della volatilizzazione nel tempo per le due distribuzioni.

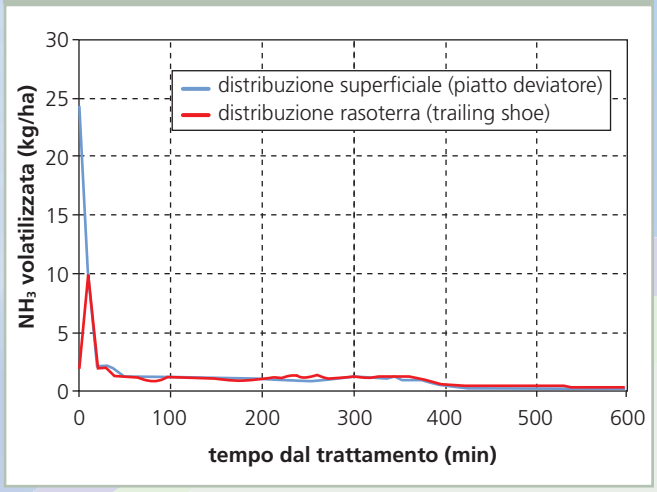
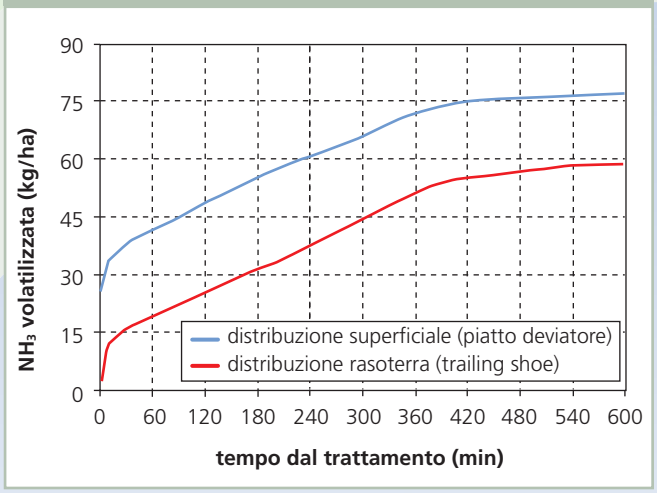


Figura 34 – Andamento delle perdite cumulate rispetto alla quantità distribuita.

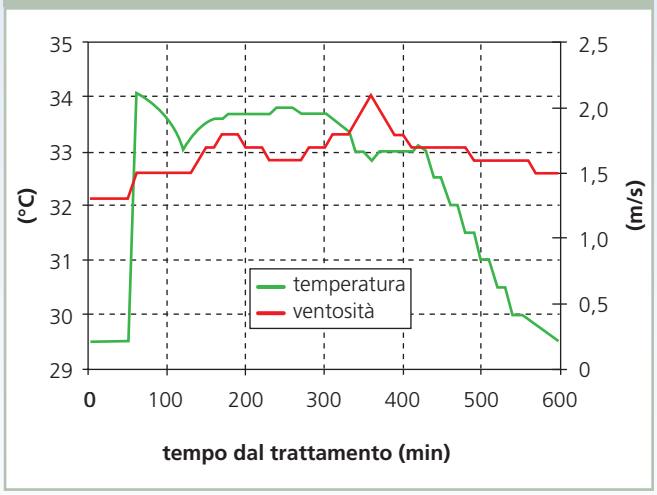


sono state evidenti nei primi 20 minuti per entrambe le distribuzioni. Nonostante la dose elevata distribuita rasoterra, la maggiore volatilizzazione si è rilevata nella distribuzione superficiale con piatto deviatore con perdite di 77 kg/ha contro 59 kg/ha per quella rasoterra. Il fenomeno si è mantenuto poi costante fino a tendere a zero dopo 7 ore dal trattamento (Figura 33).

Nella Figure 34 si evidenzia in particolare l'andamento della volatilizzazione cumulata 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%).

Le condizioni climatico - ambientali al momento della prova erano tali da non influenzare l'andamento climatico delle distribuzioni come dimostra la Figura 35.

Figura 35 – Andamento della temperatura e della ventosità durante le rilevazioni.



4.4 Considerazioni conclusive

Le esperienze sperimentali e le ricerche condotte hanno ottenuto risultati simili a quelli riportati in bibliografia. Come evidenziato in Figura 36, le perdite di ammoniaca nella spandimento superficiale possono portare alla volatilizzazione della quasi totalità del gas contenuto nel liquame, con conseguente drastica riduzione del potere fertilizzante del refluo ed emanazione di odori sgradevoli. 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).

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 interramento: in questo caso il liquame non necessariamente deve essere interrato ad elevate profondità. In Italia, infatti, si sono sviluppati sistemi di interramento 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 migliori tecniche disponibili sono quelle che prevedono il completo interramento del refluo contemporaneamente alla distribuzione a bassa profondità. Tali sistemi sono in grado di ridurre l'effetto aerosol (Trindade e al. 2001), migliorando l'efficienza di distribuzione dal 20% al 40%. Questo avviene a seguito di una maggiore immobilizzazione del prodotto da parte del terreno (Sorensen e Amato, 2002), a vantaggio della coltura e delle risorse ambientali.

Alternativamente 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 il periodo utile di distribuzione viene ridotto drasticamente nei soli momenti concessi dalla rotazione agraria in cui il terreno è privo di coltura.

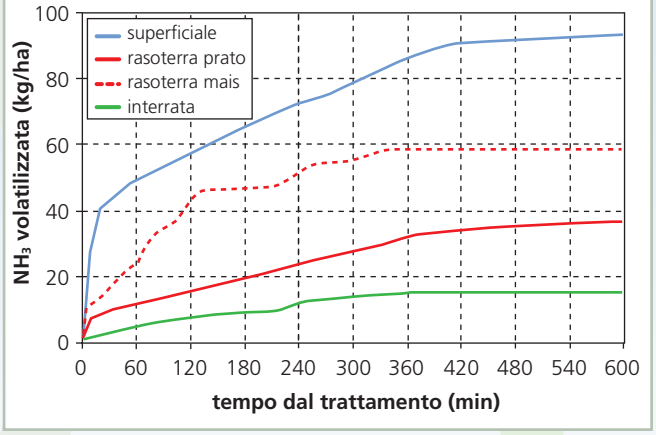
Sono da evitare, per motivazioni fra di esse opposte, i sistemi di distribuzione ad alta pressione per gli elevati rischi di volatilizzazione, e l'iniezione profonda che causa perdite di azoto per lisciviazione.

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).

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.

Figura 36 – Perdite di ammoniaca cumulate, espresse in percentuale, rispetto alla quantità somministrata per le diverse metodologie di distribuzione.



5. IL COMPATTAMENTO DEL TERRENO NELLA DISTRIBUZIONE

I problemi causati dal compattamento (Figura 37) del terreno in seguito alla distribuzione degli effluenti sono tanto gravi quanto difficili da individuare. Essi possono produrre un peggioramento 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.

Figura 37 – Fenomeno di compattamento a seguito della distribuzione degli effluenti.

Il compattamento può essere definito come una riduzione permanente della porosità del terreno derivante da un'azione di compressione provocata dal lavoro di una macchina operatrice o dall'organo di propulsione di una macchina motrice.
Se da un lato è comprensibile che a livello aziendale non sempre sia agevole conciliare il tentativo di non entrare in campo quando il terreno non è transitabile, dall'altro è importante sottolineare anche i possibili effetti che si procurano quando si opera in condizioni al limite della praticabilità (Pezzuolo e Sartori, 2012).

Effetti sul terreno. La diretta conseguenza della riduzione della macroporosità si accompagna a cambiamenti significativi della fertilità del suolo. Un'alterazione della porosità porta ad un aumento della densità apparente del terreno con una conseguente riduzione della sua permeabilità, dell'entità degli scambi gassosi e della temperatura. Un terreno compattato essendo quindi meno permeabile presenterà una ridotta capacità di infiltrazione idrica che porterà alla comparsa di fenomeni di ristagno superficiale e di saturazione lungo tutto il suo profilo.

Effetti sulle colture. Una maggiore densità apparente e la possibile presenza di masse compatte (es. suole di lavorazione, dislivelli superficiali), porta ad un ambiente inidoneo per la crescita radicale, dovuto ad una riduzione dello spazio per l'allungamento radicale e ad una forte contrazione del tasso di ossigeno disponibile. Questa condizione sfavorevole porta conseguentemente anche ad un minor assorbimento di elementi nutritivi da parte dell'apparato radicale. Tutto ciò può essere origine di consistenti perdite di resa; per i cereali si sono rilevate, infatti, riduzioni di produzione fino al 25% in terreni argillosi e fino al 15% in terreni sciolti.

Effetti sui consumi energetici. L'aumento della densità del terreno, specialmente in terreni argillosi, richiede per le operazioni colturali un maggior apporto energetico. Questo aspetto porta a maggiori consumi e alla richiesta di trattrici di maggior potenza (e di maggior peso) per l'esecuzione delle stesse operazioni colturali.

5.1 La riduzione del compattamento

Le macchine per la distribuzione dei reflui, in linea generale presentano a pieno carico masse piuttosto elevate. Infatti, nel corso degli anni, per aumentare la superficie dominabile e contemporaneamente ridurre l'incidenza del trasporto si è passato dai comuni spandiliquame monoasse, agli attuali e sempre più diffusi spandiliquami a tre assi, in grado di raggiungere capacità di carico prossime o superiori a 30 t.
Tali aspetti inevitabilmente possono ripercuotersi sul terreno con l'insorgenza di fenomeni di compattamento, la cui entità risulta essere variabile in relazione all'epoca di intervento, l'andamento climatico e le lavorazioni successive.
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.

***Riduzione della massa applicata sugli 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. Questo è comprensibile dal momento che la tendenza attuale è quella di concentrare l'attività 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.
Tuttavia, potrebbe essere particolarmente interessante considerare l'utilizzo di serbatoi realizzati con materiali non tradizionali (es. vetroresina), più leggeri e sagomabili di quelli in acciaio (Figura 38) o arrivare ad 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.

Figura 38 – Carrobotte di grandi dimensioni con serbatoio in poliestere con rinforzi in fibra di vetro ed equipaggiato con pneumatici a bassa pressione.

***Attente valutazioni sugli pneumatici*:** 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. È evidente che 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, e riducendo la pressione di gonfiaggio.
L'esigenza di mantenere basso il baricentro dello spandiliquame per garantire una migliorare stabilità della macchina rende, di fatto, difficilmente proponibile un aumento del diametro degli pneumatici. Le ruote alte alzerebbero quindi eccessivamente il baricentro e non potendo essere collocate sotto la cisterna eccederebbero la sagoma limite per la circolazione stradale.

Notevolmente più adottato è l'utilizzo di pneumatici a larga sezione con caratteristiche costruttive tali da consentire di adottare pressioni di gonfiaggio molto ridotte (1-1,5 bar) e di aumentare la superficie di contatto tra ruota e suolo, con conseguente riduzione della pressione esercitata sul suolo (Tabella 4).

Tabella 4 – Attitudine alla transitabilità su suolo in funzione della pressione di esercizio di pneumatici di medie dimensioni (Sangiorgi et al, 2000).

Pressione interna dei pneumatici	Attitudine degli appezzamenti alla transitabilità
Inferiore a 1 bar	molto buona
Da 1 a 1,5 bar	buona
Da 1,5 a 2 bar	soddisfacente
Oltre 2 bar	insoddisfacente

Di pari passo, si stanno sempre più diffondendo sistemi di gestione della pressione di gonfiaggio degli pneumatici (Figura 39), sia per le trattrici o macchine semoventi che le per macchine operatrici trainate (es. carrobotte) controllabili direttamente dal computer di bordo. Tali sistemi hanno quindi lo scopo di gestire in modo ottimale i parametri del pneumatico a seconda delle condizioni in cui opera la macchina; in campo, una riduzione della pressione aumenta la superficie di contatto e la capacità di trazione; in fase di trasporto un pneumatico dotato di una maggiore pressione riduce la resistenza al rotolamento e quindi l'usura e i consumi, migliorandone al contempo anche la stabilità di guida (Pezzuolo e Gasparini, 2012).

Figura 39 – Particolare del sistema di gonfiaggio e sgonfiaggio automatizzato degli pneumatici.

Disassamento assale posteriore: una soluzione già ampiamente collaudata soprattutto nelle macchine semoventi (Figura 40), fa si che venga omogeneamente compattata l'intera zona interessata dalla carreggiata del mezzo. In questo caso, il passaggio dei pneumatici posteriori avviene in una superficie non interessata al passaggio dei pneumatici anteriori. Questo particolare assetto riduce le disformità del terreno e rende più omogeneo l'interramento del liquame.

Figura 40 – Sistema di disassamento di una macchina semovente. Il passaggio degli pneumatici avviene su di una carreggiata diversa rispetta a quella segnata dai pneumatici anteriori.

Aumento della larghezza di lavoro: l'obiettivo è quello di ridurre la trafficabilità all'interno dell'appezzamento attraverso l'aumento della larghezza di lavoro (Figura 41). L'incidenza risulterà essere strettamente legata alla tecnica di distribuzione utilizzata.

Figura 41 – Barra con ampia larghezza di lavoro durante un'operazione di distribuzione in copertura su mais.

Cantieri di lavoro separati: separare le fasi di trasporto e distribuzione in campo permette di impiegare macchine operatrici più specifiche ed idonee per il loro svolgimento. Un ipotetico cantiere di lavoro potrebbe annoverare l'impiego di cisterne di elevate dimensioni non in pressione e adattate alla circolazione su strada, in modo tale da compiere in tempi brevi il trasporto del liquame dal centro di stoccaggio aziendale alla macchina operatrice adibita alla distribuzione in campo. In caso di notevoli distanze è consigliabile l'impiego di un punto di stoccaggio temporaneo a bordo campo mediante vascone scarrabile o carrobotte.
La separazione delle due principali fasi di lavoro, apre anche all'utilizzo di sistemi "ombelicali", nei quali il refluo viene direttamente trasportato da vasche di stoccaggio attraverso tubazioni in pressione al sistema di distribuzione sottosuperficiale (senza serbatoio) collegato ad una trattrice che opererà la distribuzione all'interno dell'appezzamento, limitando notevolmente possibili fenomeni di compattamento.

5.2 Analisi del compattamento provocato dalla distribuzione dei reflui

Per definire l'effetto del passaggio delle attrezzature per la distribuzione del liquame/letame sul terreno sono stati utilizzati differenti strumenti.
Al fine di valutare in modo diretto la variazione conseguita si è effettuata una prova sperimentale che 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 eseguito 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'ASAE (ASAE standards, 2006).
Le sperimentazioni su questo argomento hanno confrontato tre tipi di carrobotte:

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

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.

5.2.1 Distribuzione dello stress di compressione utilizzando il modello TASC

Oltre alla resistenza alla penetrazione, attraverso un modello di calcolo denominato TASC (Tyres/Tracks And Soil Compaction) creato da Agroscope ART si è valutato gli stress causati dal passaggio delle macchine per la distribuzione dei reflui 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 strass di compattazione nello strato fino a 100 cm di profondità.
Nella presente simulazione 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 strass si diffonde in senso orizzontale e la sua soffcità 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 del contenuto idrico (Bastgen e Diserens, 2009; Diserens et al., 2003).
Il modello ha calcolato quindi 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 5, sono state le medesime dell'analisi penetrometrica.
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 le Figure 42 e 43. 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

Tabella 5 – Principali grandezze utilizzate nel modello.

Attrezzatura	Larghezza pneumatico (cm)	Diametro della ruota (cm)	Massa gravante sul pneumatico (kg)	Pressione di gonfiaggio (bar)
Carrobotte trainato 1 asse 5 m^3	27	194	3200	2,0
Carrobotte trainato 2/3 assi 12/20 m^3	56	130	3500	2,5
Carrobotte semovente 15 m^3	80	207	8600	2,4

Figura 42 – Distribuzione dello stress di compressione negli strati causato da differenti attrezzature in un suolo argilloso portante (a) e cedevole (b).

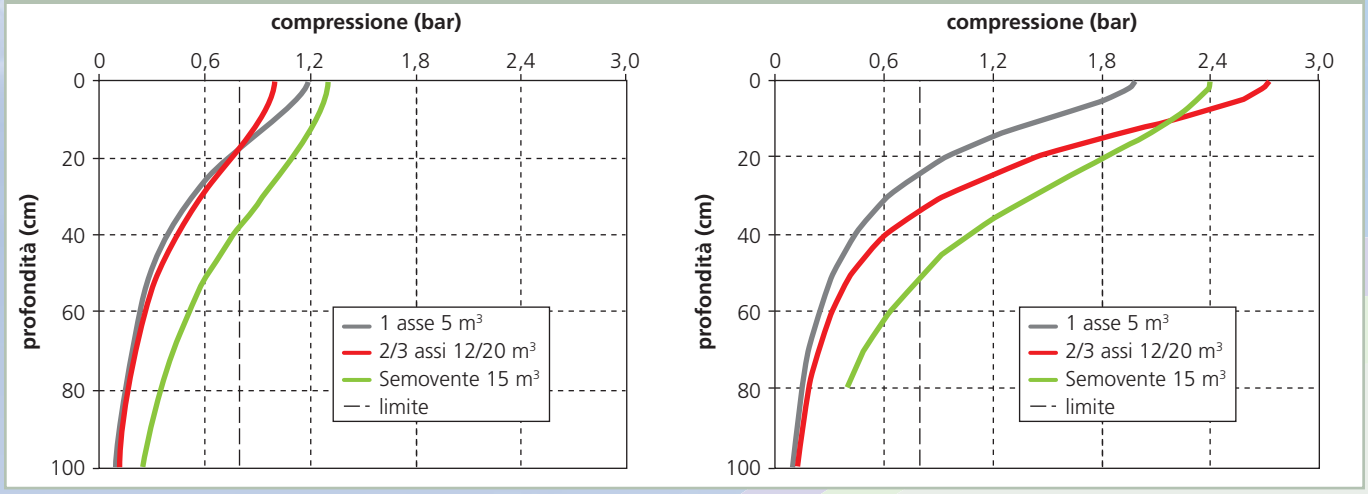
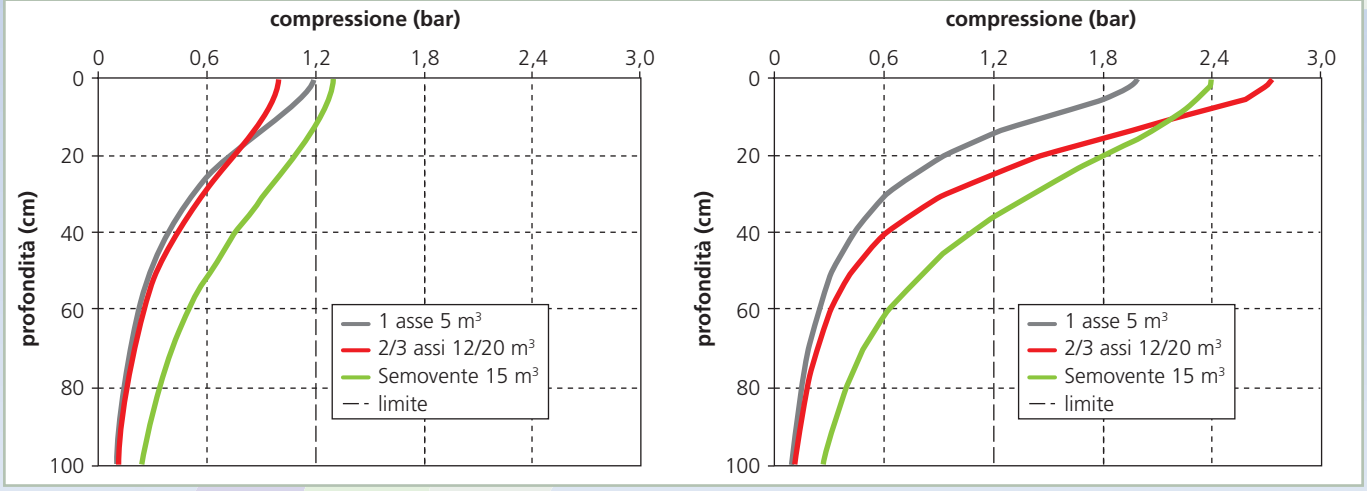


Figura 43 – Distribuzione dello stress di compressione negli strati causato da differenti attrezzature in un suolo sabbioso portante (a) e cedevole (b).



(< 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 i 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.

Con l'adozione del punto limite di stabilità è possibile definire lo strato di terreno a rischio di compattamento che, come riportato nella Tabella 6, presenta ampie oscillazioni. Si va dai valori minimi (nessun pericolo di compattamento) per i carrobotte 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.

Nei successivi grafici contenuti nelle Figure 44, 45, 46 e 47, è rappresentata la distribuzione della pressione al suolo al passaggio delle ruote delle varie macchine nelle diverse condizioni del terreno.

Tabella 6 – 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^2)	Pressione nella superficie di contatto (bar)	Strato a rischio di compattamento (cm)
Carrobotte monoasse 5 m^3	portante	argillosa	2144	1,46	20
	cedevole	argillosa	2735	1,15	25
	portante	sabbiosa	2144	1,46	0
	cedevole	sabbiosa	2735	1,15	15
Carrobotte 2/3 assi 12/20 m^3	portante	argillosa	2785	1,23	20
	cedevole	argillosa	2179	1,58	35
	portante	sabbiosa	2785	1,23	0
	cedevole	sabbiosa	2179	1,58	25
Carrobotte semovente 15 m^3	portante	argillosa	5248	1,61	40
	cedevole	argillosa	6098	1,38	50
	portante	sabbiosa	5248	1,61	15
	cedevole	sabbiosa	6098	1,38	35

Figura 44 – 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.

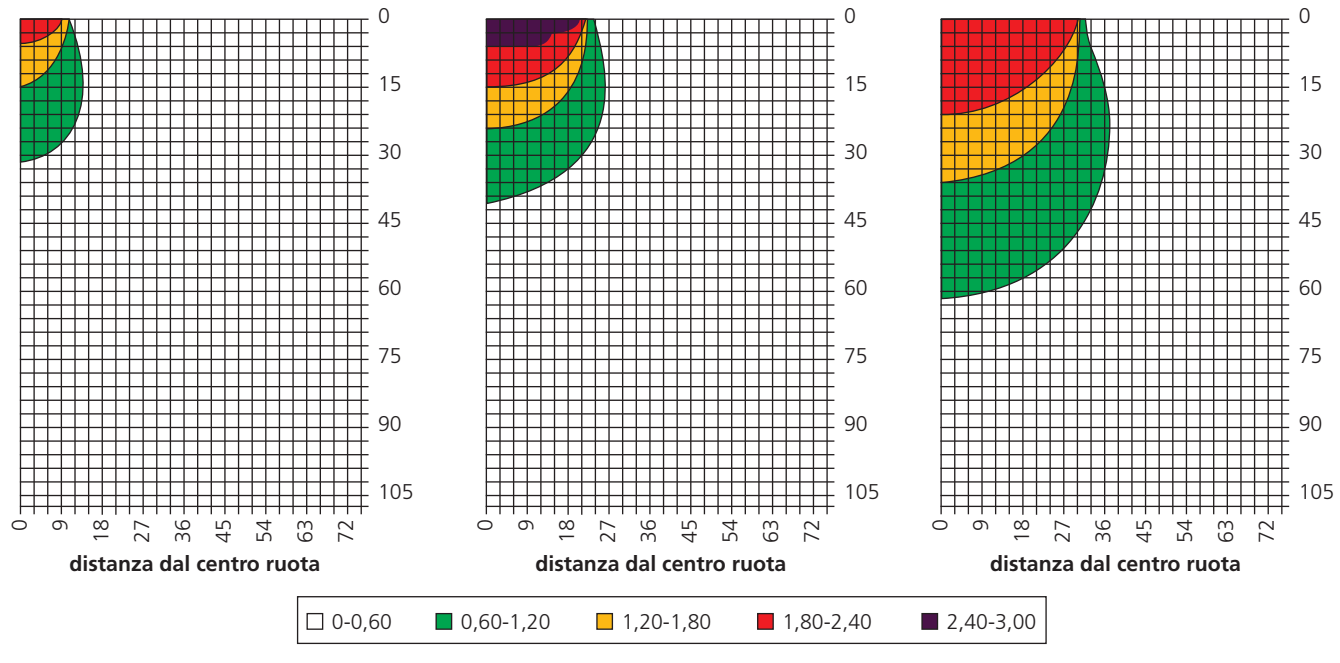


Figura 45 – Rappresentazione bidimensionale della propagazione dello stress nel terreno sabbioso portante. Da sinistra a destra rispettivamente spandiliquame a 1 asse, spandiliquame a due/tre assi, semovente.

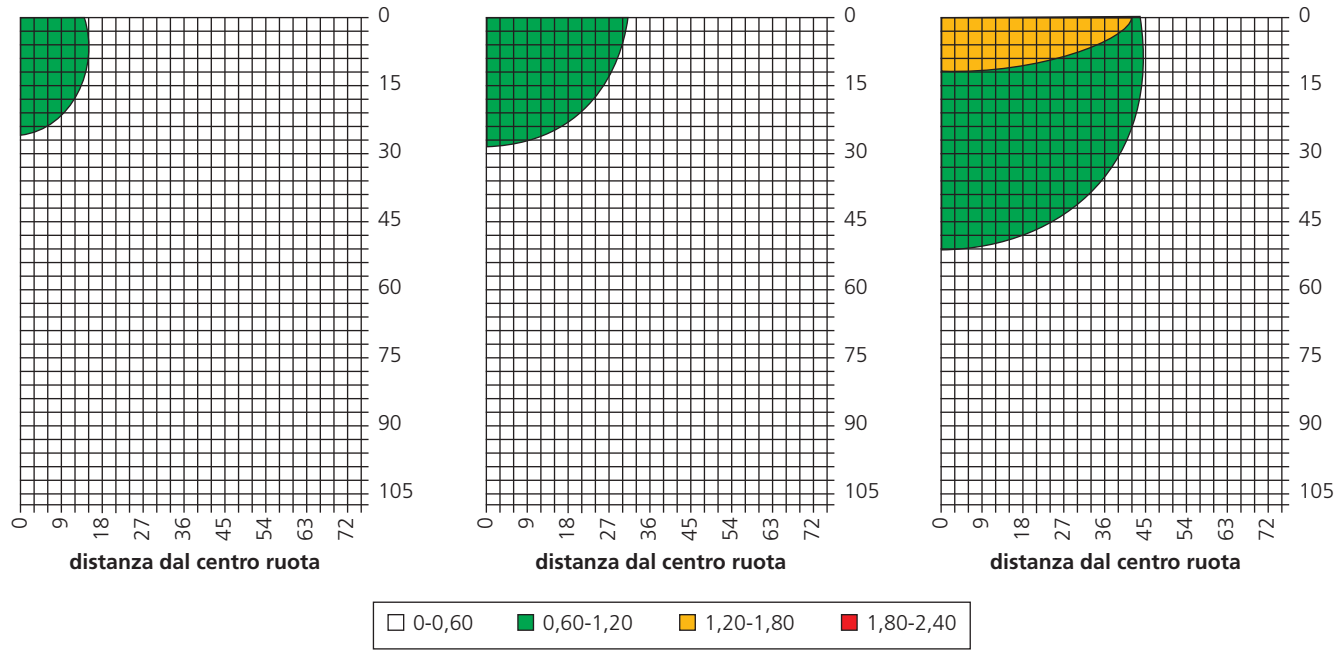


Figura 46 – Rappresentazione bidimensionale della propagazione dello stress nel terreno argilloso cedevole. Da sinistra a destra rispettivamente spandiliquame a 1 asse, spandiliquame a due/tre assi, semovente.

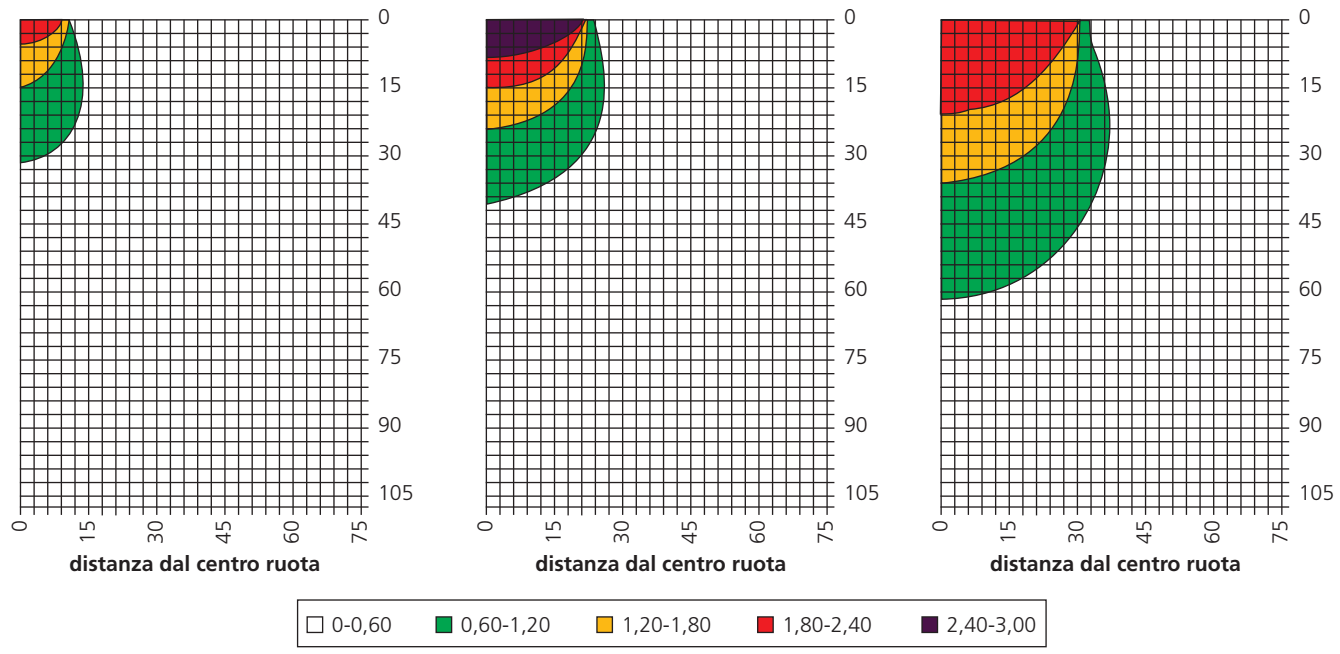
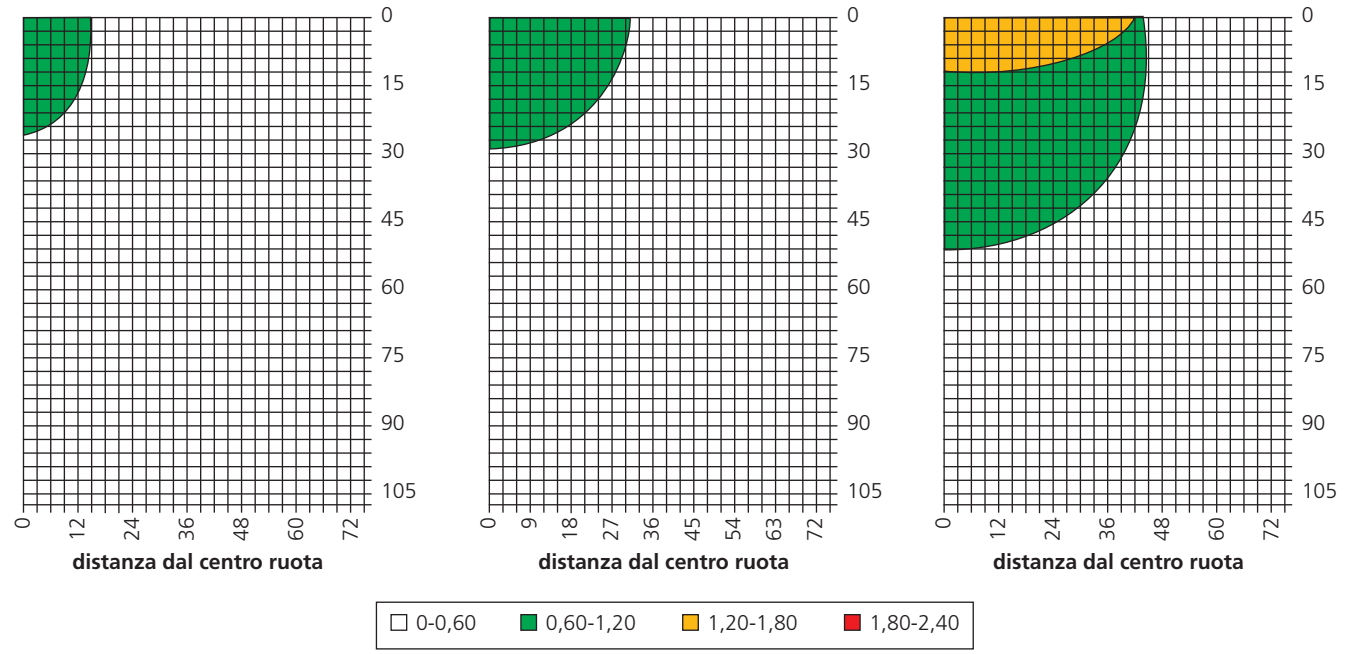


Figura 47 – Rappresentazione bidimensionale della propagazione dello stress nel terreno argilloso portante. Da sinistra a destra rispettivamente spandiliquame a 1 asse, spandiliquame a due/tre assi, semovente.



5.3 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.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ASAE Standards, 2004. S313.3: Soil cone penetrometer. ASABE St. Joseph, MI.

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.

Balsari P., Airoldi G., 1995. Liquami zootecnici, soluzione per spanderli ed interrarli. Macchine e Motori Agricoli, 11: 42-52.

Balsari P., Airoldi G., Gioelli F., 2002. Design and realization of an innovative slurry spreader, Budapest 2002

Balsari P., Gioelli F., 2003. Tecniche e attrezzature per lo spandimento dei liquami. Informatore Agrario 45: 71-76.

Bastgen H.M., Diserens E., 2009. q value for calculation of pressure propagation in arable soils taking topsoil stability into account. Soil [3] 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.

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., 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.

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.

EUROPEAN COMMISSION, 2003. Integrated pollution prevention and control (ippc), reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs.

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.

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.

Huijsmans, J.F.M., 2003. Manure application and ammonia volatilization, PhD thesis Wageningen University ISBN 90-5808-937-1.

Pezzuolo A., Sartori L. 2012. Minore compattamento controllando il traffico delle macchine in campo. L'Informatore Agrario n°3, pp 85 – 90.

Pezzuolo A., Gasparini F. 2012. Distribuzione degli effluenti: come scegliere il cantiere giusto. L'Informatore Agrario n°41, pp 48-51.

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.

Sangiorgi F., 2000. Di.Re.Zo. Distribuzione Reflui Zootecnici. Regione Lombardia, Direzione Generale Agricoltura.

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., 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.

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.

Tabaglio V., Ligabue M., 1998. Confronto fra le diverse modalità di distribuzione dei reflui zootecnici su prato stabile, Rivista di Agronomia, 32: 221-230.

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.

Coordinatore

Centro Ricerche
Produzioni Animali
C.R.P.A. S.p.A.

Viale Timavo 43/2
42121 Reggio Emilia - Italia

Tel. +39 0522 436999
Fax +39 0522 435142

http://aqua.crpa.it
Email: aqua@crpa.it

Finanziato dall'Unione europea nell'ambito
del Programma Life Plus Ambiente,
il progetto AQUA è iniziato il 01 ottobre 2010
e terminerà il 31 marzo 2014.

AQUA è coordinato da CRPA spa e
cofinanziato dalle Regioni Piemonte, Lombardia,
Veneto ed Emilia-Romagna, dalle aziende multiservizi
IREN ed HerAmbiente, da AGCO Italia.

Partners per la realizzazione sono
Fondazione CRPA Studi e Ricerche, CRA, IPLA Piemonte,
ERSAF Lombardia, Veneto Agricoltura
ed ERSA Friuli Venezia-Giulia.