



Progetto

GESTIONE SOSTENIBILE ED EFFICIENTE DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO PER LA FERTILIZZAZIONE DELLE COLTURE – GeSEFFE

INDICAZIONI OPERATIVE PER LA GESTIONE DEI REFLUI ZOOTECNICI



Febbraio 2020



PSR LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
PRETERRANCI
2014 2020



Regione
Lombardia

FEASR – Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020

MISURA 1. – “Trasferimento di conoscenze e azioni di informazione”

SOTTOMISURA 1.2 – “Sostegno a attività dimostrative e azioni di informazione”

OPERAZIONE 1.2.01 – “Progetti dimostrativi e azioni di informazione”

Progetto

**GESTIONE SOSTENIBILE ED EFFICIENTE DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO PER
LA FERTILIZZAZIONE DELLE COLTURE – GeSEFFE**

Responsabile scientifico: prof. Giorgio Provolo

Collaboratori: dott. Flavio Sommariva, dott. Alberto Finzi, dott. Omar Ferrari



PSR LOMBARDIA
2014 2020
L'INNOVAZIONE
PRETERRACCI



Regione
Lombardia

Sommario

Il progetto Geseffe.....	3
Effluenti zootecnici: un prodotto che ha valore	4
Azoto nel sistema azienda.....	5
Fosforo.....	7
Caratteristiche degli effluenti al campo	8
Previsione delle produzioni annue di effluenti e nutrienti	8
Stima mediante valori standard	8
Valutazione mediante calcolo	9
Determinazione delle caratteristiche degli effluenti mediante analisi dirette.....	10
Influenza della stabulazione sui volumi degli effluenti.....	10
Acque aggiuntive	12
L'importanza della riduzione della diluizione	12
Contenuto in nutrienti al momento della distribuzione	14
Determinazione delle caratteristiche degli effluenti mediante misure indirette.....	14
Valutazione tramite monitoraggio della gestione degli effluenti in allevamento	15
Utilizzazione agronomica degli effluenti	17
Omogeneizzazione degli effluenti.....	17
La distribuzione degli effluenti.....	18
Il piano di concimazione	27
Il bilancio dell'azoto.....	27
Il bilancio dell'azoto semplificato.....	29
Il software GEZOO	30
Gestione colturale	30
Gestione zootecnica	31
Confronto	32
Piano di concimazione.....	34
Report.....	34
Valutazione della gestione degli effluenti	35

Il progetto Geseffe

Il settore agricolo è considerato come il comparto produttivo maggiormente responsabile dell'inquinamento diffuso delle acque superficiali e sotterranee a causa dell'uso agronomico di fertilizzanti, liquami, effluenti di allevamento zootecnici.

L'agricoltura italiana, secondo le stime dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), incide per oltre il 60% sui rilasci di azoto verso le acque superficiali e si rileva una stretta correlazione tra la concentrazione dei nitrati nelle acque e l'intensità delle pratiche agricole presenti sul territorio. È soprattutto nella Pianura Padana, ed in particolare nel territorio lombardo di pianura, caratterizzato da zone ad elevato carico zootecnico, che si riscontra l'uso di fertilizzanti minerali azotati in concomitanza ad un'elevata disponibilità di effluenti di allevamento.

Le misure di tutela espresse in primo luogo dalla "Direttiva Nitrati" (91/676/CEE) e dai recepimenti nazionali e regionali attraverso la definizione di "Programmi d'Azione" hanno visto come principale soluzione il vincolo di 170 kg/ha di apporto azotato da effluente di allevamento.

Tale indicazione, seppur riconoscendo il principio di precauzione atto a prevenire la contaminazione delle acque dall'inquinamento di nitrati di origine agricola, mal si concilia con l'assetto zootecnico presente in Regione Lombardia che vede un sistema produttivo che si basa sul binomio coltivazioni cerealicolo-foraggiere intensive e alto carico di bestiame allevato per unità di superficie.

Per tutta una serie di ragioni, storiche, socio-economiche e condizionate anche dall'assetto territoriale, tale modello è difficilmente modificabile e, anzi, è andato nei fatti progressivamente rafforzandosi con una sempre maggiore concentrazione dell'attività. Resta evidente che la sostenibilità ambientale ed il

controllo dell'impatto sono obiettivi fondamentali, uniti alla conservazione di un sistema sostenibile anche dal punto di vista economico.

Attualmente le disposizioni cogenti indicano come parametro di conformità ambientale, nelle zone vulnerabili, la distribuzione di 170 kg di azoto di origine zootecnica, efficienti per il 50-60%, a cui si aggiunge una quota di fertilizzante di sintesi, per soddisfare il fabbisogno colturale.

Le dinamiche relative al comparto effluente – suolo – acque non sono le uniche a meritare una estrema attenzione quando si tratta la sostenibilità ambientale dell'allevamento. In anni più recenti, sono state evidenziate le relazioni tra gestione degli effluenti prodotti in azienda e qualità dell'aria; infatti, le emissioni di gas climalteranti (protossido di azoto e metano) e quelle di gas acidificanti (ammoniaca) derivano anche dalla gestione degli effluenti.

Il Piano Regionale degli interventi per la qualità dell'aria (PRIA) di Regione Lombardia indica come il settore agricolo abbia un ruolo importante nella produzione di emissioni in atmosfera: le attività zootecniche sono responsabili pressoché della **totalità delle emissioni di ammoniaca (NH₃)**, che interferiscono sia con i processi di **acidificazione** sia con la formazione secondaria del **particolato atmosferico**, e di **gran parte delle emissioni di metano (CH₄) e protossido d'azoto (N₂O)**.

In questo ambito, realizzare un progetto per dimostrare e divulgare le modalità di distribuzione che migliorino l'efficienza di utilizzo dei nutrienti da parte delle colture e minimizzino le emissioni in atmosfera, concorre in modo fondamentale alla razionalizzazione nell'uso agronomico degli effluenti di allevamento e, oltre a migliorare le performance ambientali, permette di valorizzare efficacemente gli elementi nutritivi in essi contenuti nell'ottica di un'economia circolare.

Effluenti zootecnici: un prodotto che ha valore

La gestione degli effluenti di allevamento ha assunto una particolare rilevanza tra le operazioni dell'azienda zootecnica. L'attenzione deriva dall'opportunità di valorizzare un prodotto che ha un elevato valore fertilizzante ma anche un elevato costo delle operazioni di utilizzazione agronomica.

Infatti, il costo per la sola distribuzione degli effluenti è mediamente di 3 €/m³ e può raggiungere valori più elevati se si deve trasportare a distanze superiori ai 3 km e quindi le operazioni di distribuzione devono essere svolte in modo da valorizzare al meglio il contenuto fertilizzante di questo prodotto.

Se si considerano i contenuti di azoto, fosforo e potassio nei liquami, il corrispondente valore, basato sull'acquisto di fertilizzanti minerali, risulta, per un liquame con caratteristiche medie per le aziende lombarde, pari a 4 €/m³ (tabella 1). E' evidente che questi valori possono variare notevolmente in relazione alla diluizione del liquame e alle caratteristiche dell'allevamento.

Inoltre, è importante considerare che, oltre al valore in macronutrienti, gli effluenti sono ricchi di micronutrienti e contengono sostanza organica e consentono quindi di mantenere o migliorare la fertilità del terreno.

Una corretta utilizzazione agronomica risulta quindi importante per non "sprecare" questo prodotto con distribuzioni effettuate in periodi non adatti, con attrezzature che non consentono una distribuzione uniforme.

Tabella 1 – contenuto in macronutrienti mediamente presente nei liquami zootecnici

elemento	Contenuto (kg/m ³)	Valore (€/m ³)
N	2,5	1,9
P ₂ O ₅	1,6	1,1
K ₂ O	2,6	1,0
Totale		4,0

Al tempo stesso, una gestione adeguata degli effluenti deve garantire una minimizzazione delle emissioni che possono derivare dall'utilizzazione di questo prodotto.

Negli ultimi anni è infatti aumentata la preoccupazione per quanto riguarda lo stato di salute dell'ambiente e questo ha portato a rivolgere l'attenzione verso l'inquinamento di origine antropica anche nel settore agricolo. La Comunità Europea ha di conseguenza emanato direttive rivolte a tutelare l'ambiente e il territorio, sempre cercando di garantire un livello produttivo adeguato.

Nel quadro delle attività agricole, la zootecnica è indubbiamente quella che può causare maggiori problemi ambientali se non gestita in maniera corretta e considerando tutto il suo ciclo di produzione. Nell'agricoltura tradizionale, era consolidata un'elevata integrazione tra le attività di allevamento e di coltivazione. Il valore degli effluenti era riconosciuto per le sue proprietà positive che esercitava sui suoli, come ammendante e fertilizzante per le colture.

Lo sviluppo dell'agricoltura moderna ha apportato numerosi cambiamenti e miglioramenti nell'efficienza della produzione, caratterizzata da una marcata specializzazione produttiva. Questo ha portato le aziende a concentrarsi su un numero ridotto di attività in certi casi scollegate tra di loro. La conseguenza è stata una inevitabile separazione delle attività di allevamento (con i propri output) dalle attività di coltivazione, dove sempre più spesso sono impiegati fertilizzanti inorganici per soddisfare le richieste delle colture praticate. In risposta a questo problema di gestione e di riutilizzo degli effluenti, sono state predisposti in molti paesi dell'Unione Europea linee guida e regolamenti che incoraggiano le migliori pratiche agricole. Molte di queste indicazioni focalizzano l'attenzione sulla gestione degli effluenti e incoraggiano un approccio più attento ed organizzato alla fertilizzazione.

È riconosciuto, infatti, che l'attività agricola-zootecnica contribuisce all'inquinamento di tipo diffuso causando effetti negativi alle acque sia sotterranee, sia superficiali oltre a emissioni verso l'aria e accumulo di sostanze nel suolo. Pur non essendo l'unica attività responsabile di questo fenomeno, ad essa si attribuiscono la maggior parte dei rilasci di azoto verso le acque superficiali e sotterranee. Inoltre, rappresenta la fonte principale di alcune emissioni in aria.

Al fine di intervenire sul problema, è essenziale conoscere le caratteristiche del territorio dove si sviluppano le attività in esame. Occorre infatti esaminare ed avere ben chiari i processi e le dinamiche ambientali, fisiche, sociali ed economiche per affrontare il problema.

La gestione dei reflui zootecnici è la fase finale dell'allevamento che porta alla produzione di latte, carne, uova. Una corretta prassi consisterebbe nell'alimentare gli animali con i prodotti dei terreni aziendali (salvo una integrazione equivalente agli elementi nutritivi asportati con la vendita dei prodotti) e utilizzare gli effluenti con quantitativi corretti e con una tempistica opportuna in modo da riportare la fertilità ai terreni. La nutrizione animale infatti gioca un ruolo chiave nel controllo del flusso dei nutrienti nelle aziende zootecniche. Infatti, mediamente oltre il 70% dell'azoto e del fosforo assunti dagli animali vengono escreti e sono contenuti negli effluenti.

In molti allevamenti si riscontra un elevato utilizzo di alimenti acquistati all'esterno dell'azienda che si ritrovano negli effluenti, portando ad un eccesso di nutrienti rispetto alla recettività dei terreni aziendali, aumentando, di conseguenza, il rischio di rilascio verso l'ambiente.

Infatti, solo un certo quantitativo di questi svolgerà un ruolo fertilizzante mentre la quota non utilizzata dalle colture o trattenuta dal suolo si trasferirà nel suolo, acqua e aria.

Alla quota di materiale organico si sommano i fertilizzanti minerali che vengono distribuiti

spesso anche in sovrapposizione agli effluenti e questo comporta un ulteriore fattore di allarme da tenere sotto controllo. Per molte aziende, riequilibrare i nutrienti prodotti con gli effluenti e le esigenze delle colture non è facile; per le situazioni caratterizzate da una bassa superficie disponibile, la soluzione potrebbe essere l'introduzione di trattamenti per rimozione del surplus di quegli elementi che causano ad alte concentrazioni problemi ambientali o il trasporto delle eccedenze in altre aziende non zootecniche che potrebbero beneficiare anche della sostanza organica e dei micronutrienti contenuti negli effluenti.

Azoto nel sistema azienda

L'azoto è l'elemento chiave per ogni forma di vita, molti organismi non sono in grado di utilizzare direttamente l'azoto elementare (azoto atmosferico), è invece disponibile nella forma ammoniacale o nitrica.

L'azoto elementare può essere inoltre trasformato in forme inorganiche attraverso processi naturali da leguminose o attraverso processi artificiali ad alto consumo energetico per creare concimi di sintesi. I principali processi naturali che entrano in gioco nelle trasformazioni delle forme azotate sono (Figura 1):

- nitrificazione, processo aerobico che, partendo da azoto ammoniacale, porta alla formazione di nitrito e successivamente nitrato, grazie all'attività batterica (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*);
- assimilazione di azoto da parte delle colture che riguarda sia la forma ammoniacale, sia quella nitrica;
- l'azoto in forma organica è una componente della sostanza organica, che comprende anche la biomassa microbica, in continua trasformazione in processi di degradazione e riorganizzazione;
- la denitrificazione è l'ultimo stadio, anaerobico, che porta alla formazione di azoto elementare partendo da nitrito e di un sottoprodotto indesiderato: protossido di azoto.

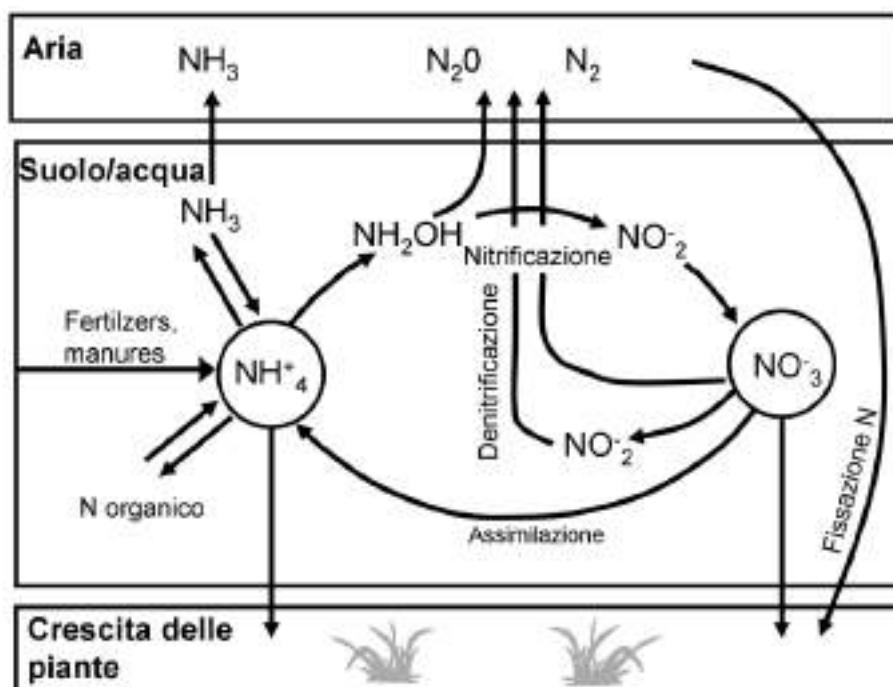


Figura 1 - Schematizzazione del ciclo dell'azoto e dei principali processi biologici nell'ambito agricolo

L'azoto presente negli effluenti, inizialmente presente come urea o composti organici, viene trasformato in forma ammoniacale. Questo può essere poi nitrificato velocemente dopo l'incorporazione nel terreno. Lo ione nitrato, carico negativo, si muove liberamente attraverso il suolo e può essere trasportato oltre la zona radicale e lisciviato in falda o nelle acque superficiali, contribuendo a fenomeni di eutrofizzazione insieme al fosforo. Inoltre, una elevata concentrazione di nitrati nell'acqua può comportare un rischio per la salute dell'uomo e degli animali se assunti in determinate quantità. Un fattore che può giocare un importante ruolo nel controllo della lisciviazione è la tessitura del suolo. La frazione argillosa può diminuire la lisciviazione dell'azoto fissando lo ione ammonio (carico positivamente), rallentando la nitrificazione (che porta un composto più mobile rispetto allo ione ammonio). In questo modo si ottiene un'efficienza più elevata di utilizzo dell'azoto. I suoli sabbiosi sono affetti da elevata lisciviazione rispetto a suoli argillosi, e questo porta a una bassa efficienza dell'uso dell'azoto.

I fattori di rischio di inquinamento più rilevanti da nitrati oltre all'elevata concentrazione degli allevamenti e dal numero di capi allevati, possono essere prima di tutto uno squilibrato rapporto tra capi allevati, superfici disponibili per lo spandimento degli effluenti prodotti e la capacità di assorbimento di nutrienti da parte delle colture in atto.

Calendari di distribuzione non coerenti con i periodi di maggiore fabbisogno di elementi nutritivi da parte delle colture possono causare rilasci nell'ambiente, così come l'errato dimensionamento dei contenitori per lo stoccaggio degli effluenti per far fronte periodi in cui non è possibile o non è consigliata l'applicazione al suolo.

L'uso molto diffuso dei sistemi di irrigazione per scorrimento superficiale e l'andamento meteorico facilitano il trasporto superficiale e la lisciviazione di nutrienti provenienti dal terreno, dagli effluenti di allevamento, dai fertilizzanti di sintesi.

In ogni caso, solo una parte dell'azoto escreto dagli animali raggiunge il terreno. Una quota

la cui entità dipende dalle condizioni e modalità di gestione, viene emessa in aria.

Una volta escreto, l'azoto ureico presente negli effluenti, a contatto con l'aria e in presenza dell'enzima ureasi si trasforma rapidamente in ammoniaca che tende a volatilizzare in aria.

Tale processo continua nelle varie fasi della gestione (zona di stabulazione, rimozione,

stoccaggio, distribuzione) portando a delle emissioni consistenti del prodotto che posso raggiungere il 50-60% dell'azoto presente negli effluenti escreti, ma possono anche essere limitate al 15-20% se vengono adottate opportune tecniche stabulative e gestionali (Figura 2).

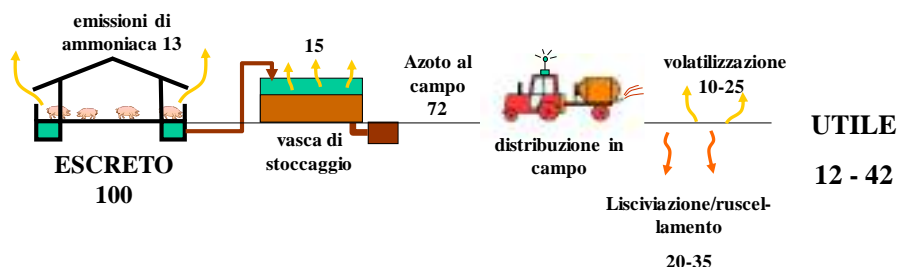


Figura 2 – Valori medi indicativi dell'entità delle emissioni di ammoniaca nella gestione dell'effluente e della quota di azoto effettivamente utilizzato dalle colture.

Oltre alla forma ammoniacale, le emissioni di azoto verso l'aria possono essere anche come protossido di azoto, derivante principalmente dalla denitrificazione, e di azoto elementare. Quest'ultimo, ovviamente, non costituisce un problema ambientale, ma rappresenta comunque una diminuzione della quantità di azoto potenzialmente utilizzabile nel ciclo produttivo.

Il fenomeno di rilascio delle diverse forme azotate verso l'aria continua anche dopo l'applicazione al terreno e relativa incorporazione dell'effluente con modalità che dipendono grandemente dalle condizioni specifiche. La temperatura, umidità, tessitura, sostanza organica del terreno costituiscono fattori chiave per le trasformazioni della sostanza organica presente nell'effluente e dell'azoto da ammoniacale a nitrico, ma anche per i fenomeni di denitrificazione. La dose e le caratteristiche dell'effluente applicato al terreno a loro volta influenzano i fenomeni di trasformazione. La presenza della copertura vegetale risulta un ulteriore effetto che può modificare i meccanismi di trasformazione delle sostanze azotate.

Fosforo

Il ciclo del fosforo è molto meno articolato di quello dell'azoto in quanto non presenta forme gassose alle temperature in cui viene utilizzato. Le trasformazioni riguardano l'equilibrio tra le tre frazioni in cui si può trovare il fosforo nel terreno: fosfati solubili; fosfati del "pool labile" e fosfati del "pool non labile". Il fosforo è comunemente presente come anione dell'acido ortofosforico e come tale viene assorbito e traslocato all'interno delle piante. I fosfati solubili si trovano presenti nella fase liquida del suolo come ioni. Il "pool labile" consiste di fosfati adsorbiti sugli scambiatori del suolo ed in equilibrio con i fosfati in soluzione. Il "pool non labile" comprende i fosfati insolubili che solo molto lentamente possono essere rilasciati nel "pool labile". Fosfati adsorbiti e fosfati presenti in soluzione si trovano in equilibrio dinamico.

Conseguentemente, i fosfati che gradualmente vengono assorbiti dalle piante sono compensati da quelli che si allontanano dalle superfici degli scambiatori. Nel tempo, però, gli ioni fosfato adsorbiti tendono ad evolvere

verso strutture cristalline con conseguente forte limitazione della mobilità del nutriente.

Il fosforo organico è in larga parte sotto forma di acidi nucleici, nucleotidi, fosfolipidi, fosfoproteine ed una serie di composti dell'acido fitico.

I fosfati organici non sono direttamente assorbibili da parte delle piante, ma devono essere preventivamente mineralizzati. Il fosforo liberato dai costituenti organici si distribuisce tra le forme di fosfato solubili e quelle adsorbite sugli scambiatori. In termini generali, circa i due terzi del fosforo totale presente nel terreno è in forma inorganica.

La maggior parte del rilascio di fosforo dai terreni agricoli avviene attraverso l'erosione delle particelle di suolo in cui è presente. Le

Caratteristiche degli effluenti al campo

Il primo passo per una attenta gestione degli effluenti di allevamento è quello di conoscere le quantità e le caratteristiche.

In particolare è necessario tener conto delle variazioni che possono intervenire durante le fasi di stabulazione, rimozione e stoccaggio per valutare quali sono le caratteristiche degli effluenti al momento della utilizzazione.

Alcune trasformazioni avvengono ovviamente anche nella fase di distribuzione e successivamente all'applicazione al terreno, ma le caratteristiche al momento del prelievo dagli stoccaggi sono quelle che vengono utilizzate come riferimento nelle valutazioni relative al carico di azoto previste dalla normativa.

Peraltro, la stima delle quantità e caratteristiche degli effluenti deve tener conto dei diversi obiettivi della gestione. Infatti, ai fini della programmazione delle attività e della stesura di un piano di concimazione preventivo è utile avere una stima della produzione annuale dei liquami prodotti e del loro contenuto di nutrienti.

perdite di fosforo disciolto, sia per percolazione, sia per scorrimento superficiale sono molto contenute quando il contenuto di fosforo nel suolo è lontano dalla saturazione. Quando però il contenuto di fosforo aumenta rispetto alla capacità di adsorbimento si possono avere fenomeni di lisciviazione del fosforo. Tale fenomeno è più frequente in terreni acidi e ricchi di sostanza organica, ma può essere riscontrato anche in altre condizioni. Anche se nelle zone ad elevata intensità zootecnica italiane non si rilevano al momento fenomeni preoccupanti di lisciviazione del fosforo, le continue applicazioni di dosi di fosforo superiori alle asportazioni da parte delle colture comporta un incremento del contenuto di fosforo dei nostri suoli che non può essere considerato sostenibile.

Di contro, al momento della distribuzione, le informazioni richieste sono più puntuali e riguardano l'effettiva concentrazione di nutrienti nel liquame presente in vasca.

Per questo i metodi che possono essere utilizzati per determinare le caratteristiche degli effluenti prodotti possono essere diversi.

Previsione delle produzioni annue di effluenti e nutrienti

Stima mediante valori standard

Uno dei metodi frequentemente utilizzato per la determinazione delle caratteristiche degli effluenti è quello di utilizzare dei dati medi tabellari. In genere, questi dati sono riferiti al capo o all'unità di peso vivo e riportano valori per le diverse categorie di animali.

Questo approccio è quello generalmente utilizzato ai fini normativi in quanto è semplice da utilizzare e fornisce risultati mediamente attendibili. Infatti i dati contenuti nelle tabelle derivano da statistiche basate su numerosi dati sperimentali e sono valide per gli alleva-

menti che prevedono una gestione degli effluenti tra quelle previste nelle casistiche analizzate.

Inoltre, l'utilizzo di questo metodo diventa utile per stimare le caratteristiche degli effluenti in fase di progetto di un nuovo allevamento.

Di contro, questa modalità di calcolo non si adatta alle caratteristiche specifiche di un allevamento che adotta tecniche per la riduzione delle quantità di nutrienti prodotte, di mitigazione delle emissioni, di riduzione delle acque di lavaggio.

Valutazione mediante calcolo

L'utilizzo di metodi di calcolo delle quantità di effluenti e nutrienti prodotte portano a risultati più aderenti alla realtà dell'allevamento, ma richiedono maggiore disponibilità di dati e attenzione nel loro utilizzo per evitare di ottenere risultati poco attendibili.

Bisogna considerare che la quantità di effluenti che vengono convogliati nelle vasche di stoccaggio dipende da numerosi fattori legati alle caratteristiche degli animali allevati (specie, categoria, peso vivo, età), alle modalità di alimentazione (composizione e dose della razione alimentare, assunzione di acqua) e dal tipo di gestione aziendale (durata del ciclo, uso di materiale di lettiera, temperatura ambiente, sistema di abbeverata, uso di acqua per la pulizia della zona di stabulazione e per il lavaggio degli impianti. Inoltre, è necessario considerare la raccolta delle acque meteoriche in zone di stabulazione scoperte.

La forte variabilità della produzione di effluenti per animali dello stesso tipo dipende principalmente dalla assunzione di acqua (volontaria o con la razione alimentare) e dalle acque di lavaggio.

Anche escludendo le acque di lavaggio degli impianti e quelle meteoriche, che possono essere conteggiate a parte, rimane una elevata variabilità dei volumi prodotti per capo o per unità di peso vivo.

I metodi di calcolo si basano sull'assunzione e digeribilità della sostanza secca della razione alimentare. In questo modo è possibile determinare la quantità di sostanza secca che viene escreta dagli animali. Per quanto riguarda la quantità di acqua escreta, alcuni metodi di calcolo sono semplificati e assumono una concentrazione di solidi predefinita nelle escrezioni. Altri metodi utilizzano invece modelli di calcolo della quantità di acqua ingerita e forniscono dati sul volume di deiezioni in relazione alla razione alimentare.

I metodi per la stima dei volumi di effluente prodotto richiedono comunque informazioni specifiche sulle strutture e le modalità di gestione per garantire un risultato attendibile.

Per quanto riguarda le quantità di nutrienti prodotti invece, il metodo che può essere utilizzato è quello del bilancio degli elementi nutritivi.

L'escrezione di nutrienti nelle urine e nelle feci dipende dall'alimentazione e dall'utilizzazione dei nutrienti per produrre carne, latte e uova.

Ne deriva che il metodo, universalmente riconosciuto, per la valutazione delle escrezioni è quello del bilancio di massa ed è anche quello adottato dal DM 25/02/2016 "Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato".

Il bilancio dei nutrienti è un metodo robusto e semplice come applicazione, richiede però alcuni dati specifici sull'alimentazione e sulla ritenzione.

Inoltre, i nutrienti utilizzati dall'animale sono funzione dell'accrescimento giornaliero, degli indici di conversione e della produzione di latte e di uova, a seconda dei sistemi produttivi.

È gioco forza perciò che la valutazione delle escrezioni tenga conto di questi parametri cioè del sistema di allevamento utilizzato.

Per tutte le categorie e specie considerate si può applicare questa relazione per quanto riguarda l'azoto:

$$N_{\text{reflui}} = (N_{\text{consumato}} - N_{\text{prodotti}}) - N_{\text{volatilizzato}}$$

dove:

$N_{\text{consumato}}$ quantità di azoto consumato, ricavato attraverso il prodotto tra consumo alimentare e il contenuto di azoto nella razione impiegata

N_{prodotti} quantità di azoto ritenuta nei prodotti animali (latte, carne, uova). Si ricorre a indici di ritenzione della bibliografia internazionale considerando la quantità di N ritenuto per unità di prodotto relativamente costante nel tempo.

$N_{\text{volatilizzato}}$ quantità di azoto perso per volatilizzazione durante le fasi di permanenza in stalla, rimozione, stoccaggio ed eventuale trattamento dei reflui.

Il bilancio dei nutrienti è possibile per tutti gli elementi. Per quanto riguarda il fosforo diventa:

$$P_{\text{reflui}} = (P_{\text{consumato}} - P_{\text{prodotti}})$$

dove:

$P_{\text{consumato}}$ quantità di fosforo consumato, ricavato attraverso il prodotto tra consumo alimentare e il contenuto di fosforo nella razione impiegata

P_{prodotti} quantità di fosforo ritenuta nei prodotti animali (latte, carne, uova).

Determinazione delle caratteristiche degli effluenti mediante analisi dirette

Una delle modalità dirette di determinazione della composizione degli effluenti prodotti consiste nella effettuazione di un campione da sottoporre ad analisi di laboratorio.

A questo proposito bisogna evidenziare come i risultati analitici forniscono sempre una concentrazione che deve essere applicata al volume degli effluenti.

Pertanto, per poter ottenere un dato confrontabile con quello ottenibile utilizzando i dati tabellari, è necessario accompagnare il dato analitico con una misura dei volumi di effluente realmente prodotti nel periodo di cui si effettua la stima.

Per ottenere un dato comparabile con quello fornito dagli altri metodi descritti, è necessario quindi prevedere un monitoraggio dei volumi di effluente prodotto e diverse campionamenti nel corso dell'anno. La difficoltà di ottenere dei valori attendibili con questo metodo lo rende sconsigliabile per la stima della produzione annua di nutrienti.

Influenza della stabulazione sui volumi degli effluenti

Le deiezioni sono soggette a variazioni di tipo chimico, fisico e biologico dal momento dell'escrezione a quello di applicazione al terreno.

Nella zona di stabulazione degli animali, i principali fattori che possono influenzare le caratteristiche degli effluenti sono riconducibili all'aggiunta di acqua per la loro rimozione e la volatilizzazione dell'ammoniaca. Nel caso in cui le deiezioni permangano nella zona di stabulazione a lungo (più di qualche giorno) si possono instaurare anche processi fermentativi con la seguente riduzione della sostanza organica e dei solidi volatili. In genere una sosta così prolungata nella zona di stabulazione si riscontra solo quando è previsto un periodo di stoccaggio nella zona stessa (lettiera permanente o vasca di stoccaggio sotto pavimento fessurato).

Inoltre, il tipo di stabulazione influenza significativamente la forma fisica del refluo. Se si utilizza acqua di lavaggio si rende più facile da pompare, mentre, se viene aggiunto materiale in grado di assorbire la parte liquida delle deiezioni, si trasforma in materiale palabile.

In molti casi è possibile ottenere dalle diverse zone di stabulazione due diverse tipologie di effluente: una pompabile e l'altra palabile.

È utile, quindi esaminare le diverse tipologie di stabulazione in relazione alla variazione di volume e forma fisica delle deiezioni che possono comportare.

I **bovini** possono essere allevati in stalle a stabulazione fissa o libera. Nella stabulazione fissa le deiezioni possono essere miscelate con il materiale di lettiera in modo da formare un materiale palabile che può essere rimosso mediante nastri trasportatori. In questo caso, il volume dell'effluente prodotto aumenta in base alla quantità di paglia aggiunta e alla diminuita massa volumica del prodotto.

In alternativa è possibile prevedere la stabulazione fissa senza l'utilizzo di lettiera, che può essere sostituita da tappeti di gomma. In questo modo è possibile gestire le deiezioni come liquide e convogliarle mediante canalizzazione all'esterno della stalla. In questo caso, la cunetta posteriore è sostituita da un canale coperto con pavimento fessurato.

Nella valutazione dei volumi di effluenti prodotti dagli allevamenti con stabulazione fissa bisogna tenere conto che spesso viene praticato il pascolo stagionale. In questo periodo le deiezioni non vengono raccolte, ma depositate direttamente sul terreno. I volumi da gestire in allevamento vengono quindi proporzionalmente ridotti. Bisogna però considerare che il carico di nutrienti, in particolare di azoto, non viene modificato e che le quantità giornaliere di deiezioni prodotte rimangono le stesse nel periodo di stabulazione in stalla.

Per quanto riguarda gli allevamenti di bovini in stabulazione libera con lettiera permanente, se è prevista una zona non ricoperta di paglia, la produzione di effluente risulta suddivisa tra materiale palabile della lettiera, il cui volume e consistenza dipende dalla quantità di paglia utilizzata, e liquame prodotto nella zona pavimentata. Questa frazione risulta più o meno fluida a seconda della stagione e della presenza di aree di stabulazione non coperte.

Nelle stabulazioni in cui non è prevista la zona pavimentata, la produzione di effluente è quasi esclusivamente di materiale palabile. In questo caso, la frazione liquida è molto limitata ed è riferibile alle acque di sgrondo della lettiera. Queste possono essere assenti quando la quantità di paglia è rilevante, come spesso avviene per i vitelli.

Nel caso di altre soluzioni, come ad esempio la lettiera inclinata, la consistenza dell'effluente risulta influenzata dalla frequente rimozione delle deiezioni miste a paglia effettuato nella zona centrale.

Quando la stabulazione libera prevede una zona di riposo a cuccette, le alternative riguardano: presenza o meno di una zona pavimentata scoperta, con la conseguente diluizione del liquame nei periodi piovosi; utilizzo di pavimentazione piena o fessurata nei corridoi di passaggio degli animali e nella zona di alimentazione. Con pavimento pieno è possibile utilizzare paglia come lettiera nelle cuccette in quanto può essere rimossa con le deiezioni, producendo un liquame paglioso. Il pavimento fessurato o forato in prossimità delle cuccette può essere utilizzato solo se si prevedono come materiale per il fondo delle cuccette, materassi o tappetini di gomma, altrimenti si rischia l'intasamento delle aperture con il conseguente accumulo di liquame nel corridoio.

La presenza di pavimento fessurato o forato elimina la necessità di rimuovere le deiezioni dai corridoi e paddock. Con pavimento pieno questa operazione viene generalmente effettuata mediante raschiatori meccanici.

Il volume di deiezioni prodotto da un allevamento di **suini** risente in modo particolare delle tecniche di stabulazione adottate. In passato alcune soluzioni prevedevano l'uso di notevoli quantità di acqua per la rimozione delle deiezioni durante il ciclo. Queste tecniche sono quasi completamente abbandonate e quindi l'uso di acqua è limitato alle pulizie a fine ciclo.

Le soluzioni di stabulazione dei suini su pavimento parzialmente fessurato, come a esempio quelle che si possono utilizzare per il reparto dei suini all'ingrasso con corsia di defecazione esterna, consentono di ridurre significativamente le quantità di acqua di lavaggio utilizzate durante il ciclo che si azzerano sostanzialmente quando si utilizzano fessurati totali.

Nel caso di allevamento su lettiera, i volumi prodotti risentono dell'aggiunta di materiale che ne può modificare, anche sensibilmente, la densità.

Gli allevamenti **avicoli da carne** sono notevolmente standardizzati e prevedono la stabulazione su lettiera permanente, costituita da uno strato di materiale, generalmente segatura di legno, che viene rimosso a fine ciclo.

Più articolate sono le opzioni per le **galline ovaiole** che, soprattutto in relazione alle normative sul benessere degli animali, possono avere zone di defecazione differenziate.

Nel caso di allevamento in gabbia la differenza principale è relativa al sistema di rimozione. Se la pollina viene rimossa frequentemente e trasportata all'esterno dell'edificio risulta un materiale semiliquido e deve essere raccolta in una vasca di stoccaggio. Se viene lasciata accumulare in fossa profonda al disotto delle gabbie con opportuna ventilazione, la disidratazione naturale è sufficiente a renderla un prodotto palabile. Analogo risultato si ottiene utilizzando sistemi di predisidratazione posti al di sotto delle gabbie.

Acque aggiuntive

Per quanto riguarda le quantità di acqua che possono aggiungersi a quelle escrete e di lavaggio ottenute dalla valutazione riportata precedentemente, bisogna considerare le acque meteoriche raccolte da superfici scoperte e dalle vasche di stoccaggio, le eventuali acque di lavaggio impianti e l'acqua irrorata dall'impianto di raffreddamento per asperzione o nebulizzazione, se utilizzato.

Mentre per la quantificazione delle acque meteoriche la metodologia è semplice e si basa sul calcolo delle superfici che raccolgono acqua e della piovosità della zona, per quelle di raffreddamento la quantità di acqua utilizzata varia a seconda del sistema di raffreddamento utilizzato e dalla durata dell'azionamento.

Alcune sperimentazioni riportano valori da 0,34 a 2,60 L/capo/giorno per i suini all'ingrasso e fino a 3,8 L/h/scrofa. Per quantificare le acque di raffreddamento, è necessario utilizzare dei contatori dell'acqua utilizzata o valutare il consumo orario del sistema di raffreddamento e moltiplicarlo per il numero di ore di funzionamento.

Negli allevamenti di bovini, il raffreddamento in corsia di alimentazione con asperzione richiede notevoli quantità di acqua pari a 50-300 L/capo/giorno.

Se si considera un periodo di funzionamento pari a 60 giorni all'anno significa utilizzare un volume 3-18 m³ di acqua/capo/all'anno. Non tutta l'acqua distribuita confluisce nei liquami in quanto una frazione di questa viene evaporata. Nel caso di raffreddamento evaporativo per nebulizzazione, le quantità utilizzate sono invece molto più contenute (10-20 L/capo/giorno) e quasi totalmente evaporate.

L'importanza della riduzione della diluizione

Uno degli aspetti che deve essere valutato attentamente nella gestione aziendale degli effluenti riguarda la diluizione dei liquami legata agli apporti di acque che derivano da varie fonti (lavaggio impianti, meteoriche, raffreddamento). L'aumento dei volumi di liquami infatti comporta un notevole aggravio dei costi di gestione in quanto:

- aumentano le dimensioni delle vasche di stoccaggio necessarie;
- aumentano le quantità di liquami da trasportare e distribuire in campo;

- aumentano le dosi di liquame da distribuire a parità di apporto di nutrienti, con le conseguenti difficoltà di distribuzione e successiva lavorazione del terreno.

Per esemplificare con un caso reale le variazioni nella diluizione dei liquami che possono essere legate alla gestione dell'allevamento, in Figura 3 sono riportati i valori del contenuto in solidi dei liquami presenti nella vasca di stoccaggio in due allevamenti monitorati nel corso del progetto Geseffe. Nell'allevamento di bovini da latte, il contenuto di solidi in occasione delle distribuzioni primaverili è risultato del 5,4%. Tale valore si è ridotto al 3% nella distribuzione autunnale ed è risalito al 5,2% al termine dell'inverno.

Il forte abbassamento della concentrazione di solidi è dovuto in gran parte all'utilizzo di acqua per il raffrescamento nel periodo estivo.

Nell'allevamento di suini all'ingrasso, il fenomeno è analogo, anche se in questo caso, la concentrazione rimane piuttosto bassa anche nel periodo invernale.

Va inoltre considerato che il contenuto di solidi che viene riscontrato in vasca di stoccaggio nelle aziende zootecniche lombarde risulta molto basso ad indicare la elevata diluizione che si riscontra nella gestione delle deiezioni.

La concentrazione nei liquami degli allevamenti di suini viene influenzata principalmente dall'acqua di lavaggio e dall'acqua meteorica.

I valori riscontrati nelle vasche sono mediamente dell'1,8% di solidi che, rapportati ai valori in uscita dall'allevamento (3,25%), significa che i volumi di liquame quasi raddoppiano durante lo stoccaggio.

Nel caso dei bovini da latte i valori sono influenzati anche dalle acque di lavaggio della sala di mungitura che possono rappresentare anche il 30% degli effluenti prodotti.

La riduzione della diluizione dei liquami dovrebbe essere un intervento prioritario nelle aziende zootecniche per ridurre i costi di gestione degli effluenti e le dosi distribuite in campo. L'analisi dei consumi idrici dell'azienda è la prima operazione da intraprendere per valutare i possibili interventi da attuare.

L'eliminazione dell'acqua meteorica dalle vasche di stoccaggio è un obiettivo non sempre facilmente attuabile ma dove realizzato con copertura delle vasche porta al doppio beneficio di contenere le emissioni di ammoniaca in aria e di ridurre il volume dei liquami.

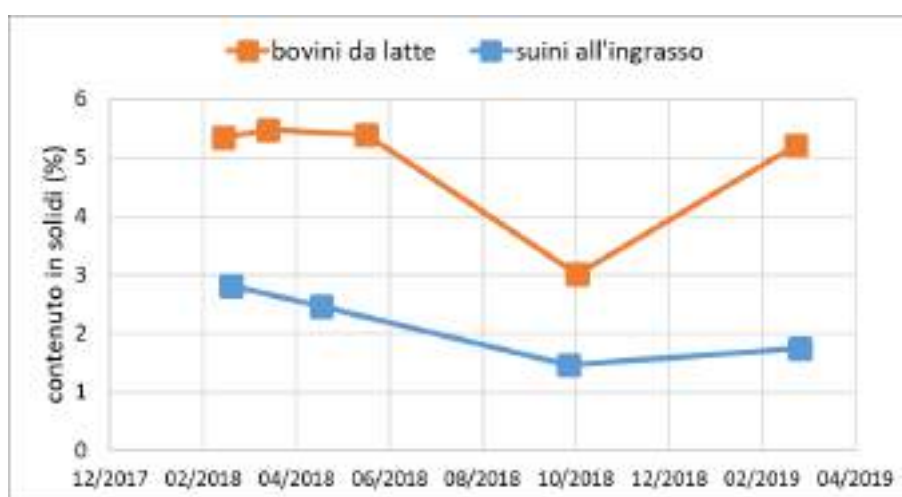


Figura 3 – Contenuto in solidi monitorati nella vasca di stoccaggio di due allevamenti nel corso del progetto Geseffe. E' evidente la diluizione dei liquami nel periodo estivo dovuto all'utilizzo dei sistemi di raffrescamento.

Contenuto in nutrienti al momento della distribuzione

Quando si applicano gli effluenti è importante determinare la quantità di effluente da distribuire in relazione alla dose di nutrienti che si intende applicare al terreno.

Normalmente l'elemento che si utilizza come riferimento è l'azoto ed è necessario tener conto delle perdite per volatilizzazione a cui va incontro questo elemento durante la gestione. La quantità di azoto presente negli effluenti al momento del prelievo dagli stoccaggi viene indicato come "azoto al campo". Questo valore è al netto delle perdite per volatilizzazione che si riscontrano nella stabulazione e negli stoccaggi, ma al lordo di quelle che si verificano durante e dopo la distribuzione in campo.

La caratterizzazione degli effluenti al momento della distribuzione può essere effettuato con analisi dirette o mediante metodi indiretti.

L'effettuazione di un campione di liquame richiede, in ogni caso, un'attenta modalità di campionamento ai fini di ottenere un campione rappresentativo della massa di effluente. Nel caso di effluenti liquidi, il metodo migliore risulta la preventiva e completa miscelazione della massa, ma deve essere accompagnato anche da attrezzature per il prelievo che consentano di raccogliere un campione in diversi punti e a diverse profondità delle vasche. Si possono a esempio utilizzare campionatori ad asta rigida, come quello schematizzato in Figura 4, ed effettuare campionamenti in diversi punti e diverse profondità della vasca.

Il campionamento degli effluenti palabili risulta condizionato dalla sostanziale impossibilità di una miscelazione completa della massa. Si può ovviare prelevando dei sottocampioni in diversi punti del cumulo in modo da ottenere una massa che rappresenta l'intero cumulo. Da questa si possono ottenere ulteriori

sottocampioni e con miscele successive un campione finale che possa essere considerato rappresentativo della massa iniziale.

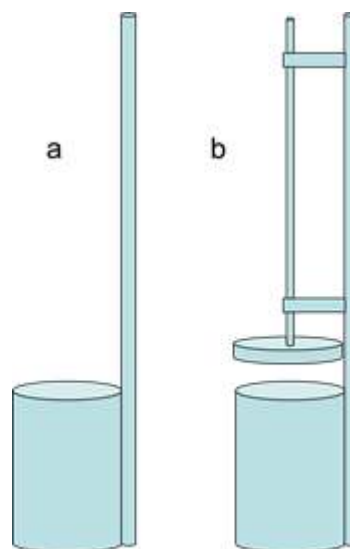


Figura 4– Campionatori con asta rigida per il prelievo di liquami da massa agitata (a) e con tappo per prelievo alla profondità voluta (b).

Determinazione delle caratteristiche degli effluenti mediante misure indirette

I metodi di valutazione indiretta delle caratteristiche degli effluenti si basano su misure di proprietà chimico-fisiche del liquame a essi correlati. Sul mercato esistono differenti dispositivi commerciali come lo *Slurry Meter*, densimetro tarato sui valori degli elementi fertilizzanti, l'*Agrometer* ed il *Quantofix*, per l'azoto ammoniacale, l'*idrometro* per l'azoto ed il fosforo, il *sistema a ione selettivo* per l'azoto. Questi metodi permettono di effettuare misure "in situ" ed ottenere i risultati in tempo reale, ma richiedono una preparazione del liquame e l'uso di reattivi. L'utilizzo della *conduttività elettrica (EC)* ha consentito di realizzare un dispositivo a basso costo che può essere direttamente montato sui carri spandilquame o nelle vasche di stoccaggio. I risultati che si ottengono sono attendibili per quanto riguarda il contenuto di azoto. La precisione dipende dalla calibrazione dello strumento

ma è adeguata per determinare la dose di liquame al momento della distribuzione.

L'uso della tecnologia NIR ha fornito alcuni risultati particolarmente promettenti e sono disponibili alcune realizzazioni commerciali. Anche questi strumenti hanno raggiunto una buona affidabilità per quanto riguarda la determinazione del contenuto in azoto e pos-

sono essere installati direttamente sulle attrezzature utilizzate per la distribuzione e, quindi, fornire il contenuto di elementi fertilizzanti in tempo reale. Questo dato può essere utilizzato per regolare la quantità di effluente distribuito in relazione alle dosi programmate (Figura 5).



Figura 5– Attrezzatura per la distribuzione dei liquami con regolazione della dose in relazione alla velocità di avanzamento e il contenuto di azoto misurato tramite NIR.

Tra i sistemi rapidi di analisi, è stato recentemente introdotto sul mercato uno strumento basato sulla risonanza magnetica nucleare (NMR). Il principio si basa sull'assorbimento e ri-emissione di radiazioni elettromagnetiche da parte dei nuclei delle singole sostanze contenute negli effluenti.

Modulando opportunamente le frequenze delle onde elettromagnetiche è possibile distinguere i diversi elementi e valutarne la concentrazione nel campione.

Lo strumento è molto semplice da utilizzare e si configura principalmente come strumento da banco (Figura 6) anche se è possibile l'utilizzo anche in linea, montato a esempio su un carrobotte. I risultati ottenuti mostrano delle buone correlazioni tra i dati forniti dallo strumento e quelli di laboratorio (Figura 10).

Valutazione tramite monitoraggio della gestione degli effluenti in allevamento

Le caratteristiche degli effluenti possono derivare da una attenta valutazione della gestione dell'allevamento dal punto di vista dei nutrienti in ingresso e in uscita dal sistema produttivo. Questo approccio viene codificato nel quadro più ampio dei sistemi di gestione ambientale. In questo ambito, nelle aziende agricole diventa essenziale il controllo e la quantificazione dei nutrienti in ogni comparto produttivo e risulta necessario che siano controllati e monitorati almeno questi aspetti: flussi idrici, raccolta reflui, registrazione delle diete, consistenza animale e destino degli effluenti.

Come è stato evidenziato in precedenza gli elementi che possono creare impatto ambientale nelle aziende zootecniche sono azoto (N)

e fosforo (P). Risulta evidente che il monitoraggio dei due nutrienti nelle aziende diventa essenziale per poter riuscire a creare una politica ambientale aziendale.



Figura 6 – Strumento per la valutazione indiretta del contenuto in nutrienti basato sulla risonanza magnetica nucleare (NMR).

Sono stati sviluppati anche numerosi modelli per la determinazione dei nutrienti negli effluenti a causa degli svantaggi dovuti alle analisi chimiche dei campioni di effluenti (poca rappresentatività, alto costo, lentezza nei risultati).

I metodi di determinazione dei nutrienti si basano tutti sul bilancio degli stessi all'interno dell'azienda e in particolare sul principio che nulla si crea e nulla si distrugge. Per questo nell'azienda vengono presi in considerazione gli input e gli output dei nutrienti.

Per questo il monitoraggio della produzione degli effluenti deve considerare, oltre alle concentrazioni dei vari flussi di materiale all'interno dell'allevamento, anche i flussi di massa, cioè le quantità in ingresso (alimenti, acqua, animali) e in uscita (effluenti, animali, latte).

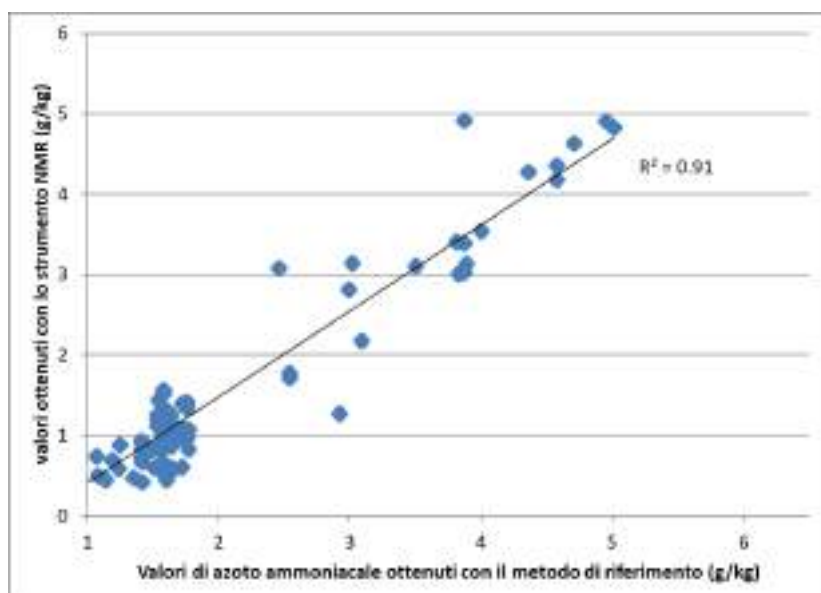


Figura 7 – Contenuto di azoto ammoniacale nei liquami analizzati con metodi di laboratorio e risonanza magnetica nucleare (NMR).

Infatti, si possono considerare come input al sistema gli alimenti, l'acqua di abbeverata e per il lavaggio degli impianti e delle attrezzature, e gli animali che vengono acquisiti dall'esterno. Ovviamente anche l'acqua di pioggia entra nel computo delle immissioni nel sistema. Gli output riguardano i prodotti

venduti, cioè gli animali venduti o morti, il latte prodotto e gli effluenti. La differenza tra questi input e output riguardano essenzialmente emissioni in aria, sia di composti azotati, sia di vapor acqueo. Entrambi questi possono essere quindi ottenuti per differenza se vengono tenuti sotto controllo gli altri fattori.

Il metodo di monitoraggio richiede, quindi, di tenere sotto controllo i seguenti aspetti:

- consistenza dell'allevamento (capi per categoria e relativo peso vivo);
- alimentazione (quantità e composizione della razione per ogni categoria di animali);
- produzione di latte e carne (accrescimenti);
- consumo idrico;
- quantità di effluenti prodotti;
- caratteristiche degli effluenti prodotti;
- tempi, quantità e localizzazione delle distribuzioni;

- andamento meteorologico (pioggia, temperatura)

In questo modo è possibile applicare un bilancio tra input e output ed avere così per differenza le emissioni. A questo proposito, l'obiettivo è quello di tenere sotto controllo i volumi di effluenti prodotti e la quantità di nutrienti in essi contenuta, pertanto devono essere effettuate analisi periodiche del contenuto in nutrienti degli effluenti.

Il fosforo, non essendo volatile può essere utilizzato come controllo per la validazione dei dati raccolti.

Utilizzazione agronomica degli effluenti

Le operazioni per la distribuzione in campo, per essere effettuate correttamente, richiedono la conoscenza del contenuto in nutrienti dei liquami e una corretta pianificazione mediante una programmazione delle distribuzioni.

Un aspetto altrettanto importante riguarda la gestione degli effluenti per la loro distribuzione in campo. Bisogna prevedere una adeguata preparazione della massa da distribuire e utilizzare attrezzature con caratteristiche tali da distribuire le dosi programmate in modo uniforme.

Omogeneizzazione degli effluenti

Il liquame nelle vasche di stoccaggio tende a sedimentare. Pertanto al fine di ottenere un prodotto omogeneo in fase di distribuzione o per garantire lo svuotamento delle fosse, è opportuno prevedere sistemi di miscelazione.

La miscelazione è un'operazione essenziale per consentire una distribuzione uniforme di liquame in relazione al suo contenuto di nutrienti.

La miscelazione può essere effettuata con movimento idraulico del liquame stesso. In

questo caso, se si trattano effluenti con residui di lettiera e di alimenti con elevato contenuto di solidi, pur rimanendo nei limiti della pompabilità, è necessario utilizzare attrezzature che siano in grado di sminuzzare le componenti più grossolane. Per questo si utilizzano delle pompe trituratrici, dotate cioè di un dispositivo con lama rotante e controlama fissa che garantisce una frammentazione delle componenti fibrose, evitando l'intasamento della pompa centrifuga. La potenza necessaria in questi casi è elevata, raggiungendo anche i 50-60 kW di potenza richiesta, e pertanto vengono in genere azionati dalla presa di potenza della trattrice che deve avere una potenza motore di circa un terzo superiore a quella richiesta. La miscelazione può essere effettuata meccanicamente con attrezzature che, pur di vario tipo, si basano tutte sul principio della movimentazione della massa mediante pale a elica rotante, montate all'estremità di un braccio contenente l'albero per la trasmissione del moto o applicate direttamente a un motore. Le diverse soluzioni consentono la miscelazione di vasche di diverso tipo, sia interrate che fuori terra e l'azionamento tramite motore elettrico o mediante la presa di potenza della trattrice.

I tempi necessari per la miscelazione e i consumi energetici dipendono grandemente dalla tipologia di attrezzatura utilizzata e dalla forma e dimensione delle strutture di stoccaggio.

E' opportuno effettuare la miscelazione solo in concomitanza con le operazioni di distribuzione per evitare di aumentare le emissioni di ammoniaca che si verificano durante la movimentazione della massa di liquame. La miscelazione agevola la movimentazione del liquame, favorisce lo svuotamento delle vasche e crea le condizioni favorevoli per un corretto campionamento dei liquami.

Dal punto di vista dell'impatto ambientale questa tecnica è considerata positivamente in quanto consente di distribuire un prodotto omogeneo consentendo di sfruttare agronomicamente il suo contenuto di fertilizzanti, ma deve essere limitata allo stretto necessario per evitare emissioni in aria.

La durata della miscelazione necessaria ad omogeneizzare il contenuto di una vasca di stoccaggio è variabile a seconda della dimensione della vasca in relazione anche all'attrezzatura di miscelazione utilizzata. In alcuni casi, specialmente per liquami bovini, la miscelazione deve essere in grado di rimuovere il cappello di materiale solido che si forma in superficie, la cui consistenza può richiedere durate di miscelazione anche superiori alle 24 ore.

La durata della miscelazione necessaria può essere notevolmente ridotta da un preventivo trattamento di separazione dei solidi.

È opportuno mantenere il liquame miscelato per tutta la durata della distribuzione in quanto alcune componenti del liquame, costituite da solidi di maggiore densità, sedimentano molto rapidamente e si può avere una parziale stratificazione del liquame già dopo un'ora dal termine della miscelazione.



Figura 8 – Miscelazione di una vasca di liquame con attrezzatura mossa dalla presa di potenza della trattoria.

La distribuzione degli effluenti

Le modalità con cui vengono applicati gli effluenti al terreno influenzano notevolmente l'utilizzo dei nutrienti da parte delle colture e i relativi rilasci verso l'ambiente.

La capacità di lavoro delle attrezzature deve essere commisurata ai tempi disponibili per effettuare l'operazione, tenendo conto dei vincoli anche meteorologici dei periodi previsti per l'operazione.

La scelta e la valutazione del cantiere di lavoro per la distribuzione degli effluenti esula dallo scopo di questo volume e si rimanda per questi aspetti ai numerosi testi sull'argomento.

L'aspetto che sembra utile approfondire è relativo all'influenza dell'attrezzatura utilizzata nel garantire una elevata efficienza dei nutrienti e dell'azoto in particolare.

Infatti, durante l'operazione di distribuzione l'effluente è movimentato e viene a contatto con l'aria, aumentando la possibilità di volatilizzare alcune componenti, tra le quali ovviamente l'ammoniaca. Anche le problematiche legate agli odori sono spesso connesse a questa fase della gestione degli effluenti.

L'emissione in aria di ammoniaca dipende, oltre che dalla tecnica di distribuzione, da fattori sia legati alle condizioni locali di distribuzione, sia alle caratteristiche dell'effluente.

Un'interessante rassegna di questi fattori e analisi della loro influenza sulle emissioni di ammoniaca è stata svolta nell'ambito di un progetto finanziato dalla comunità europea denominato ALFAM (Ammonia Loss from Field-applied Animal Manure) i cui risultati sono disponibili sul sito del progetto (www.alfam.dk).

Per quanto riguarda i liquami, i principali fattori e i relativi effetti sono riportati in Tabella 1.

Rispetto a questi fattori, l'effetto della tecnica di distribuzione utilizzata è nettamente il più elevato. Infatti, le riduzioni di emissione di ammoniaca ottenibili con le diverse tecniche di distribuzione, considerando come tecnica di riferimento la distribuzione superficiale con La riduzione di emissioni rispetto al piatto deviatore, può raggiungere l'80-90%.

Questa riduzione, non solo influenza l'impatto ambientale, ma migliora anche la disponibilità di azoto per le colture, riducendo in questo modo la necessità di integrazioni con fertilizzanti minerali.

Tabella 1 - Effetto dei principali fattori che influenzano la volatilizzazione di ammoniaca durante l'applicazione al terreno di effluenti di allevamento liquidi

Fattori	Volatilizzazione dell'ammoniaca
Umidità del suolo	Suolo umido 10% più elevata che suolo asciutto
Temperatura dell'aria	+ 2% per °C
Velocità dell'aria	+4% per m s ⁻¹
Tipo di liquame	Suino 14% inferiore che bovino
Solidi totali	+11% per ogni % di solidi
Contenuto di azoto ammoniacale	-17% per kg di N per m ³

Uno degli aspetti delle tecniche di distribuzione che influenza le emissioni di ammoniaca riguarda la velocità con cui si effettua l'interamento dell'effluente.

La Figura 9 riporta la variazione delle perdite di azoto in relazione a questo parametro. Il sistema che risulta avere emissioni più elevate è la distribuzione con piatto deviatore (Figura 10). Questo è anche il sistema di distribuzione più diffuso.

Il rilascio dell'ammoniaca avviene prevalentemente nelle prime ore dopo la distribuzione e prosegue poi nelle ore successive (Figura 11). L'andamento delle emissioni è influenzato soprattutto dalle condizioni di temperatura e velocità del vento, oltre che dalle caratteristiche del liquame e dalla dose distribuita.

Una possibile variante è l'utilizzo di piatto deviatore orientato verso il basso in modo da limitare la pressione di esercizio e, di conseguenza, le emissioni di ammoniaca (Figura 12).

Oltre a elevate emissioni, la distribuzione con piatto deviatore non consente di ottenere una

buona uniformità di distribuzione con la conseguente necessità di uniformare la fertilizzazione distribuendo concimi minerali.

Ai fini di contenere le emissioni di ammoniaca si possono utilizzare attrezzature che consentono di ridurre la superficie esposta all'aria. Questa si può ridurre passando dalla distribuzione su tutta la superficie a una distribuzione solo su strisce di terreno (distribuzione in bande). A questo scopo si possono utilizzare

dei tubi flessibili che portano il liquame a livello del terreno (Figura 13) e strisciando su di esso rilasciano il liquame (Figura 14).

Gli organi di distribuzione da utilizzare su prato o in copertura di cereali autunno-vernini possono essere costituiti da scarpette metalliche che strisciano sul terreno rilasciando il liquame in bande. Spesso in questo caso gli organi sono dotati di scarificatori che favoriscono l'infiltrazione del liquame (Figura 15).

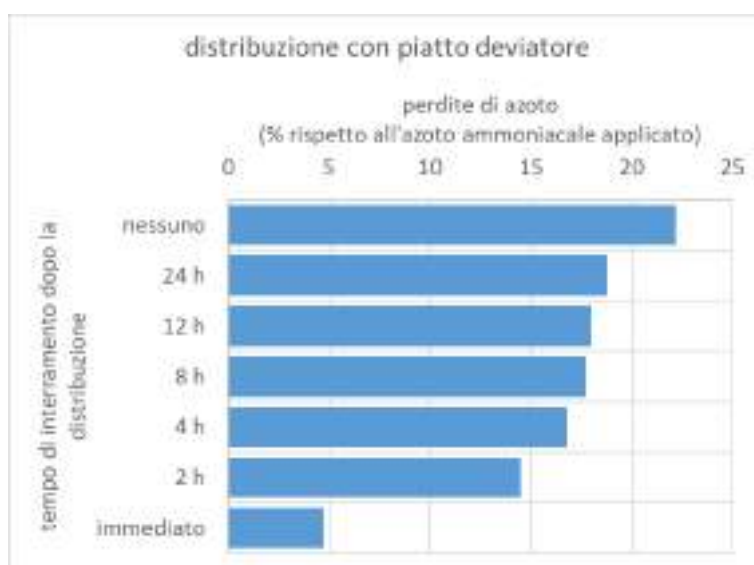


Figura 9 – Perdite di azoto in forma ammoniacale in relazione al tempo di esposizione del liquame all'aria prima dell'incorporazione nel terreno.



Figura 10 - Distribuzione degli effluenti con piatto deviatore

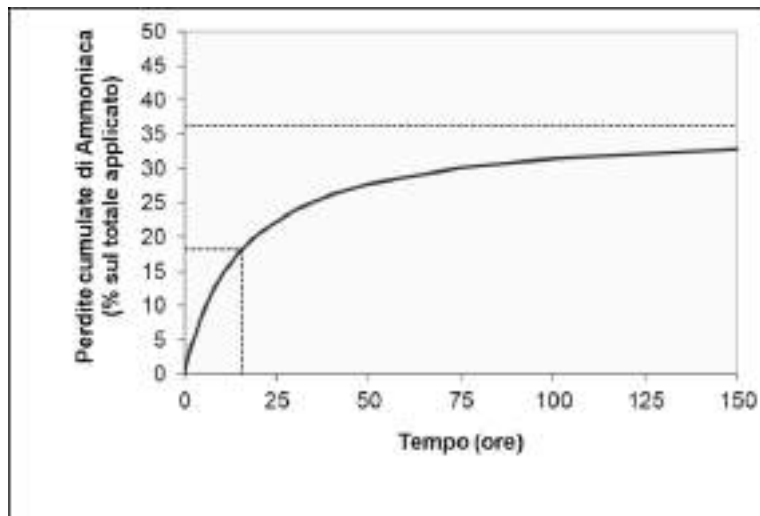


Figura 11 - Perdite di azoto ammoniacale rispetto al totale applicato distribuendo con piatto deviatore secondo il modello ALFAM con le seguenti impostazioni: Temperatura dell'aria 20 °C; velocità dell'aria 1 m s⁻¹; liquame bovino con il 7% di solidi totali e 3 kg m⁻³ di azoto ammoniacale; dose di 100 m³ ha⁻¹; nessun interrimento.



Figura 12 - Distribuzione degli effluenti con piatto deviatore rivolto verso il basso a bassa pressione.



Figura 13 – La distribuzione in banda può essere effettuata inviando il liquame in tubi flessibili.



Figura 14 – La distribuzione in bande riduce l'esposizione del liquame all'aria, riducendo le emissioni di ammoniacale.



Figura 15 – La distribuzione su prati e in copertura di cereali autunno vernini può essere effettuata con organi dotati di scarpette metalliche che strisciano sul terreno e dischi scarificatori.

Se l'operazione di distribuzione viene effettuata in preparazione del terreno per la semina, le alternative al piatto deviatore per la distribuzione del liquame riguardano la distribuzione con attrezzature che, oltre a distribuire il liquame, effettuano una lavorazione più o meno energica del terreno.

Nel caso delle tecniche con solchi aperti vengono effettuate incisioni verticali (profonde di norma 4-6 cm) nel suolo, formando solchi in cui va a depositarsi il liquame. A questo scopo si utilizzano erpici a denti o a dischi. Il liquame è iniettato interamente o in parte al di sotto della superficie del suolo, di norma i solchi sono aperti dopo l'applicazione di liquame.

Al dispositivo per la distribuzione del liquame possono essere abbinati anche altri organi che completano l'operazione lavorando più energeticamente il terreno.

La caratteristica di questa tecnica è comunque quella di depositare il liquame a una profondità limitata, richiedendo anche uno sforzo di

trazione modesto, senza chiudere completamente il solco (Figura 16 e Figura 17). In questo modo si riduce ulteriormente il contatto del liquame con l'aria e si favorisce l'infiltrazione del liquame.

L'interramento completo del liquame consente di limitare al minimo le emissioni di ammoniaca durante la distribuzione. In questo caso, gli organi di distribuzione assolvono il terreno portando il liquame a una profondità di 10-20 cm e sono dotati di erpici a dischi, ruote o rulli per ricoprire completamente il solco il terreno e il liquame in esso contenuto (Figura 18 e Figura 19).

Sistemi a solchi aperti possono essere utilizzati anche per la distribuzione in copertura del mais disponendo gli organi di distribuzione in modo che si trovino nell'interfila del mais. In questo caso, l'operazione di distribuzione del liquame in copertura viene effettuata fino a 8-10 foglie e corrisponde a una sarchiatura (Figura 20).



Figura 16 – Attrezzo per la distribuzione sotto-superficiale del liquame. L'incisione effettuata dai denti dell'erpice e di alcuni centimetri e il solco non viene chiuso.



Figura 17 – La distribuzione con solchi aperti favorisce l'infiltrazione del liquame nel terreno ma mantiene la possibilità di emissione dell'ammoniaca in quanto il liquame non viene ricoperto completamente dal terreno.



Figura 18 – La distribuzione con solchi chiusi prevede organi che coprono il solco utilizzato per l'iniezione del liquame.



Figura 19 – La profondità a cui viene incorporato il liquame nel terreno è in genere di 10-20 cm, consentendo anche una lavorazione del terreno.



Figura 20 – La tecnica di distribuzione con solchi aperti può essere utilizzata anche per distribuire liquame nell'interfila del mais. Si notino i dischi per la chiusura del solco.

Indipendentemente dalla attrezzatura utilizzata, è importante assicurare la distribuzione della dose programmata e una buona uniformità trasversale. L'applicazione di una quantità costante e predeterminata di liquame nel corso delle operazioni di distribuzione viene garantita dall'utilizzo di pompe volumetriche. Queste, in genere del tipo a lobi, hanno una portata che risulta proporzionale alla loro velocità di rotazione. Anche se è possibile regolare la dose di applicazione manualmente, questi sistemi sono normalmente abbinati a sistemi automatici di controllo in funzione della velocità di avanzamento della trattrice.

L'uniformità di distribuzione trasversale viene ottenuta frazionando il liquame in uscita dal serbatoio mediante un sistema di ripartizione (Figura 21). Questo è costituito da un contenitore all'interno del quale delle lame rotanti assicurano che il liquame alimenti con flusso costante una serie di tubazioni che convogliano il liquido verso gli organi di distribuzione. Il ri-

partitore è essenziale per la corretta distribuzione ed è opportuno verificarne periodicamente il funzionamento raccogliendo e pensando le quantità distribuite nell'unità di tempo. Le differenze tra i volumi raccolti dai diversi tubi non devono essere superiori al 10-15% per avere una buona uniformità di distribuzione.



Figura 21 – Il ripartitore assicura l'uniformità di distribuzione trasversale

Una tecnica che riveste un certo interesse per migliorare l'efficienza dei nutrienti e ridurre le emissioni di ammoniaca consiste nella miscelazione del liquame con l'acqua di irrigazione.

Il risultato che si ottiene è di poter frazionare la distribuzione del liquame nel corso della stagione irrigua. In questo modo le dosi sono limitate, l'infiltrazione nel terreno assicurate dal trasporto con l'acqua e di conseguenza le emissioni risultano contenute.

Questa tecnica è stata positivamente sperimentata su mais con sistemi di irrigazione ad ala gocciolante e con pivot (Figura 22) nell'ambito del progetto LIFE ARIMEDA (<https://www.lifearimeda.eu/>) a cui si rimanda per ulteriori informazioni.

L'efficacia delle diverse tecniche per la riduzione delle emissioni di ammoniaca è riportato in Tabella 2. Le soluzioni più efficaci sono l'interramento con solchi chiusi o con solchi aperti se effettuato con dosi che consentono una buona infiltrazione e copertura del solco

anche se il liquame viene posato a pochi centimetri di profondità.

Si ricorda, che tra le tecniche che possono essere utilizzate per la riduzione delle emissioni, l'acidificazione del liquame è particolarmente efficace e può essere effettuata anche nello stoccaggio. Questa tecnica consiste nell'abbassare il pH del liquame con l'aggiunta di acido solforico in modo da bloccare l'azoto nel liquame nella forma di ione ammonio che non volatilizza.

A titolo puramente indicativo, in Tabella 3 sono riportati il costo per la distribuzione per metro cubo di liquame in relazione alla tecnica utilizzata e alla dimensione aziendale. Considerando una azienda che produce 10.000 m³ di liquame all'anno il costo di distribuzione con piatto deviatore è di 3 €/m³ e sale fino a 5 €/m³ se si utilizza l'iniezione profonda con solco chiuso.

A questo proposito è bene ricordare che i costi possono essere influenzati significativamente dal tipo di cantiere di lavoro.



Figura 22 – La fertilizzazione è una possibile soluzione per frazionare la distribuzione di liquame nel corso della stagione irrigua e ridurre le emissioni di ammoniaca. In alto pivot, in basso ala gocciolante.

Si possono raggruppare i cantieri di lavoro in tre categorie principali:

- carrobotte con trasporto diretto da vasca a campo;
- trattore con sistema ombelicale;
- carrobotte o macchina semovente in campo rifornita da carri navetta e carro balia a bordo campo

Nel primo caso, la capacità di lavoro del cantiere dipende notevolmente dalla distanza tra la vasca e il campo. Le distanze che consentono di mantenere i costi entro valori ragionevoli (3-4 €/m³) sono mediamente di 3 km. Al di sopra può convenire adottare altre tecniche.

Nel caso l'azienda sia prevalentemente accorpata, la soluzione più efficiente è di utilizzare un sistema ombelicale. Il liquame viene pompato dalle vasche in una condotta interrata che, a bordo campo è dotata di bocchette a cui collegare una tubazione flessibile che all'altro lato viene attaccata all'organo di distribuzione, montato sulla trattrice (Figura 23). In questo modo, è possibile distribuire il liquame con elevata capacità di lavoro e limitato calpestamento del terreno.

Tabella 2 – Principali tecniche per l'applicazione al terreno di effluenti di allevamento liquidi e loro effetto sulle emissioni di ammoniaca (da Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. irc.ec.europa.eu)

Tecnica	Tipo di uso del suolo	Riduzione emissioni di ammoniaca
Distribuzione superficiale con piatto deviatore	Prati, arativi	Riferimento
Irrigazione con liquame diluito	Prati, arativi	30%
Distribuzione in bande	Prati permanenti e arativi con colture alte meno di 30 cm	30-50%
Distribuzione in bande con scarificazione	Prati permanenti, copertura cereali autunno-vernini	40-65%
Iniezione poco profonda (solco aperto)	Prati permanenti, arativi	56-80%
Iniezione profonda (solco chiuso)	arativi	80-90%

Tabella 3 – Costi di distribuzione dei liquami con diverse tecniche e per aziende di diversa dimensione (da Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. irc.ec.europa.eu)

volume di liquami da distribuire all'anno (m3/anno)	3.000	10.000	30.000
Tecnica	costo (€/m ³)	costo (€/m ³)	costo (€/m ³)
Distribuzione superficiale con piatto deviatore	4.3	3.0	3.2
Distribuzione in bande	5.1	3.4	3.3
Distribuzione in bande con scarificazione	5.9	4.1	4.1
Iniezione poco profonda (solco aperto)	6.2	4.4	4.7
Iniezione profonda (solco chiuso)	7.5	5.0	5.3



Figura 23 – Il sistema ombelicale consente di utilizzare la sola trattrice con un attrezzo portato per la distribuzione dei liquami evitando il compattamento del terreno.

Quando questa soluzione non è percorribile e le distanze sono elevate o le attrezzature per la distribuzione utilizzate hanno capacità di lavoro elevata, è opportuno prevedere un cantiere costituito da carri navetta e eventualmente un carro balia a bordo campo (Figura 24). In questo modo, l'attrezzatura per la distribuzione può lavorare con continuità rifornendosi a bordo campo, mentre le navette fanno la spola per trasportare il liquame in campo.

Per quanto riguarda la distribuzione di effluenti palabili, le attrezzature utilizzabili prevedono sempre una distribuzione superficiale e un successivo interrimento del prodotto.

Anche in questo caso, la immediata incorporazione del prodotto consente di ridurre notevolmente i rilasci di ammoniaca verso l'aria.



Figura 24 – Il rifornimento delle attrezzature di distribuzione a bordo campo consente di mantenere elevata la capacità di lavoro anche quando la distanza tra vasca e campo è elevata.

Il piano di concimazione

La corretta utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento deve prevedere l'apporto al terreno di un quantitativo di effluente adeguato alle esigenze delle colture nei tempi e nelle modalità più opportune, basandosi sulle disponibilità di materiale organico disponibile in azienda.

Per questo l'elaborazione del piano di concimazione richiede l'esame delle caratteristiche dell'allevamento e la valutazione delle produzioni di effluenti e delle relative caratteristiche.

Sicuramente uno degli elementi chiave del piano di concimazione è la programmazione delle distribuzioni in relazione alle esigenze delle colture. Il piano colturale relativo ai terreni che sono oggetto di distribuzione degli effluenti deve essere, a questo proposito, non solo un elemento stabilito sulla base delle esigenze aziendali e del mercato, ma dovrebbe risultare anche dalla valutazione attenta delle disponibilità di fertilizzanti organici e dalla necessità di rispettare le norme per l'utilizzazione degli effluenti di allevamento.

Una valutazione preliminare della congruenza dell'azienda alle normative deve essere effettuata sulla base della superficie utile per la distribuzione degli effluenti e dell'azoto prodotto dall'allevamento. I vincoli posti dalla normativa a questo proposito sono:

- 170 kg ha⁻¹ di azoto di origine zootecnica per anno come valore medio aziendale se i terreni sono collocati in zona vulnerabile da nitrati;
- 340 kg ha⁻¹ di azoto di origine zootecnica per anno come valore medio aziendale se i terreni sono al di fuori delle zone vulnerabili.

Il quantitativo di azoto al campo non è però da confondere con quello che viene utilizzato dalle colture perché è necessario considerare

sia le ulteriori perdite che si riscontrano durante la fase di distribuzione, sia le trasformazioni e le emissioni verso l'aria e le acque che si possono riscontrare dopo l'applicazione dell'effluente al terreno.

Di fatto ne risulta che il quantitativo di azoto che è realmente disponibile per la coltura non è facilmente determinabile ed è soggetto a variazioni che risultano anche dall'andamento climatico e dalle operazioni colturali che vengono effettuate.

Il metodo che viene utilizzato per programmare le distribuzioni degli effluenti non solo rispettando le dosi massime, ma soprattutto tenendo conto delle esigenze delle colture si basa sul bilancio dell'azoto.

Il bilancio dell'azoto

Il metodo del bilancio azotato prevede un equilibrio tra l'azoto che viene fornito alla pianta e quello che viene asportato con i prodotti che lasciano il campo.

Tra i metodi del bilancio dell'azoto che vengono proposti sembra utile utilizzare quello riportato nel DM 25 febbraio 2016 che rappresenta il metodo di riferimento in fase di comunicazione o autorizzazione all'utilizzo agronomico degli effluenti.

L'equazione del bilancio è rappresentata dalla seguente relazione:

$$N_c + N_f + A_n + (K_c \times F_c) + (K_o \times F_o) = (Y \times b)$$

Al primo membro dell'equazione di bilancio compaiono gli apporti azotati alle colture da quantificare nel modo seguente:

- N_c = disponibilità di N derivante da precessioni colturali

Quantità significative di azoto assimilabile dalla coltura successiva si riscontrano dopo la coltura dell'erba medica o di un prato di lunga durata (maggiore di 5 anni). In tali casi devono essere considerati forniture dell'ordine di:

- 60 kg, per medicai diradati;

- 80 kg, per medicai di 3 anni in buone condizioni e prati di oltre 5 anni;

- 30-40 kg, per prati di trifoglio e prati di breve durata

Quando i residui colturali hanno un rapporto Carbonio/Azoto superiore a 30, l'immobilizzazione dell'azoto diventa predominante. L'azoto assimilabile per la coltura successiva si riduce nel caso di interrimento di paglie di cereali o stocchi di mais rispettivamente di 30 kg/ha e di 40 kg/ha;

- N_F = disponibilità di N derivante dalle fertilizzazioni organiche effettuate nell'anno precedente

In questa voce si deve considerare la disponibilità derivante dall'apporto di letame dell'anno precedente, pari ad una percentuale minima del 30% dell'azoto apportato.

- A_N = apporti naturali, consistenti in:

- Fornitura di azoto dal suolo

L'azoto disponibile nel suolo è collegato con il tenore di materia organica, il cui tasso di mineralizzazione varia con la tessitura, il regime termico e idrico e l'intensità delle lavorazioni. In Italia i tenori di materia organica sono molto variabili, ma generalmente compresi tra 1% e 3%: valori superiori sono valutati come elevate dotazioni. Si stima che nel periodo di più accentuata mineralizzazione (dalla primavera all'autunno) la materia organica possa fornire 30 kg di azoto assimilabile per ogni unità percentuale di materia organica nel suolo. La disponibilità effettiva di questi quantitativi deve essere proporzionata alla durata del ciclo colturale e valutata in considerazione dell'entità delle precipitazioni. A titolo esemplificativo, si riportano i seguenti indici:

- cereali autunno vernini: 3/5 dell'azoto mineralizzato
- bietola e girasole: 2/3 dell'azoto mineralizzato
- sorgo: 3/4 dell'azoto mineralizzato

- mais: l'intero ammontare

- Fornitura di azoto da deposizioni atmosferiche

L'apporto di azoto dovuto alle deposizioni atmosferiche (piogge e pulviscolo atmosferico) può essere stimato pari a circa 20 kg per ettaro e per anno.

- F_C è la quantità di N apportata col concime chimico o minerale;
- K_C è il coefficiente di efficienza relativo agli apporti di concime chimico (F_C). In genere si considera il 100% del titolo commerciale del concime azotato;
- F_O è la quantità di N apportata con il concime organico (effluenti zootecnici, fanghi di depurazione, ecc.);
- K_O è il coefficiente di efficienza relativo agli apporti di fertilizzante organico (F_O).

Ai fini del calcolo del bilancio dell'azoto, per efficienza di fertilizzazione si intende l'efficienza di recupero, data dal rapporto tra l'azoto recuperato nei tessuti vegetali e quello applicato. Esso varia in funzione della coltura, dell'epoca e della modalità di distribuzione e delle strutture del suolo. L'obiettivo di ottimizzare gli apporti, al fine di conseguire la massima efficienza d'impiego dei diversi tipi di fertilizzanti, comporta l'individuazione di coefficienti di efficienza specifici a scala aziendale o territoriale. In assenza di determinazioni specifiche, i valori di riferimento di K_O sono riportati nel DM 25 febbraio 2016. Al fine di contenere le perdite, il piano di concimazione deve prevedere epoche e modalità di distribuzione dei liquami atte a garantire valori di K_O a scala aziendale prevedendo un valore minimo di efficienza dell'azoto somministrato con gli effluenti zootecnici di almeno il 60% per i liquami suini e avicoli, il 50% per i liquami bovini e il 40% per i letami.

Le asportazioni colturali, che compaiono al secondo membro dell'equazione di bilancio, si calcolano moltiplicando i coefficienti unitari di asportazione (B) per la produzione che ragio-

nevolmente, in riferimento ai risultati produttivi conseguiti negli anni precedenti, si prevede di ottenere (Y).

Il metodo del bilancio viene normalmente applicato con la finalità di determinare prioritariamente le quantità di azoto da effluente di allevamento distribuibile e nel caso che questo non copra le esigenze, il quantitativo di fertilizzante di sintesi necessario ad assicurare la produzione prevista.

I passi per ottenere questo risultato consistono in:

- determinazione dell'azoto efficiente da distribuire. Si applica la formula del bilancio, utilizzando come incognita i termini relativi alla fertilizzazione

$$N_{eff_{anno}} = (Y \times b) - (N_c + N_f + A_n)$$

- determinazione per ogni distribuzione dell'efficienza ko_i in relazione a coltura, epoca e modalità di distribuzione e definizione della quantità di azoto efficiente che si intende distribuire N_{eff_i} nelle diverse (i) distribuzioni previste. Ovviamente deve essere rispettato che:

$$\sum_i N_{eff_i} \leq N_{eff_{anno}}$$

- calcolo dell'apporto massimo di azoto distribuibile con gli effluenti

$$F_o = \sum_i (N_{eff_i} / ko_i)$$

- dalla quantità di azoto nell'effluente si ricava il volume di effluente da distribuire sulla base della concentrazione di azoto nell'effluente
- Se l'azoto efficiente distribuito non copre le esigenze della coltura, l'integrazione da apportare con altri fertilizzanti ($N_{minerale}$) risulta

$$N_{minerale} = N_{eff_{anno}} - \sum_i N_{eff_i}$$

Il bilancio dell'azoto semplificato

La determinazione dei quantitativi di effluente da distribuire basata sul bilancio dell'azoto consente di ottenere dei risultati molto dettagliati, ma richiede informazioni non sempre facilmente reperibili e soprattutto in fase di valutazione della situazione aziendale non sempre è di agevole utilizzo.

Per questo motivo sono stati proposti metodi di bilancio che semplificano la valutazione riducendo le informazioni necessarie per ottenere le quantità di effluenti distribuibili.

Il principio che viene spesso adottato è quello di considerare in modo forfettario (N_k) gli apporti di azoto derivanti dalla mineralizzazione e dalle precessioni colturali, nonché quello atmosferico. Il calcolo dell'azoto efficiente richiesto risulta quindi:

$$N_{eff_{anno}} = (Y \times b) - N_k$$

Il valore di N_k può essere orientativamente stabilito in 30-50 kg di azoto per ettaro all'anno, ma nel caso di applicazione nell'ambito della normativa si possono trovare indicazioni più precise nei regolamenti regionali.

Un metodo di bilancio semplificato è previsto nel DM 25 febbraio 2016 e nei programmi regionali di azione per le zone vulnerabili ai nitrati, a cui si rimanda per dettagli, basato su valori massimi standard di azoto efficiente distribuibile alle colture (MAS - Maximum Application Standard). Il metodo prevede che l'apporto massimo di azoto efficiente non debba superare un valore prestabilito per ogni coltura definendone una resa media prestabilita. Viene mantenuta la possibilità di aumentare i quantitativi di azoto se la resa riscontrata in azienda è superiore a quella media. Quindi la relazione del bilancio diventa:

$$N_{eff_{anno}} = MAS$$

rimane valida la metodologia di calcolo dell'efficienza e deve essere verificato che

$$\sum_i N_{eff_i} + N_{minerale} < MAS$$

Il software GEZOO

La stesura di un piano di concimazione è un'operazione complessa che necessita di una considerevole quantità di dati e informazioni da reperire in gran parte dalla normativa che ne regola la redazione.

Con questa premessa, per consentire ad un'azienda zootecnica di effettuare un corretto piano di concimazione è stato sviluppato un sistema di supporto alle decisioni, il software GEZOO. Questo software consente di analizzare tutte le fasi di produzione e gestione degli effluenti zootecnici, a partire dalla stalla fino all'impostazione del piano di concimazione, al fine di ottimizzare l'efficacia fertilizzante degli effluenti zootecnici, minimizzando le perdite di nutrienti verso l'ambiente.

L'obiettivo del software va oltre al semplice ma fondamentale supporto all'allevatore nel programmare e monitorare la gestione degli effluenti zootecnici, rispettando gli aspetti normativi, in quanto fornisce indicazioni per aumentare la sua consapevolezza riguardo

alle criticità e potenzialità aziendali nell'utilizzo di questo prodotto.

Per facilitare l'utente nella valutazione delle diverse alternative gestionali che il software consente di verificare, ogni azienda può impostare diversi scenari che diventano strumento per la ricerca di miglioramenti aziendali.

All'interno di ogni scenario è prevista la compilazione delle seguenti sezioni: Gestione colturale, Gestione zootecnica, Confronto, Piano di Concimazione. Al termine viene proposto un report contenente le informazioni più importanti.

Gestione colturale

In questa sezione (Figura 25) si definiscono gli appezzamenti aziendali assegnando loro il nome, la superficie, il metodo irriguo, il loro collocamento meno in zona vulnerabile ai nitrati e l'Unità di paesaggio agrario (UPA) di appartenenza.

Appezzamento: unità di suddivisione dei terreni aziendali utilizzata dall'imprenditore agricolo. [esempio](#)

UPA (unità di paesaggio agrario): unità territoriale dell'azienda con medesime caratteristiche di suolo, vulnerabilità, irrigazione e contemporaneità di gestione. [vedi upa1](#) [vedi upa2](#)

- ogni UPA può avere un'unica modalità di irrigazione
- ogni UPA può avere un'unica vulnerabilità tutta zvn o tutta zvnv

Nome	Superficie(ha)	ZVN	UPA	Tipo Irrigazione	Op
1	3.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1	accolimento	<input checked="" type="checkbox"/>
2	4.5	<input checked="" type="checkbox"/>	1	accolimento	<input checked="" type="checkbox"/>
3	2.6	<input type="checkbox"/>	2	aspersione	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 25 – Definizione degli appezzamenti aziendali

Successivamente è necessario definire il piano colturale (Figura 26) dell'annata agraria che si sta esaminando, assegnando ad ogni appezzamento una coltura. Con la scelta della coltura viene proposta in automatico una resa con le relative asportazioni ad ettaro di azoto, fosforo e potassio. Modificando la resa, adeguandola se necessario alle condizioni aziendali, vengono aggiornati anche i valori delle asportazioni. È possibile scegliere fino a tre colture in successione per annata. Al completamento di questa operazione, nel riquadro riassuntivo vengono riportati i totali delle asportazioni aziendali, da confrontare in seguito con i nutrienti contenuti negli effluenti zootecnici. Per quanto riguarda le asportazioni di azoto si è fatto riferimento ai massimi

applicativi standard (MAS) definiti nel DM 25 febbraio 2016.

Gestione zootecnica

L'inquadramento aziendale prosegue con la descrizione dell'allevamento (Figura 26), definendo per ogni struttura di stabulazione la specie e categoria animale in essa presente, la tipologia di stabulazione, il numero di capi e il peso vivo medio di ogni capo.

I dati relativi a specie, categoria e stabulazione si scelgono da menù contenenti le diciture stabilite dalla normativa, già utilizzate dai programmi d'azione regionale nell'ambito della direttiva nitrati. A partire dalla configurazione della stalla il software procede alla quantificazione degli effluenti zootecnici prodotti annualmente.

Azienda:	000000000	Asp N Tot Azienda(Kg)	3082.0
Anno:	2019	Asp K Tot Azienda(Kg)	2893.0
Sosnario:	prova	Asp P Tot Azienda(kg)	1012.0

Gestione Appezzamenti							
tipo	Nome	Superficie(ha)	Asp N	Asp P	Asp K	ZVE	Coltura Precedente
1	1	3	280	80	188	<input checked="" type="checkbox"/>	altro
1	2	4,5	400	120	370	<input checked="" type="checkbox"/>	altro
Coltura	Rese	Asp N	Asp P	Asp K			
Erbai Graminacei	7	120	38	172			
Maia trinciato	80	200	80	195			
----	0	0	0	0			
<input type="button" value="salva"/>							
2	3	2,6	170	64	244	<input type="checkbox"/>	altro

Figura 26 - definizione del piano colturale

Nome	Specie	Categoria	Allevamento	Stabulazione	#	Peso Vivo(Kg)
						0.0

aggiungi

Nome	Specie	Categoria	Allevamento	Stabulazione	#	Kg	Op
str01	BOVINI DA L	VACCHE DA LATTE IN L	VACCHE DA LATTE	STABULAZIONE LIBERA SU C	100	600.0	
str02	BOVINI DA L	RIMONTA VACCHE DA L	BOV. VITELLI FINO A 6 MES	SVEZZAMENTO VITELLI SU L	15	100.0	
str03	BOVINI DA L	RIMONTA VACCHE DA L	BOV. VITELLI DA 6 A 12 MES	STABULAZIONE LIBERA CON	10	220.0	
str04	BOVINI DA L	RIMONTA VACCHE DA L	BOV. FEMMINE DA 1 A 2 AN	STABULAZIONE LIBERA SU C	13	425.0	
str05	BOVINI DA L	RIMONTA VACCHE DA L	BOV. FEMMINE DI 3 ANNI E	STABULAZIONE LIBERA SU C	32	600.0	

Figura 27 - descrizione dell'allevamento presente in azienda

Il passaggio successivo riguarda la descrizione delle strutture di stoccaggio per gli effluenti liquidi e solidi presenti in azienda, indicando per ogni struttura la tipologia, la superficie totale, la superficie scoperta e la capacità utile (Figura 28).

L'ultima valutazione della sezione riguarda la quantificazione delle acque aggiuntive che vanno a diluire gli effluenti zootecnici. Per de-

finire il volume complessivo è necessario indicare il volume delle acque impiegate per il lavaggio della sala di mungitura se presente, le superfici di stabulazione scoperte e la piovosità media annua. Il volume delle acque aggiuntive, quantificato e riportato in una tabella apposita (Figura 29), aumenta la consapevolezza circa la reale diluizione che incide sul liquame prodotto in azienda e può di conseguenza evidenziare aspetti sui quali poter intervenire per ridurla.

Nome	Stoccaggio	Sup.Scoperta(m2)	Sup.Totale(m2)	Capacità(m3)
	stoccaggio in vasca scoperta			

aggiungi

Nome	Stoccaggio	Sup.Scoperta(m2)	Sup.Totale(m2)	Capacità(m3)	Op
sto01	piatte per so	300.0	300.0	800.0	
sto02	stoccaggio in	500.0	500.0	1500.0	

Figura 28 - definizione delle strutture di stoccaggio degli effluenti aziendali

Acqua lavaggio impianti(m3)	Superfici di stabulazione scoperte(m2)	Superficie Scoperta Vasche(m2)	Piovosità media annua(mm)	Acque aggiuntive(m3)
550.0	0.0	800.0	800.0	1094.0

Figura 29 - quantificazione delle acque aggiuntive che incidono sulla diluizione del liquame

Confronto

Nella sezione confronto è possibile valutare l'introduzione di un'eventuale tecnica di trattamento dell'effluente, verificando l'impatto economico-ambientale e le caratteristiche

dell'effluente finale destinato all'utilizzazione agronomica.

La prima informazione presente in questa sezione è una tabella riepilogativa che riporta ti-

pologia, quantità e composizione degli effluenti prodotti in azienda. A partire da questi dati è possibile valutare l'inserimento di una delle 17 tecniche di trattamento previste nel software. Considerando che anche il semplice stoccaggio dell'effluente è un'opzione presente, si possono scegliere sia trattamenti singoli che integrati, a partire dalle diverse esigenze aziendali. È possibile introdurre un trattamento singolo come la separazione solido-

liquido (alternativa 1, come da Figura 30) per delocalizzare la frazione solida degli effluenti zootecnici o un impianto di digestione anaerobica per la produzione di energia rinnovabile; oppure trattamenti integrati con impianti nitro-denitro o SBR (sequencing batch reactor) per la rimozione dell'azoto o con impianti di strippaggio per il recupero dell'azoto zootecnico sotto forma minerale.

Tipo	Volume	TKN	TAN	DM	YS	K	P
Liquame	2.207	8.521	4.772	563.238	469.365	7.783	2.821
Liquame	1.553	6.605	3.138	154.176	129.490	3.447	1.856
Totale	3.759	14.127	7.911	717.413	597.844	11.230	4.676

Alternative : 1-Separazione a vite elicoidale

Per vedere le immagini delle alternative [clicca di seguito](#)



Figura 30 - sezione confronto, tabella riepilogativa degli effluenti in uscita dalla sezione gestione zootecnica e successiva scelta tra le diverse alternative di trattamento degli effluenti

Dopo avere scelto la modalità di trattamento vengono riportate una serie di valutazioni circa le emissioni in aria di ammoniaca e gas serra, oltre ad un bilancio energetico ed economico. Infine, sulla base delle caratteristiche dell'effluente al termine del trattamento, riportate nella tabella riepilogativa finale, il software effettua la verifica del rispetto dei vincoli di vulnerabilità, asportazioni colturali

in termini di MAS e di fosforo. Nel caso che questi indicatori appaiano con la colorazione rossa come nell'esempio in Figura 31 l'azienda non si trova nella condizione di rispettare i limiti di apporto di azoto al campo rispetto alla vulnerabilità dei terreni e di azoto e fosforo rispetto alle asportazioni colturali. Di conseguenza dovrà valutare alternative gestionali più efficaci.

Descrizione parametri :

- # Alt : numero alternativa
- Descrizione : composizione in moduli dell'alternativa
- Em A : emissioni acide =nh3(Kg)
- Em G : emissioni gas serra = ch4 + co2 + n2o + nO(Kg)
- Energia : energia(KWh) consumata - prodotta
- Costo : gestione(esercizio)(Euro)
- % surplus : (reflugo prodotto - distribuzione sui terreni aziendali) / reflugo prodotto

# Alt.	Descrizione	Em A	Em G	Energia	Costo	% Surplus
1	Separazione a vito eccidiale Plates Vasea	8211	1885	-414	19870	0.0

Vincolo Nitrati	Vincolo Mas	Vincolo Fosforo

Tipo	Volume	TKN	TAN	DM	VS	K	P
m1Lecame	2099.0	9442.0	4713.0	640771.0	933976.0	8676.0	3320.0
m2Liquame	1705.0	3432.0	2577.0	68895.0	50002.0	2554.0	1361.0

Figura 31 - valutazione economico-ambientale dell'alternativa di trattamento scelta

Piano di concimazione

Al termine delle valutazioni relative alla determinazione di quantità e qualità di effluenti prodotti in azienda, la sezione del software dedicata al piano di concimazione permette di impostare la distribuzione in campo degli effluenti quantificando l'efficienza e le relative perdite in aria e in acqua dell'azoto zootecnico distribuito, in funzione delle diverse tecniche utilizzate (piatto deviatore, rasoterra, a bande, iniezione, ecc.), modalità di applicazione (su terreno nudo, su terreno con residui, in copertura), dosi (alta, media, bassa) e periodo di intervento (primavera, autunno, ecc.). L'approccio che permette di raggiungere valori di efficienza più elevati, è quello di distribuire in prossimità della semina o addirittura in copertura, con dosaggi adeguati e con sistemi che riducano le emissioni. Come riportato in Figura 32 la distribuzione primaverile di separato liquido bovino in presemina

utilizzando un carrobote con piatto deviatore porta ad avere efficienze di utilizzo dell'azoto zootecnico da parte della coltura pari al 55%, mentre l'intervento in copertura e quindi con coltura in atto, consente di raggiungere un'efficienza di circa il 73%. Si veda inoltre che per quanto riguarda il fosforo, l'apporto degli effluenti sommato al fosfato biammonico normalmente distribuito in presemina, porta ad un sostanziale eccesso di applicazione con il conseguente accumulo nel terreno.

Report

Nell'ultima sezione del software viene prodotto un documento riepilogativo in cui vengono riportate tutte le informazioni inerenti allo scenario aziendale predisposto, in modo tale da renderne più facile la visione complessiva e poterlo salvare e meglio confrontare con eventuali altri scenari.

Gestione						Apportazioni Kg/ha			Residui Kg/ha					
Distribuzioni	Upe	Coltura	Superficie	Rotazione	Resa Attesa	N	P2O5	K2O	N	P2O5	K2O			
risorsa	1	Mais trinciato	3	1	60	260	90	198	4,20	14,0	18,00			
Distribuzioni di refluo da allevamento zootecnico														
Refluo Di.	Data Distribuzione	Tecnica	Modalità	m ²	m ² /ha	Kg/ha	Perd.aria %	Perd.acqua %	N eff.	P2O5 eff.	K2O eff.	Eff.N	Reset	Effettuata
separato la	mar 16	con plat	Si terra	250	63	168	35	10	62	33	100	58	---	☑
separato la	giu 2, 21	adrichi ch	In copert	150	50	101	15	12	74	32	60	73,20	---	☑
---		---	---	0	0	0	0	0	0	0	0	0	---	☑
---		---	---	0	0	0	0	0	0	0	0	0	---	☑
Distribuzioni di concime minerale														
Concime	Data Distribuzione					Kg/ha			N eff.	P2O5 eff.	K2O eff.	Eff.N	Reset	Effettuata
fosforo bas	apr 6, 3					150			27	69	0	100	---	☑
urea	mag 22					180			82,8	0	0	100	---	☑
16-6-30						0			0	0	0	100	---	☑
risorsa														

Figura 32 - dettaglio della maschera del software GEZOO per l'impostazione del piano di concimazione utilizzando sia effluenti zootecnici che concimi minerali

Valutazione della gestione degli effluenti

Una corretta gestione degli effluenti di allevamento deve rispondere alle diverse esigenze dell'azienda zootecnica ed essere economicamente ed ambientalmente sostenibile. Per valutarla opportunamente è fondamentale esaminare tutte le fasi dalla produzione dall'alimentazione del bestiame alla distribuzione in campo.

Per quanto riguarda l'alimentazione, le formulazioni utilizzate possono influenzare il contenuto di nutrienti presenti nelle deiezioni. Le modalità di stabulazione degli animali e di rimozione degli effluenti dalle stalle e i tempi di permanenza nelle vasche di raccolta possono comportare emissioni in aria e trasformazione della sostanza organica in essi contenuta.

Un elemento che risulta prioritario per contenere i costi di stoccaggio e distribuzione è il controllo delle quantità di acqua meteorica e di lavaggio che si aggiungono agli effluenti, con la conseguente diluizione.

Per quanto riguarda la distribuzione, gli obiettivi che ci si deve porre sono:

- Distribuire una quantità di liquame prefissata;
- garantire una elevata uniformità di distribuzione;
- distribuire la dose di nutrienti programmata grazie alla determinazione del loro contenuto nel liquame distribuito;
- ridurre le emissioni di azoto in forma ammoniacale durante e dopo la distribuzione;
- aumentare l'efficienza dell'azoto distribuito mediante la distribuzione di una parte del liquame in copertura.

Questi obiettivi possono essere raggiunti conoscendo le caratteristiche degli effluenti, pianificando opportunamente le distribuzioni con strumenti adeguati e utilizzando sistemi di distribuzione di precisione.

Il costo per la distribuzione dei liquami con queste tecniche è indubbiamente più elevato

rispetto all'utilizzo di un carrobotte aziendale. La valutazione della convenienza del cantiere deve tener conto anche di altri aspetti e dei benefici che si possono ottenere utilizzando attrezzature in grado di distribuire uniformemente e con una dose prefissata di liquame.

Una prima considerazione riguarda la riduzione dell'utilizzo di concimi minerali. Infatti, il fertilizzante contenuto negli effluenti viene apportato al terreno in quantità nota e di conseguenza è possibile ridurre una distribuzione di concime. Se si considera il costo dell'operazione di distribuzione e del concime risparmiato e, si superano facilmente i 100 €/ha. Inoltre, una distribuzione effettuata riducendo le emissioni di ammoniaca aumenta di valore di fertilizzante azotato apportato al terreno riducendo ulteriormente la necessità di un apporto di concimi minerali.

Un'ulteriore valutazione riguarda la possibilità di abbinare alla distribuzione dei liquami una lavorazione del terreno che elimina un'operazione che altrimenti dovrebbe essere eseguita con un'altra attrezzatura. Il risparmio, in questo caso può essere quantificato in 50-70 €/ha.

L'utilizzo di attrezzature ad alta capacità di lavoro consente anche di avere una maggiore tempestività nell'operazione di distribuzione degli effluenti che spesso deve essere effettuata in tempi molto contenuti.

Nel complesso quindi l'utilizzo di cantieri di precisione ha costi più elevati ma può consentire di risparmiare 100-150 €/ha. Se si effettua una comparazione dei costi del carrobotte aziendale rispetto al sistema con macchina semovente, tenendo conto di un risparmio di 100 €/ha, risulta come i costi dei diversi cantieri siano analoghi quando la dose di liquame distribuita è dell'ordine dei 50-70 m³/ha, a seconda della distanza di trasporto. Queste

quantità di liquame consentono di apportare dosi di nutrienti significative se il liquame non è molto diluito. Infatti, con una adeguata gestione delle acque meteoriche e di lavaggio si possono facilmente ottenere delle concentrazioni di azoto nelle vasche di stoccaggio di 3-4 kg/m³ che significa, distribuendo 50 m³/ha, applicare 150-200 kg/ha di azoto.

Liquami diluiti con concentrazioni di azoto inferiori ai 2,5 kg/m³ rendono l'operazione di distribuzione particolarmente onerosa, indipendentemente dal sistema utilizzato. In questo caso, i costi risultano molto elevati con cantieri di precisione.

Infine, una considerazione sul costo di distribuzione in relazione al valore del liquame.

Il costo di distribuzione per metro cubo di liquame, anche senza considerare i possibili risparmi, non supera nelle normali condizioni operative i 4 € che ne rappresentano il valore in termini di macronutrienti in esso contenuti.

Quindi, in ogni caso è sempre conveniente distribuire i liquami utilizzando attrezzature che garantiscano una distribuzione omogenea e che consentano, quando possibile, di interrare il liquame o quanto meno distribuirlo in prossimità del terreno per limitare le perdite di azoto. In questo modo, si può valorizzare il prodotto disponibile riducendo il ricorso a fertilizzanti minerali.

In un allevamento è sempre opportuno gestire e distribuire i liquami utilizzando metodi e attrezzature che garantiscano una elevata efficienza e una distribuzione omogenea.

In questo modo, si può valorizzare il prodotto disponibile riducendo il ricorso a fertilizzanti minerali e riducendo le emissioni verso l'ambiente, inserendo pienamente questi prodotti in un ambito di economia circolare.



Programma di Sviluppo Rurale 2014 - 2020

**Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale:
l'Europa investe nelle zone rurali**

Publicazione realizzata con il cofinanziamento del FEASR
Responsabile dell'informazione: Università degli Studi di Milano - DISAA
Autorità di Gestione del Programma: Regione Lombardia