

# RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA NELL'AGRICOLTURA MEDITERRANEA ATTRAVERSO TECNICHE INNOVATIVE DI FERTIRRIGAZIONE CON LIQUAMI



LIFE ARIMEDA  
LIFE16 ENV/ES/000400



Questa pubblicazione è stata prodotta come risultato del lavoro svolto nel progetto LIFE ARIMEDA:  
*Riduzione delle emissioni di ammoniaca nell'agricoltura mediterranea attraverso tecniche innovative di fertirrigazione con liquami (LIFE I 6 ENV/ES/000400)*



**Coordinatore:**

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón – CITA (Spagna)

**Partners:**

Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali (Italia)

Asociación de Defensa Sanitaria de porcino nº2 de Ejea de los Caballeros (Spagna)

Mècaniques Segalés S.L. (Spagna)

Riegos Iberia Regaber S.A. (Spagna)

Associazione Regionale Allevatori della Lombardia (Italia)

Agriter Servizi Srl (Italia)

Acquafert Srl (Italia)



**EDITING:** Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón – CITA (España)

**COORDINATO DA:** Dolores Quílez, Eva Herrero e Giorgio Provolo

**AUTORI:** (in ordine alfabetico):

Abió, David	Gea, Ramón	Quílez, Dolores
Balcells, María	Guidetti, Andrea	Salvador, Raquel
Bacenetti, Jacopo	Guido, Viviana	Sanz, Alexia
Clavería, Ignacio	Guillén, Mónica	Ruffini, Giacomo
Crespo, Azucena	Herrero, Eva	Sommariva, Flavio
Daudén, Arturo	Merigo, Giambattista	
Finzi, Alberto	Provolo, Giorgio	

**ISBN:** 978-84-09-40598-5

**DEPOSITO LEGALE:** Z 555-2022

**PROGETTAZIONE GRAFICA E LAYOUT:** AISA PUBLICIDAD

© 2021, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón

**RINGRAZIAMENTI:** Un speciale ringraziamento a tutti coloro che hanno lavorato e collaborato al progetto, ricercatori, tecnici e operatori degli enti partecipanti, così come a tutti gli imprenditori agricoli che sono stati coinvolti direttamente o indirettamente nella realizzazione delle prove dimostrative e nelle esperienze di trasferimento del progetto. I nostri ringraziamenti vanno anche a tutti gli enti che hanno collaborato durante questi 4 anni di lavoro, in particolare all'Autorità di Bacino del Fiume Ebro per la collaborazione e sostegno nell'esecuzione delle prove dimostrative presso il Centro Agronomico di La Melusa e al gruppo COAPA dell'Università Politecnica di Madrid per il contributo alle attività di valutazione delle emissioni di ammoniaca.

Il Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón non è responsabile dell'interpretazione dei contenuti del lavoro o del loro uso improprio.

Non è consentita la riproduzione totale o parziale di questo libro, né la sua elaborazione informatica, né la sua trasmissione in qualsiasi forma e con qualsiasi mezzo, sia meccanico, fotocopie, registrazione o altro, né il suo prestito, noleggio o qualsiasi forma di trasferimento dell'uso della copia, senza la precisa autorizzazione scritta dell'editore.



Il progetto LIFE ARIMEDA ha ricevuto un finanziamento dal programma LIFE dell'Unione Europea.

I contenuti di questa pubblicazione sono di esclusiva responsabilità degli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione Europea

# RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA NELL'AGRICOLTURA MEDITERRANEA ATTRAVERSO TECNICHE INNOVATIVE DI FERTIRRIGAZIONE CON LIQUAMI

# INDICE

---

SEZIONE

## **01** CONTESTO DEL PROGETTO LIFE ARIMEDA

- cap. 1** EMISSIONI AMMONIACALI: DA DOVE DERIVANO E CHE IMPATTO HANNO SULL'AMBIENTE, SULL'ECOSISTEMA E SULLA SALUTE UMANA **p. 8**
- cap. 2** L' AGRICOLTURA NELLE REGIONI MEDITERRANEE: VERSO UN MODELLO CIRCOLARE DEI NUTRIENTI E IL RUOLO DELLE PRATICHE DI FERTIRRIGAZIONE **p. 16**
- cap. 3** COME FERTIRRIGARE CON I FERTILIZZANTI ORGANICI **p. 26**

SEZIONE

## **02** IL PROGETTO LIFE ARIMEDA IN DUE REGIONI DEL MEDITERRANEO: ARAGONA E LOMBARDIA

- cap. 4** MONITORAGGIO AGRONOMICO ED AMBIENTALE NEI CAMPI DIMOSTRATIVI **p. 44**
- cap. 5** FERTIRRIGAZIONE CON LIQUAME SUINO NEI CAMPI DIMOSTRATIVI IN ARAGONA (SPAGNA) **p. 58**
- cap. 6** FERTIRRIGAZIONE CON DIGESTATO NEI CAMPI DIMOSTRATIVI IN LOMBARDIA (ITALIA) **p. 78**

SEZIONE

## **03** BENEFICI AMBIENTALI E SOCIOECONOMICI DELLE TECNICHE DI FERTIRRIGAZIONE SVILUPPATE NEL PROGETTO LIFE ARIMEDA

- cap. 7** L' ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA) DELLA FERTIRRIGAZIONE NEL BACINO DEL MEDITERRANEO **p. 92**
- cap. 8** ANALISI ECONOMICA DELLA FERTIRRIGAZIONE IN DIVERSI SCENARI **p. 106**
- cap. 9** PERCEZIONE SOCIALE DELL'IMPATTO DELL'ATTIVITÀ AGRICOLA LEGATA ALLA GESTIONE DEL LIQUAME E DEL DIGESTATO E ALL'INTRODUZIONE DI PRATICHE SOSTENIBILI COME LA FERTIRRIGAZIONE **p. 120**

---

La coerenza del progetto Arimeda rispetto agli obiettivi comunitari è molto solida: risparmio di risorse idriche, contenimento delle emissioni di ammoniaca, riduzione del consumo di fertilizzanti di sintesi, evidenza della circolarità economica nel riuso delle sostanze nutritive. Sono tutti obiettivi strategici individuabili nelle politiche agricole ambientali comunitarie. Anche in Regione Lombardia da tempo – cioè prima delle armoniche e comunicative sigle che accompagnano lo sviluppo della nuova Pac 2023-2027 quali “Farm to Fork”, “Next Generation EU”, “FFA” (Forum for the Future of Agriculture) si stanno portando avanti in varie operazioni del Piano di Sviluppo Rurale ma anche attraverso altri bandi con risorse esclusivamente regionali/ nazionali che hanno le medesime finalità, molte iniziative di sostegno e sviluppo che puntano a far sì che le aziende agricole si dotino di attrezzature, impianti e strutture in grado di migliorare le loro prestazioni ambientali. Peraltro, anche la politica regolatoria in primis quella specifica sui nitrati e sull’applicazione dell’omonima Direttiva insiste progressivamente da anni per contenere le perdite ammoniacali incentivando le pratiche agronomiche efficienti. La tecnica della fertirrigazione utilizzata e analizzata attraverso gli scenari del progetto Arimeda rende evidente ma soprattutto percorribile un concetto all’apparenza banale nella sua semplicità. Alle tecniche di irrigazione che sfruttano tecnologie impiantistiche che puntano a ridurre i consumi di acqua si può utilmente aggiungere la componente nutritiva normalmente apportata al campo da apposite distinte operazioni di distribuzione dei reflui zootecnici. Le tecniche di irrigazione della coltura unitamente alle basse concentrazioni ammoniacali e quindi alla stabilità chimica della soluzione fertirrigante fanno sì che l’operazione agronomica non rilasci né odori né emetta ammoniaca. È un doppio vantaggio di cui non si può non tenere conto.

*Luca Zucchelli*  
*Regione Lombardia*  
*D.G. Agricoltura, Alimentazione e Sistemi Verdi*

---

En la Comunidad Autónoma de Aragón, existe un gran desarrollo del sector porcino con una alta importancia económica, pero que implica la producción de grandes cantidades de purín de ganadería intensiva. La forma más sostenible e interesante de valorizar este tipo de estiércoles, es su aplicación a los cultivos como fertilizante. Tiene gran interés poder adaptar las aplicaciones de purín a los momentos de necesidad de nutrientes de los cultivos, para que el impacto ambiental por emisiones y lixiviaciones sea mínimo.

El desarrollo de las plantas, como en el caso del maíz, cultivo muy extendido en el regadío aragonés, complica o imposibilita la aplicación del purín por los sistemas tradicionales de distribución en parte del ciclo vegetativo cuando el cultivo esta crecido, en ese momento los agricultores se ven obligados a utilizar fertilizantes minerales, aunque dispongan de purines porcinos.

El proyecto LIFE ARIMEDA, desarrolla y analiza técnica y ambientalmente la aplicación del purín como fertilizante, con prácticas alternativas a las tradicionales, de forma que permite ampliar las dosis y los momentos de aplicación de estos estiércoles en los cultivos, de forma sostenible, minimizando los impactos sobre la emisión de amoníaco y la contaminación de las aguas por nitratos de origen agrario.

El desarrollo, la información y resultados del proyecto son importantes para lograr una adecuada transferencia al sector agroganadero por parte del Centro de Transferencia Agroalimentaria del Gobierno de Aragón, de los técnicos de las entidades y de los servicios de asesoramiento existentes. Es necesario disponer de los conocimientos necesarios para la implantación de la fertilización con purines mediante riego por aspersión y por goteo, conociendo sus ventajas, inconvenientes y adecuado manejo y esta publicación aporta información y conocimiento para una adecuada implementación.

*Marta Vallés Pérez*  
*Centro de Transferencia Agroalimentaria*  
*Gobierno de Aragón*

# 1

## EMISSIONI AMMONIACALI: DA DOVE DERIVANO E CHE IMPATTO HANNO SULL'AMBIENTE, SULL'ECOSISTEMA E SULLA SALUTE UMANA

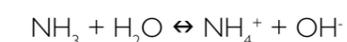
GIORGIO PROVOLO  
DOLORES QUÍLEZ  
EVA HERRERO  
ARTURO DAUDÉN  
VIVIANA GUIDO

### 1.1 CHE COS'È L'AMMONIACA?

L'ammoniaca è un composto di azoto e idrogeno espresso dalla formula  $\text{NH}_3$ . È incolore con un odore molto pungente, con caratteristiche irritanti e tossiche. In presenza di ossigeno può creare legami con alluminio, rame, nickel e le corrispondenti leghe metalliche. È un composto debolmente basico e reagisce con gli acidi per formare i rispettivi sali di ammonio.

L'ammoniaca è una delle forme reattive dell'azoto (N) e, come le altre forme reattive dell'N, è generalmente scarsa in ambiente naturale, ha inoltre una densità inferiore a quella dell'aria e quindi tende a salire verso l'alto quando prodotta.

Poiché l'ammoniaca è molto solubile in acqua, si trova spesso in fase liquida. In questo stato si dissocia, il che significa che si formano ioni del tipo:



La forma ionizzata ( $\text{NH}_4^+$ ) non è volatile e quindi non provoca emissioni nell'aria, ma se rilasciata nelle acque può causare eutrofizzazione. I principali fattori che influenzano la ionizzazione sono il pH e la temperatura (Figura 1.1). Quando aumentano, la percentuale di ammoniaca in forma libera cresce ed è più probabile che si verifichi il processo di volatilizzazione.

L'efficacia della volatilizzazione dell'ammoniaca è influenzata dalla resistenza al movimento del gas e dalle caratteristiche della superficie di scambio tra liquido e aria. Gli altri fattori principali sono la temperatura e la pressione parziale di vapore sulla superficie del liquido, che si riduce all'aumentare della velocità dell'aria (Figura 1.1).

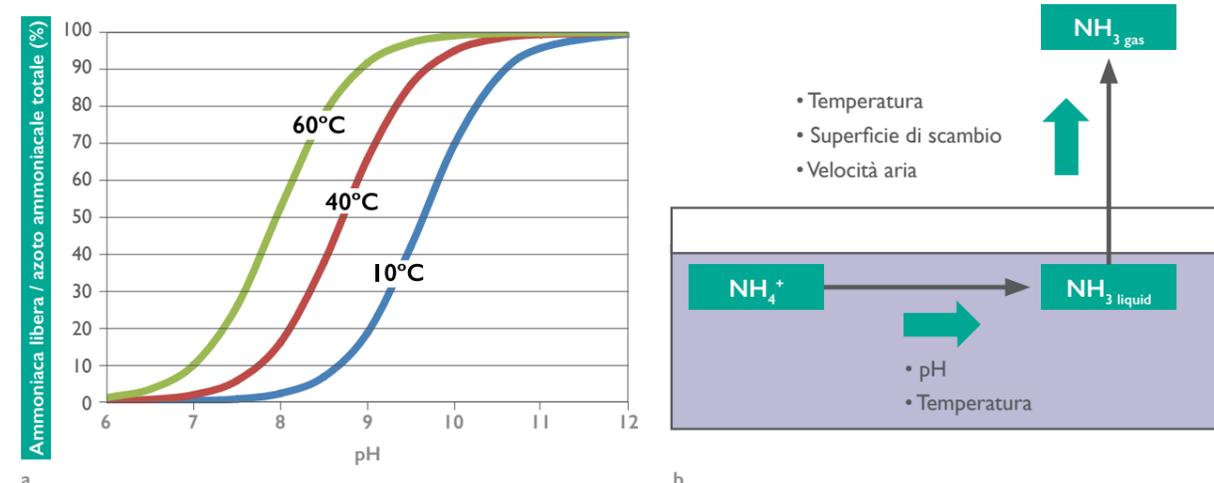
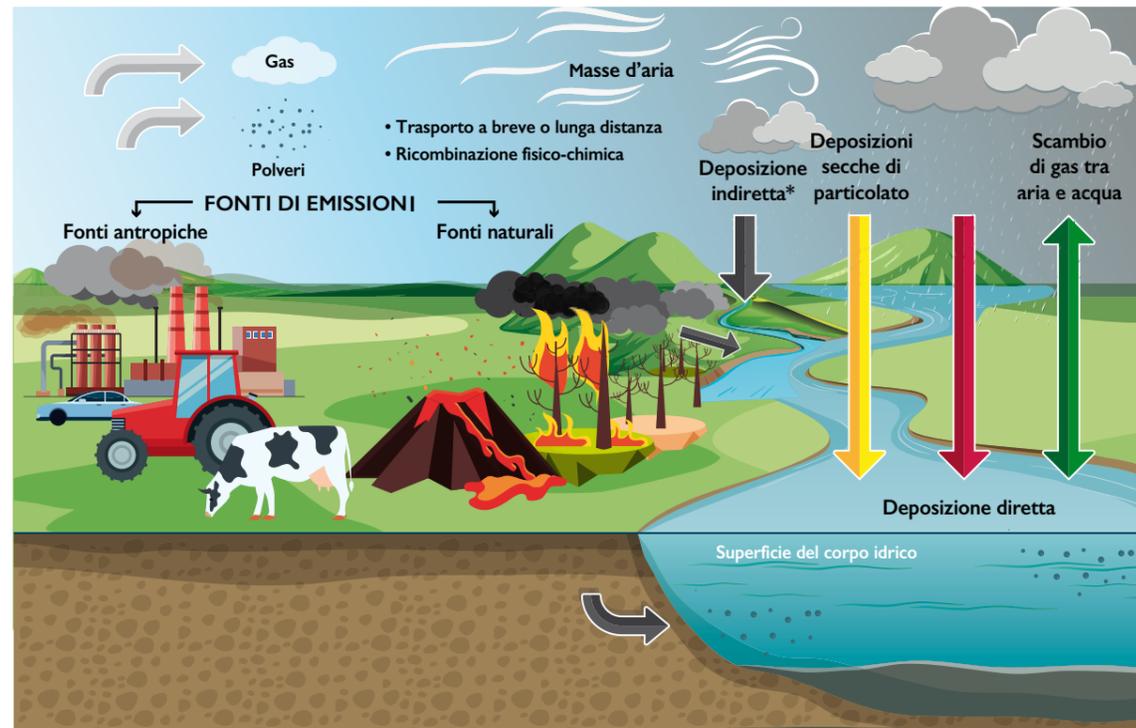


Figura 1.1. Fattori che influenzano la dissociazione e l'emissione dell'ammoniaca

### 1.2 L'AMMONIACA IN ATMOSFERA

Qualsiasi composto che contenga azoto in forma di ione ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) può rilasciare ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) nell'aria. Pertanto, le sue fonti di emissione sono sia naturali che antropiche. L' $\text{NH}_3$  è trasportata dal vento e svolge un ruolo importante nell'acidità delle precipitazioni e nella formazione di particolato nell'atmosfera (PM o aerosol). L'ammoniaca e l'ammonio nell'atmosfera subiscono processi di deposizione umida e secca in aree situate nella direzione prevalente del vento rispetto alle fonti di emissione. Tutti questi processi possono causare effetti negativi sull'ambiente e importanti rischi per la salute pubblica (Behera et al, 2013) (Figura 1.2).



\* La deposizione indiretta è la deposizione diretta sul terreno, seguita da ruscellamento o percolazione attraverso le acque sotterranee in un corpo idrico superficiale.

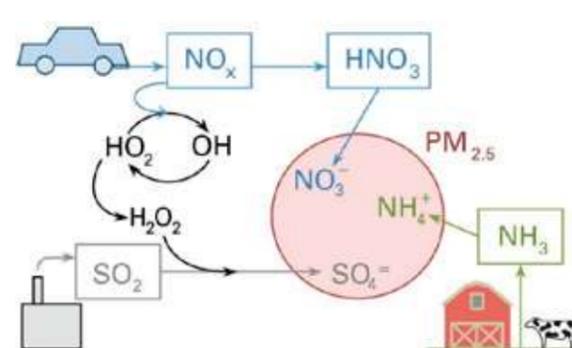
Figura 1.2. Emissioni in atmosfera, trasporto, trasformazione e deposizione di gas (adattato da Behera et al., 2013).

Le reazioni chimiche che avvengono sotto l'influenza della luce solare e la presenza di altri composti nell'atmosfera portano alla formazione di nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) e acido nitrico in fase gassosa ( $\text{HNO}_3$ ). L'ammoniaca e l'ammonio sono le forme predominanti di N nelle particelle d'acqua presenti nelle nuvole, nella nebbia e nelle precipitazioni. L'ammoniaca reagisce rapidamente con gli acidi, producendo sali di ammonio e piccole particelle solide (i cosiddetti aerosol), come  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Figura 1.3). La formazione di aerosol determina le distanze alle quali questi ioni possono essere trasportati. La deposizione secca è la deposizione diretta sul terreno, sulla vegetazione o sui corpi idrici. Mentre la maggior parte dell'ammoniaca emessa si deposita a poca distanza dalla sorgente emittente, in media il 50% nel giro di 50 km. Gli aerosol possono percorrere grandi distanze. Alcuni studi hanno rilevato più del 20% dell'ammoniaca emessa da una sorgente a una distanza di 1000 km (Ferm, 1998).

Figura 1.3. Ciclo di formazione del particolato atmosferico.

Gas e particelle possono raggiungere la superficie terrestre anche come deposizione umida attraverso la pioggia, depositandosi sulla vegetazione, sul suolo e sull'acqua e attraverso un terzo meccanismo chiamato deposizione occulta, che è legato all'incorporazione di questi composti in gocce di nebbia che raggiungono successivamente la terra.

Si può stimare che la deposizione secca ammonti al 68% del totale, la deposizione umida al 25-30% mentre la deposizione occulta solo il 2%. Questa quota può variare significativamente a seconda delle condizioni meteorologiche (Bobbink et al., 2013).



### 1.3 EFFETTO NEGATIVO DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA

L'emissione e la successiva deposizione di ammoniaca è dannosa per gli ecosistemi in quanto è causa di acidificazione e risulta nociva per le comunità vegetali. Inoltre, questo composto è un precursore della formazione di particolato fine, che ha effetti negativi sulla salute umana, infatti, colpisce i sistemi respiratorio e cardiovascolare, e può essere causa di morte prematura. L'ammoniaca è anche un precursore degli ossidi di azoto e può essere, in determinate situazioni, una fonte di protossido di azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ) che è un potente gas serra.

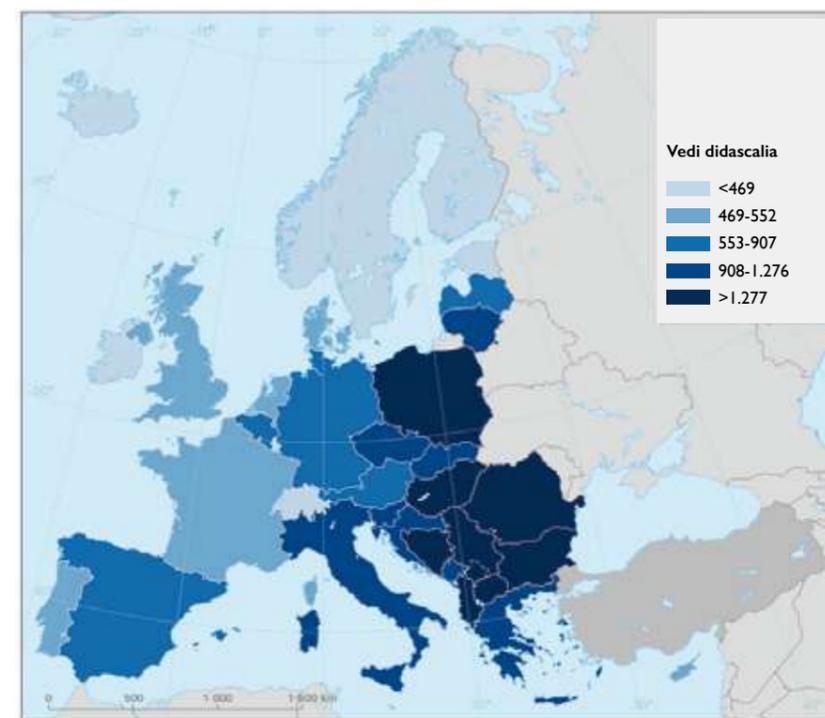
#### Particolato

Il particolato fine inferiore a  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) o anche inferiore a  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) contiene particelle inalabili sufficientemente piccole da penetrare nella regione toracica dell'apparato respiratorio. Gli effetti negativi sulla salute di queste particelle inalabili sono dovuti all'esposizione sia a breve termine (ore, giorni)

che a lungo termine (mesi, anni) e comprendono malattie respiratorie e cardiovascolari, con aggravamento delle malattie asmatiche e respiratorie, con un aumento dei ricoveri ospedalieri.

Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, 2019), l'esposizione a lungo termine al  $\text{PM}_{2.5}$  provoca circa 400.000 morti premature all'anno in Europa. L'esposizione a lungo termine al  $\text{PM}_{2.5}$  è inoltre associata ad un aumento del rischio di mortalità per malattie cardiopolmonari, dal 6 al 13% per ogni  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di aumento della concentrazione di  $\text{PM}_{2.5}$  (WHO, 2013).

L'esposizione al  $\text{PM}_{2.5}$  riduce l'aspettativa di vita della popolazione in Europa di circa 8,6 mesi (Figura 1.4). L'aspettativa di vita nelle città più inquinate potrebbe aumentare di circa 20 mesi se la concentrazione a lungo termine di  $\text{PM}_{2.5}$  fosse ridotta a un livello medio annuo di  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO, 2013).



Nota: YYL, anni di vita persi. La classificazione dei valori nella legenda è ottenuta in modo che in ogni classe ci sia un quinto dei Paesi. La valutazione è stata svolta per tutta l'Europa e può essere diversa da studi specifici a livello nazionale.

Fonte: Basato su EEA (2019)

Figura 1.4. Diminuzione dell'aspettativa di vita, anni per 100.000 abitanti, attribuibile all'esposizione al particolato fine ( $\text{PM}_{2.5}$ ) nei paesi europei nel 2016 (EEA, 2019).

## Acidificazione

L'acidificazione è la perdita della capacità neutralizzante del suolo e delle acque, come conseguenza del ritorno alla superficie terrestre, sotto forma di acidi, degli ossidi di zolfo e di azoto provenienti dall'atmosfera. Si verifica quando le particelle sospese nell'aria vengono depositate sul terreno da piogge acide, neve e nebbia. Sebbene i gas come l'anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ ) e gli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), prodotti per lo più dall'industria e dai trasporti, contribuiscono alla formazione delle piogge acide e, successivamente, all'acidificazione, l'ammoniaca gioca un ruolo predominante. Si stima che sia responsabile del 24% dell'acidificazione degli ecosistemi terrestri (Sarteel et al., 2016).

Le piogge acide danneggiano le foreste e la vegetazione sia direttamente che indirettamente. Direttamente, perché i composti chimici disciolti nelle piogge acide danneggiano le foglie e la corteccia degli alberi e la vegetazione in genere, rendendoli più vulnerabili alle malattie e ai danni degli insetti. Indirettamente, perché i composti chimici delle piogge acide modificano il pH del terreno, distruggendo i microrganismi del suolo e reagendo con i nutrienti del suolo, provocandone la dissoluzione e il dilavamento con la pioggia prima che possano essere assorbiti dalle piante. Un altro effetto indiretto delle piogge acide è la mobilitazione di sostanze chimiche nocive, come l'alluminio, che vengono rilasciate nel terreno e possono danneggiare la vegetazione. L'impatto delle piogge acide sulle colture è meno importante perché può essere ridotto al minimo mediante l'applicazione di calce e fertilizzanti per correggere il pH del terreno aumentandolo e sostituendo i nutrienti persi. Tuttavia, questa non può essere considerata un'opzione per vaste aree non coltivate, come le foreste (Sarteel et al., 2016).

## Eutrofizzazione e biodiversità

La deposizione di ammoniaca contribuisce all'arricchimento di azoto dei corpi idrici e quindi può essere un'ulteriore causa di eutrofizzazione, anche

se la maggior parte dei nutrienti che raggiungono le acque provengono da altre fonti.

L'eutrofizzazione consiste in un progressivo sovra-arricchimento dell'acqua con sostanze nutritive, che si traduce in una crescente produzione biologica che porta ad un'eccessiva proliferazione di alghe e piante; sia alghe microscopiche (fitoplancton e diatomee), sia alghe filamentose, alghe macroscopiche e piante superiori. La loro decomposizione da parte dei batteri consuma l'ossigeno disciolto nell'acqua, produce cattivi odori e può portare alla morte della fauna ittica. Inoltre, l'arricchimento di nutrienti può favorire la crescita di un'ampia varietà di alghe tossiche. L'eutrofizzazione è un fenomeno naturale nei corpi idrici in cui le sostanze nutritive si accumulano in centinaia di anni, ma è incrementata quando vengono rilasciati nutrienti da aree di coltivazione eccessivamente fertilizzate o con lo scarico di acque reflue.

Nelle aree potenzialmente interessate da questo fenomeno, il rischio di eutrofizzazione aumenta con la temperatura, con l'elevata disponibilità di luce e con acque calme. Questo spiega perché l'eutrofizzazione colpisce le acque superficiali, dai laghi e fiumi alle lagune saline e alle acque costiere.

Attraverso l'inquinamento delle acque e l'alterazione dell'equilibrio tra comunità biotiche, l'eutrofizzazione rappresenta una minaccia diretta per la salute pubblica (ad esempio, limitando la potabilità dell'acqua) e per la biodiversità (ad esempio, causando l'estinzione di alcune popolazioni o portando allo sviluppo di specie invasive più adatte all'alto contenuto di nutrienti). Colpisce anche settori economici chiave, come la pesca e il turismo, a causa di odori, paesaggi alterati e la restrizione di attività economiche e ricreative ad alto contenuto socioeconomico come la pesca (Sarteel et al., 2016).

## 1.4 FONTI DI EMISSIONI AMMONIACALI

In Europa, il rapporto pubblicato dalle Nazioni Unite (UNECE, 2021) indica che le emissioni di ammoniaca sono rilevanti e che le sue fonti sono concentrate principalmente nelle aree di produzione agricola intensiva (Figura 1.5). In questo rapporto, le principali fonti identificate per le emissioni di  $\text{NH}_3$  sono la produzione zootecnica (inclusa la gestione degli effluenti) con un contributo del 70% e l'uso di fertilizzanti sintetici con quasi il 20%.

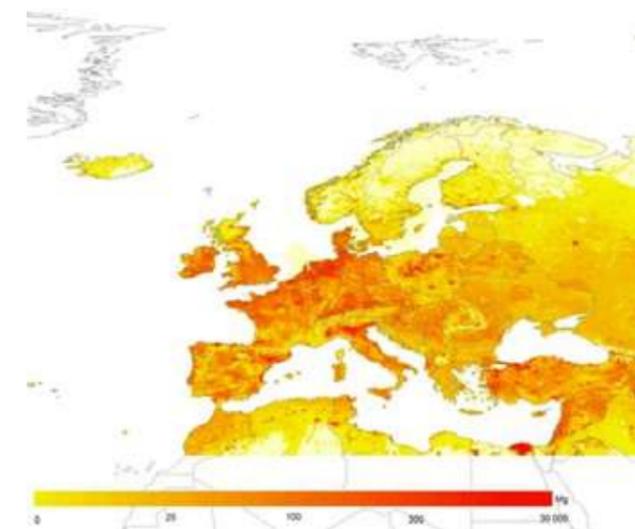
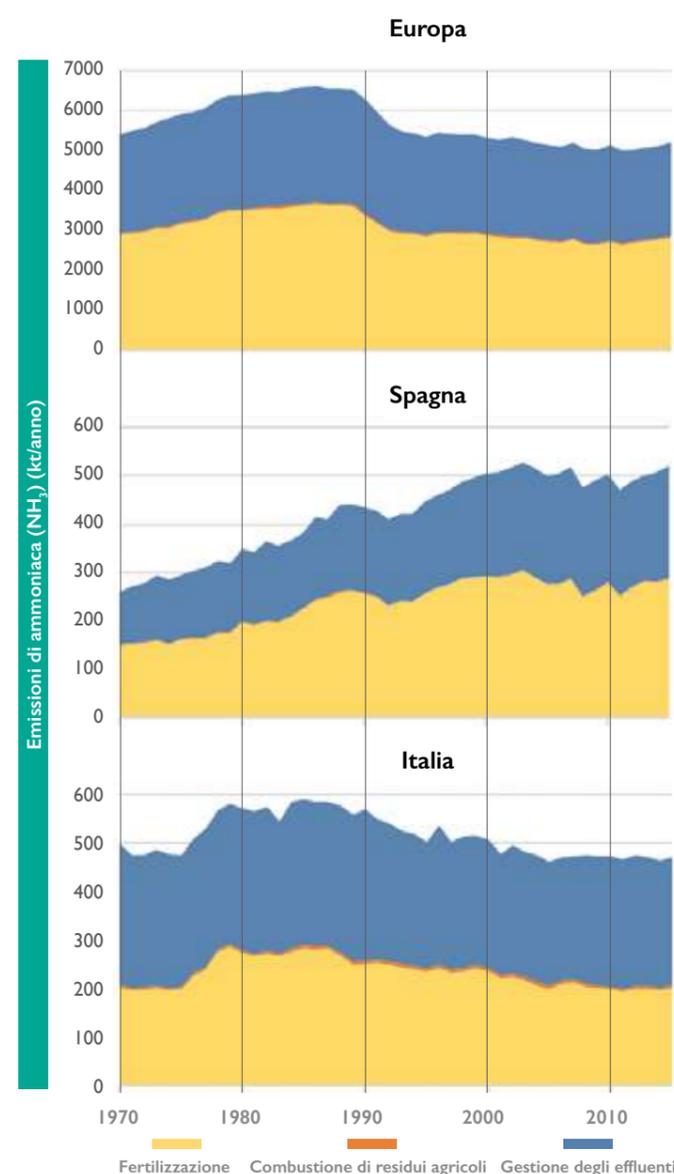


Figura 1.5. Emissioni ammoniacali in  $\text{kg NH}_3$  per  $\text{km}^2$  (UNECE, 2021).



Negli ultimi anni la produzione animale è aumentata notevolmente a causa di un aumento della domanda di carne e latte per il consumo umano, che ha portato ad un rapido aumento del numero di capi di bestiame allevati. Tra il 1960 e il 2000, la popolazione umana è raddoppiata, mentre, nello stesso periodo, il numero di animali è triplicato (Behera et al., 2013).

Le due principali fonti di emissione sono la fertilizzazione delle colture e gli allevamenti (Figura 1.6). In Europa si osserva un generale trend di diminuzione delle emissioni di ammoniaca prodotte dal 1995, tuttavia si osserva un leggero aumento negli ultimi anni delle serie storiche, a cui occorre prestare attenzione.

Figura 1.6. Trend delle emissioni ammoniacali nel settore agricolo in Europa (in alto), Spagna (in mezzo) e Italia (in basso) (Dati derivati da EDGARv4.1, 2021).

A livello nazionale le tendenze possono essere molto diverse. Ad esempio, il trend della Spagna mostra un deciso aumento delle emissioni di ammoniaca dovuto principalmente all'aumento del numero di capi ma anche all'aumento dei fertilizzanti minerali (Eurostat, 2021), mentre in Italia le emissioni dal settore zootecnico sono pressoché costanti e la riduzione potrebbe essere attribuita ad un più razionale utilizzo dei fertilizzanti (Figura 1.6).

Le emissioni dal settore zootecnico provengono per circa il 50% dal comparto bovino, il 30% dal comparto suino e il 20% da quello avicolo (Figura 1.7). L'origine di queste emissioni è distribuita tra le seguenti fasi: stabulazione degli animali (40%), stoccaggio di effluenti zootecnici in azienda (20%), applicazione al campo (35%) e pascolo (5%). Queste fonti di emissione non sono indipendenti l'una dall'altra. Ad esempio, una buona gestione nella stabulazione degli animali riduce le perdite di azoto e mantiene una maggiore concentrazione di azoto

nel liquame o nel letame che esce dalle stalle. La copertura degli stoccaggi ha lo stesso effetto, poiché le perdite di N nell'atmosfera vengono ridotte. Questo aumento della concentrazione di azoto potrebbe portare a maggiori emissioni di ammoniaca durante l'applicazione di questi fertilizzanti ai terreni agricoli. Pertanto, l'uso di tecniche di distribuzione in campo a basse emissioni è un elemento fondamentale di una strategia efficace per ridurre le emissioni di ammoniaca associate all'allevamento, orientando a un uso efficiente dei nutrienti. Le tecniche di fertirrigazione dimostrate nel progetto LIFE ARIMEDA possono contribuire in modo significativo alla riduzione delle emissioni di ammoniaca in questa fase di applicazione al terreno. Tuttavia, è essenziale affrontare una gestione globale delle emissioni che tenga conto di tutti i possibili effetti a cascata delle pratiche implementate nelle fasi precedenti del sistema di gestione degli effluenti, che portano ad adottare le migliori tecniche in ciascuna di esse.

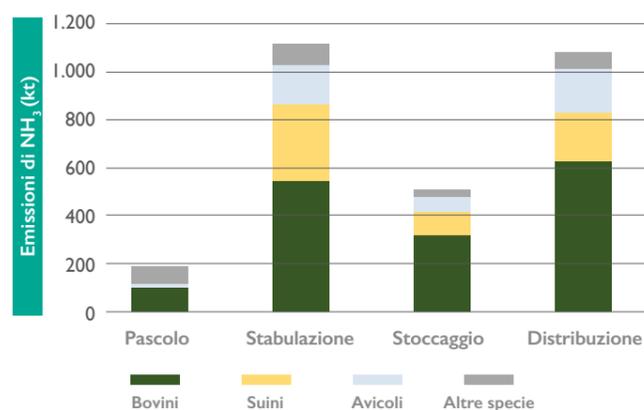


Figura 1.7. Emissioni di NH<sub>3</sub> dal settore zootecnico relative alle diverse fasi di gestione degli effluenti (IIASA, 2017).

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Behera, S.N., Sharma, M., Aneja, V.P., Balasubramanian, R. 2013. Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20(11) 8092-131.

Bobbink, R., Bal, D., Dobben, H.F., Jansen, A., Nijssen, M., Siepel, H., Schaminée, J., Smits, N., Vries, W. 2013. The effects of nitrogen deposition on the structure and functioning of ecosystems.

EEA, 2019. The European environment - state and outlook 2020. Knowledge for transition to a sustainable Europe. European Environment Agency, Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-9480-090-9. doi: 10.2800/96749.

Eurostat, 2021.

Ferm, M. 1998. Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and critical loads: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 5–17.

IIASA, 2017. Measures to address air pollution from agricultural sources, European commission contract SRII-ENVC.3/FRA/2013/00131, International Institute for Applied Systems Analysis.

Sarteel M., Tostivint C., Landowski A., Basset C., Muehmel K., Lockwood S., Ding H., Oudet N., Mudgal S., Cherrier V., Grebot B., Naumann S., Dooley E., Lukat E., Frelh-Larsen A., Wunder S., Carter M.S., Ambus P., Provolo G., Koeijer T.D., Linderhof V., Michels R. 2016. Resource efficiency in practice: closing mineral cycles: final report. Luxembourg: European Commission, Directorate-General for the Environment. ISBN 9789279582387. doi:10.2779/710012.

UNECE, 2021. Assessment Report on Ammonia. Economic Commission for Europe Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution Working Group on Strategies and Review.

WHO, 2013. Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE Project: recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

# 2

## L' AGRICOLTURA NELLE REGIONI MEDITERRANEE: VERSO UN MODELLO CIRCOLARE DEI NUTRIENTI E IL RUOLO DELLE PRATICHE DI FERTIRRIGAZIONE

**MARÍA BALCELLS  
DOLORES QUÍLEZ  
EVA HERRERO  
FLAVIO SOMMARIYA  
GIORGIO PROVOLO**

### 2.1 INTRODUZIONE

I paesi del bacino del Mediterraneo sono caratterizzati dalla produzione dei cosiddetti prodotti tipici dell'area mediterranea, come olio d'oliva, vino, frutta e verdura.

Queste regioni presentano caratteristiche bioclimatiche simili tra loro, dove la bassa produzione agricola è legata in generale alla scarsità d'acqua, ma con un'elevata capacità produttiva potenziale quando è presente l'irrigazione.

La maggior parte delle aziende agricole sono a conduzione familiare, ma le strutture delle aziende agricole mostrano una grande variabilità nei diversi paesi (CIHEAM, 2010).

Nelle aree mediterranee d'Europa (Italia, Grecia, Spagna) sono state realizzate vaste aree irrigue che hanno cambiato l'agricoltura tradizionale per una più competitiva basata su colture intensive a maggior valore aggiunto (mais, erba medica) e sulla frutticoltura.

Anche nel settore dell'allevamento si è assistito ad una significativa trasformazione con il passaggio da un allevamento estensivo, basato su ovini e alcuni bovini, a una produzione più intensiva, di bovini e suini, che è cresciuta vertiginosamente negli ultimi anni.

Le colture presenti in queste aree hanno un'elevata capacità produttiva e, ad essa sono associate elevate esigenze di fertilizzazione; parallelamente l'aumento della superficie irrigua ha visto un crescente uso di fertilizzanti sintetici.

Questo è legato al fatto che è stata via via abbandonata la pratica tradizionale di utilizzare il concime organico (letami e liquami zootecnici) come fertilizzante a favore di concimi chimici più semplici nella manipolazione e applicazione. Ciò ha reso difficile, in molte aree, una corretta gestione dei nutrienti contenuti nel liquame e letame residuo.

Già nel 2006 si stimava che in alcune regioni del bacino del Mediterraneo la quantità di azoto contenuta nel concime organico fosse sufficiente a fertilizzare tutte le colture esistenti (Orús e Sin, 2006), tuttavia il consumo di fertilizzanti azotati è aumentato progressivamente, comportando un eccesso di azoto nei sistemi agricoli e con la logica conseguenza di una produzione di importanti emissioni diffuse sia in atmosfera che nei corsi d'acqua.

La riduzione delle emissioni di ammoniaca (95% dovute alla produzione agricola) e dei gas serra in atmosfera e la riduzione dell'inquinamento delle acque da nitrati sono due aspetti chiave della politica europea, contemplati all'interno del Green Deal Europeo che ha come obiettivi per il 2030 la riduzione delle perdite dei nutrienti del 50%, senza ridurre la fertilità del suolo, attraverso la riduzione dell'uso di fertilizzanti del 20%.

In quest'ottica, un efficiente riciclo dei nutrienti è fondamentale e le tecniche di fertirrigazione sviluppate e messe a punto nel progetto LIFE ARIMEDA sono destinate ad avere uno sviluppo esponenziale nelle aree ad alta produzione zootecnica, in quanto, relativamente facili da attuare, sono in grado di aumentare il ritorno economico delle aziende agricole, ridurre le emissioni di ammoniaca in atmosfera, consentire la sostituzione del fertilizzante sintetico con liquame durante tutto il ciclo colturale e consentire la riduzione delle dosi di azoto sfruttando l'applicazione durante tutto il ciclo colturale.

Di seguito vengono presentate le caratteristiche del settore agricolo e zootecnico nelle due aree (Aragona e Lombardia) dove è stato sviluppato il progetto LIFE ARIMEDA e vengono presentate le prospettive di applicazione delle tecniche di fertirrigazione sviluppate nell'ambito di ciascuna delle regioni.

## 2.2 IL CASO DELL'ARAGONA (SPAGNA)

### 2.2.1. INTRODUZIONE

Negli ultimi 10 anni, la Produzione Agricola in Aragona (valore dei prodotti agricoli, prima della trasformazione, disponibili per l'esportazione e il consumo) è aumentata fino a raggiungere 4,5 milioni di euro nel 2020.

La produzione agricola è rimasta pressoché costante in questo periodo, mentre la produzione zootecnica è aumentata costantemente, principalmente a causa dell'intensivizzazione degli allevamenti, soprattutto nel settore suinicolo (Figura 2.1).

Questo andamento è in qualche modo in controtendenza rispetto a quello generale della Spagna, che, nel suo insieme, mostra un valore della Produzione Agricola di poco superiore a 50.000 milioni di euro nel 2020, di cui il 58% legato alla produzione di ortaggi, mentre in Aragona la situazione è diversa. Nell'anno 2020, il settore suinicolo ha rappresentato il 68% della produzione zootecnica finale e il 43% della produzione agricola finale. Per l'importanza dei diversi settori, i più rilevanti, dopo quello della carne suina, sono i cereali con il 13,4%, la frutticoltura con il 10,4% e i bovini da carne con l'8,8%.

All'altro estremo c'è un settore molto emblematico e tradizionale per l'Aragona, ossia quello ovino, che raggiunge appena il 2% della produzione agricola e che, tuttavia, ha un ruolo essenziale nel mantenimento dell'ambiente e della popolazione nelle zone rurali.

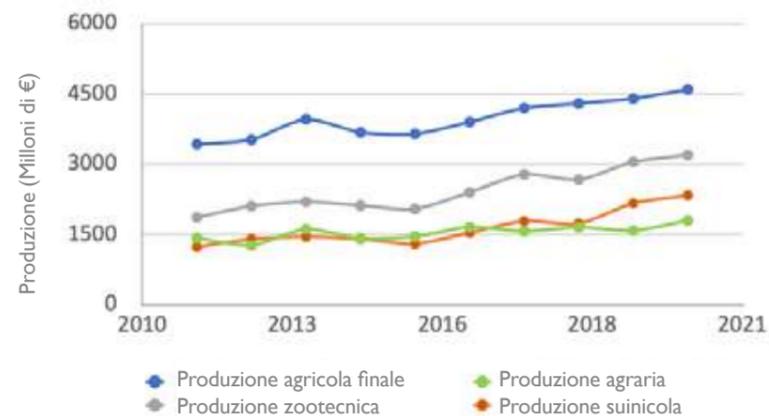


Figura 2.1. Evoluzione della produzione agricola finale, della produzione agricola, della produzione di bestiame e della produzione di suini in Aragona.

L'Aragona guida, insieme alla Catalogna, la classifica nazionale nella produzione di suini con poco più di 4.000 allevamenti e un totale di 8.907.098 capi nel 2021, che hanno prodotto 11.793.970 m<sup>3</sup> di liquame suino (Governo di Aragona, 2022).

L'Aragona è anche la quarta comunità autonoma in Spagna con la più grande superficie irrigata (413.482 ha, l'1% dell'irrigazione spagnola totale), superata solo da Andalusia, Castiglia-La Mancia, Castiglia e León.

L'irrigazione si estende soprattutto nella sponda sinistra dell'Ebro con grandi sistemi di irrigazione (Figura 2.2) gestiti da consorzi irrigui come quelli di Bardenas (88.000 ha), Riegos del Alto Aragón (130.000 ha) o Canal de Aragón y Cataluña (100.000 ha, inclusa la Catalogna) e irrigati con acqua di buona qualità proveniente dai bacini dei Pirenei. I terreni irrigui della sponda destra sono più piccoli e in molti casi sono irrigati con acqua di falda; l'acqua di irrigazione in queste zone è di qualità inferiore con un maggior contenuto di sali.

Le principali colture irrigue sono i cereali autunno-vernini, seguiti da erba medica e mais (Figura 2.3). La combinazione di queste due caratteristiche, un numero elevato di allevamenti suini e un'ampia superficie irrigua, evidenzia la necessità di svolgere un'agricoltura responsabile nei confronti dell'ambiente, ricercando soluzioni innovative che consentano di massimizzare le prestazioni degli allevamenti e ridurre al minimo le perdite di azoto e altri nutrienti verso l'atmosfera e i corsi d'acqua.

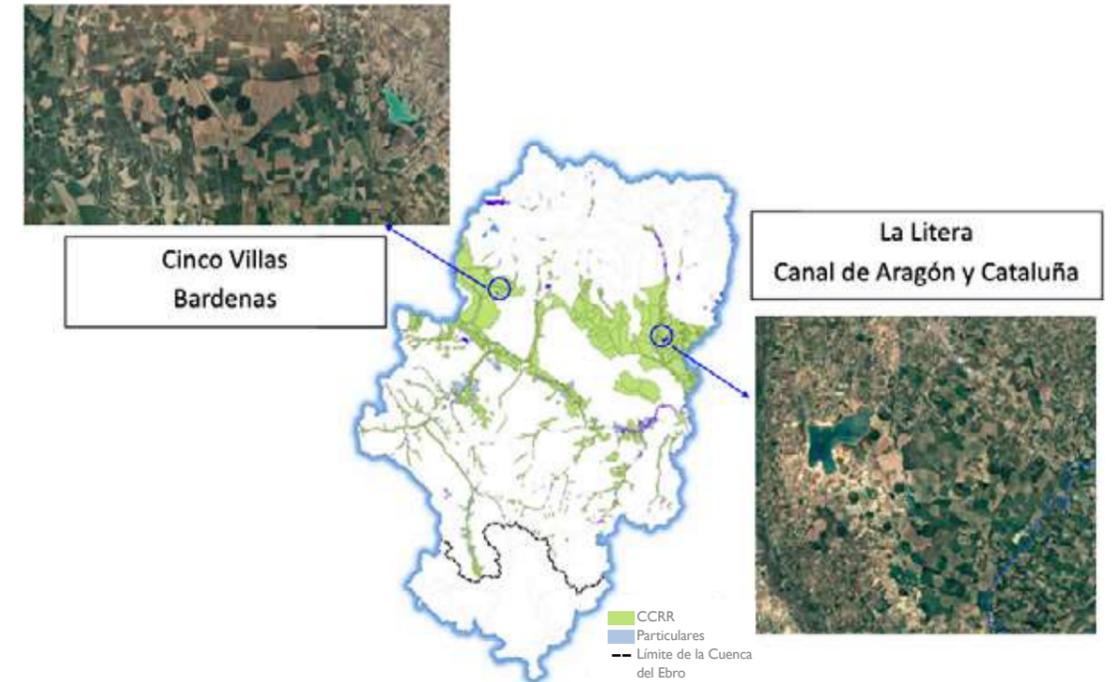
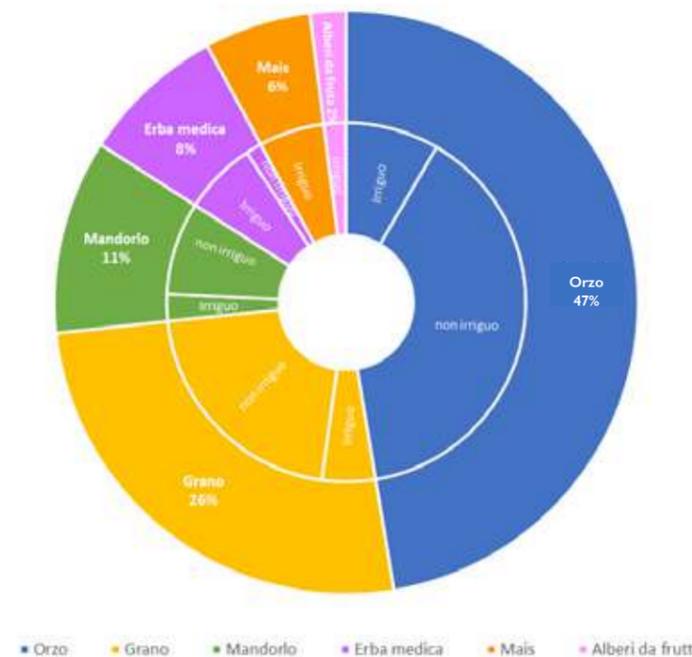


Figura 2.2. Distribuzione dell'irrigazione in Aragona con il dettaglio di due aree in cui predomina l'irrigazione a pivot. (Zapata et al., 2020).

### 2.2.2 SISTEMA DI IRRIGAZIONE



In Aragona, sebbene il sistema di irrigazione per scorrimento abbia subito un declino negli ultimi dieci anni, risulta ancora quello predominante (185.849 ha, 44,94%). La superficie irrigua per aspersione è invece quella che è cresciuta di più in termini assoluti nell'ultimo decennio (38.601 nuovi ettari) poiché tutte le nuove conversioni all'irrigazione vengono effettuate in pressione. L'irrigazione localizzata ha inoltre incrementato notevolmente la sua estensione con un notevole aumento della superficie delle colture legnose (mandorlo, olivo, vite, noce) dove viene utilizzato questo sistema di irrigazione localizzata.

Figura 2.3. Principali colture irrigue in Aragona nel 2020 (Fonte, MAPA, 2020).

Tuttavia, questo sistema di irrigazione non viene utilizzato nelle colture di pieno campo se non in situazioni eccezionali (Figura 2.4). La superficie di irrigazione automatizzata (principalmente pivot e ranger), è leggermente aumentata, ma senza subire un aumento parallelo a quello della superficie irrigata per aspersione. L'irrigazione automatizzata rappresentava il 22% della superficie irrigata con irrigazione in pressione nel 2020 (34.408 ettari, MAPA, 2020).

Le superfici con irrigazione con pivot sono distribuite su tutto il territorio aragonese, come si può vedere nelle immagini satellitari della Figura 2.2, e si concentrano sulle aree irrigue di Bardenas e sul Canale di Aragona e Catalogna. In queste due aree sono stati individuati i campi dimostrativi del progetto per l'ottima possibilità di trasferimento offerta dalla loro posizione. I sistemi di irrigazione in pressione moderni e i nuovi sistemi di irrigazione sono altamente tecnici nella gestione dell'irrigazione.

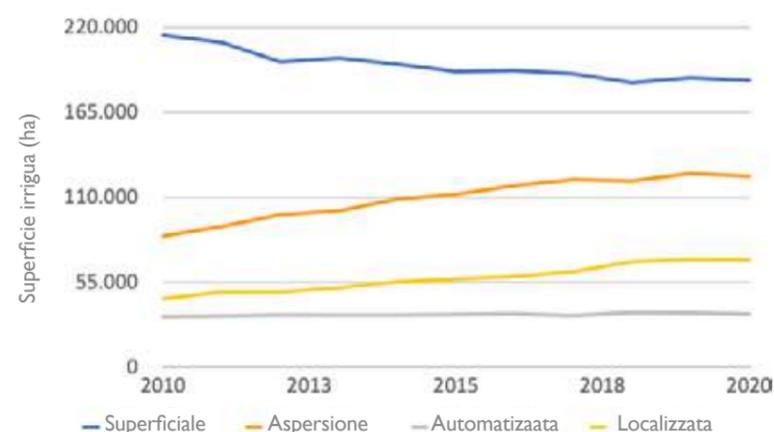


Figura 2.4. Evoluzione dell'area irrigata in Aragona (2010-2020) con i diversi sistemi irrigui (Fonte: MAPA, 2020).

## 2.2.3 ALLEVAMENTO E FERTILIZZAZIONE DELLE COLTURE

In Aragona negli ultimi 20 anni si è assistito ad un grande sviluppo della produzione intensiva nel settore suino, portandola ad essere, attualmente, la regione europea con il maggior numero di porcilaie (quasi 9 milioni). Questo incremento è dovuto principalmente a due fattori: l'insediamento di nuove aziende o l'ampliamento di quelle esistenti; in un modo o nell'altro c'è stata una concentrazione di aziende in aree specifiche del territorio aragonese.

Questo spostamento ha portato all'individuazione di 11 comuni dell'Aragona (Orden DRS/333/2019) come zone con elevata densità di bestiame causa di eccesso di azoto di origine organica proveniente dall'attività zootecnica e in molti altri comuni esistono normative che limitano l'espansione degli allevamenti e quindi del numero di capi allevabili.

Nelle zone con elevata densità di animali viene prodotto più azoto di quello che può essere applicato alle colture. Questo crea problemi nella sua gestione e, spesso, si riscontra una sovra fertilizzazione dei campi, con conseguenti emissioni e inquinamento, oltre alla perdita del valore fertilizzante del liquame prodotto.

Vi è però un aspetto importante e positivo di tale concentrazione di aziende agricole, infatti, in aree specifiche,

ha favorito la creazione di imprese basate sulla gestione collettiva di letame e liquame. Questi centri di gestione, che dispongono di attrezzature più grandi, efficienti e in grado di effettuare distribuzioni più uniformi, hanno il compito di distribuire il liquame dagli stoccaggi delle aziende ai campi in modo da massimizzare l'efficienza di riutilizzo e distribuire i costi di gestione dell'effluente tra l'allevatore che lo produce e l'agricoltore che lo utilizza. Sebbene i liquami e il letame siano sempre più utilizzati per fertilizzare le colture, data la grande quantità disponibile, l'acquisto di prodotti fertilizzanti minerali è

elevato e in aumento. Da un lato si osserva un aumento significativo della produzione di liquame, attualmente superiore a 11 milioni di m<sup>3</sup>/anno (Figura 2.5), che equivale a circa 65.000 t N/anno, e dall'altro un aumento della vendita di fertilizzanti prodotti, che nel 2020 ammontano a circa 136.811 t N con un incremento del 36% tra il 2016 e il 2020, (Tabella 2.1). Non sorprende che l'ultimo bilancio di Azoto effettuato dal Ministero dell'Agricoltura (MAPA, 2018) mostri un saldo positivo (eccesso di N) di 22,5 kg N/ha per l'intero territorio aragonese (MAPA, 2018).

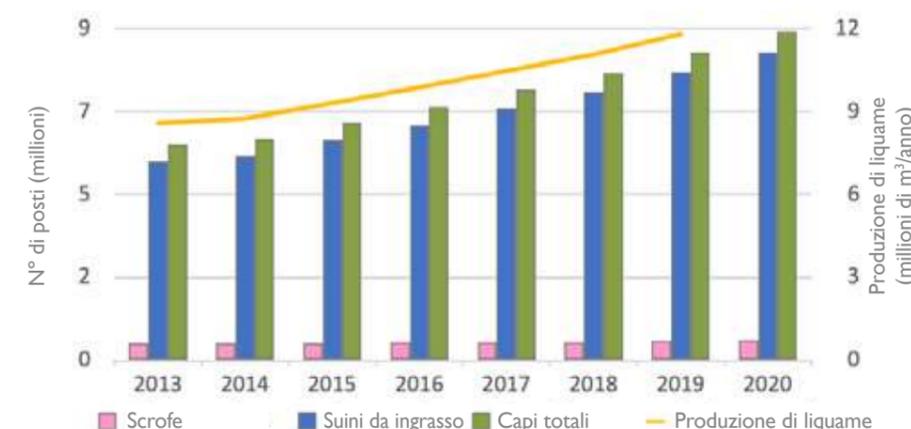


Figura 2.5. Numero di posti suini e produzione di letame (m<sup>3</sup>/anno).

Tabella 2.1. Consumo di fertilizzanti minerali in Aragona (Fonte: ANFFE Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes, 2022).

	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Concimi azotati (t N)	99.978	103.706	143.834	132.769	136.811
Concimi potassici (t K <sub>2</sub> O)	33.593	39.377	42.011	34.662	35.337
Concimi fosfatici (t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	43.570	56.696	54.608	60.190	65.610

Ci sono alcuni fattori che possono aiutare a migliorare la gestione del liquame suino e valorizzarlo come un buon fertilizzante in Aragona. L'implementazione sul territorio di centri di gestione degli effluenti zootecnici, responsabili della corretta gestione dell'N organico con la piena tracciabilità del lavoro svolto, è considerato un aspetto chiave per migliorare la gestione dei liquami. Questi centri vendono il servizio di distribuzione del liquame come applicazione di fertilizzante e garantiscono che le quantità siano quelle richieste dalla coltura, siano applicate al momento giusto e seguendo le normative vigenti.

D'altra parte, e su scala ridotta, si deve considerare che negli ultimi anni, con l'attuazione dell'ammmodernamento irriguo e il passaggio dall'irrigazione a scorrimento all'irrigazione a pressione (sia a pioggia che a pivot), molti agricoltori della media valle dell'Ebro hanno deciso di passare a pratiche di doppio raccolto, coltivando orzo, grano, loietto o una leguminosa, come i piselli in inverno-primavera, seguiti da mais a ciclo breve in estate. Questa pratica si è diffusa per la sua capacità di aumentare il reddito e favorire l'ammortamento de-

gli investimenti per l'ammodernamento, ma implica anche un aumento del fabbisogno di N delle colture, che consentirebbe un maggiore e più efficiente riciclo dei nutrienti contenuti nel liquame prodotto. Vi sono, però, alcune limitazioni nella gestione del liquame come fertilizzante legate alle pratiche di distribuzione comunemente utilizzate. Il liquame viene comunemente applicato con macchinari pesanti, che pertanto possono entrare in campo solo su terreno nudo prima della semina o con la coltura all'inizio del suo sviluppo. In copertura invece, è molto difficile distribuire il liquame, il che costringe all'applicazione di fertilizzanti sintetici anche quando il liquame è disponibile ed è più economico. In questo senso, le tecniche di fertirrigazione sviluppate consentono la concimazione durante l'intero ciclo colturale e possono sostituire in ogni momento il concime sintetico, poiché non è necessario entrare in campo per la sua applicazione. Nelle prove effettuate nel progetto è stato possibile concimare la coltura di mais solo con la frazione liquida del liquame, ottenendo rese soddisfacenti e riducendo le dosi di N applicate e l'acquisto di fertilizzanti sintetici. Nei terreni irrigui dell'Aragona sono presenti più di 35.000 ettari irrigati da pivot che potrebbero beneficiare del sistema di fertirrigazione. Nel caso dei sistemi ad aspersione, sono 125.000 ha dove potrebbe essere applicata anche la fertirrigazione (sebbene nel progetto ARIMEDA non sia stata misurata la riduzione delle emissioni di ammoniaca che si otterrebbe in questo sistema).

Le tecniche di fertirrigazione possono essere facilmente applicate nelle aziende con campi irrigui (sprinkler o pivot) che possono essere collegati a bacini di stoccaggio tramite condotte (evitando il trasporto del liquame su camion o sistema). Tutto ciò che serve è un investimento in sistemi di separazione, che per l'irrigazione con pivot non devono rimuovere le particelle più fini (<500 µm) e una pompa di iniezione. Se il pivot non è vicino all'azienda ed è necessario trasportare il liquame, i centri di gestione potrebbero svolgere un ruolo importante nella sua separazione e trasporto. Va considerato che la superficie dei pivot è solitamente ampia ed è

necessario trasportare un grande volume di liquame filtrato e installare un sistema di stoccaggio a bordo campo.

L'irrigazione a goccia è diffusa per le colture orticole e arboree (oltre 40.000 ha), ma non è comune nelle colture estensive (MAPA, 2020). Il processo di separazione è più impegnativo rispetto all'irrigazione a pioggia e sono necessari due separatori per ottenere una frazione liquida adeguata, poiché con un unico separatore non è possibile raggiungere dimensioni delle particelle ammissibili nell'irrigazione a goccia inferiori a 100µm.

Si ritiene che le tecniche di fertirrigazione abbiano la possibilità di essere utilizzate in una parte importante dell'area irrigata in Aragona, in particolare negli appezzamenti vicini alle aziende agricole. L'installazione di un impianto di fertirrigazione e la concimazione con la sola frazione liquida ottenuta dalla separazione, migliorerebbe il riciclo dei nutrienti dal liquame, sostituirebbe parte dei fertilizzanti sintetici a un costo inferiore, ridurrebbe le emissioni di ammoniaca in atmosfera e aiuterebbe a regolare gli equilibri di N nel sistema riducendo gli eccessi di N attualmente esistenti. Gli agricoltori della zona sono molto interessati allo sviluppo e all'applicazione di tecniche di fertirrigazione utilizzando il liquame delle loro aziende.

## 2.3 IL CASO DELLA LOMBARDIA (ITALIA)

### 2.3.1. INTRODUZIONE

L'allevamento zootecnico Lombardo rappresenta un'eccellenza riconosciuta a livello internazionale per la produzione di carne, latte e dei prodotti da essi derivati. In Regione Lombardia l'assetto zootecnico vede principalmente un sistema produttivo che si basa sul binomio coltivazioni cerealicolo-foraggiere intensive e alto carico di bestiame allevato per unità di superficie. Questa situazione comporta una significativa responsabilità relativamente all'inquinamento diffuso delle acque superficiali e sotterranee a causa dell'uso agronomico di fertilizzanti, digestati, effluenti di allevamento zootecnici; in anni più recenti si sono evidenziate anche le relazioni tra la gestione degli effluenti e la qualità dell'aria. Infatti, importante è l'emissione di gas acidificanti (ammoniaca) e significative sono le emissioni di gas climalteranti (protossido di azoto e metano).

L'obiettivo del progetto Life Arimeda è stato quello di proporre un modello virtuoso di gestione degli effluenti mediante fertirrigazione, per aumentare l'efficienza d'uso dell'azoto e ridurre le emissioni in atmosfera.

### 2.3.2 SISTEMA IRRIGUO

I dati del censimento dell'agricoltura del 2010 dell'Istituto nazionale di statistica (Istat) mostrano una realtà irrigua, soprattutto nella fascia di pianura caratterizzata da una grande disponibilità d'acqua, un bene, che seppure non mostri problemi di approvvigionamento, non deve essere sprecata. È quanto mai attuale concepire dei sistemi che possano aumentare l'efficienza d'uso dell'acqua nei sistemi irrigui lombardi.

La distribuzione sul territorio segue una specificità zonale per cui nella pianura centrale e nella pianura pavese si adotta la tecnica dello scorrimento superficiale e sommersione per più del 70% della superficie, mentre nella parte orientale mantovana e bresciana è presente in maniera abbastanza significativa la tecnica dell'aspersione. La microirrigazione, invece, attualmente è adottata solo per poche realtà specifiche.

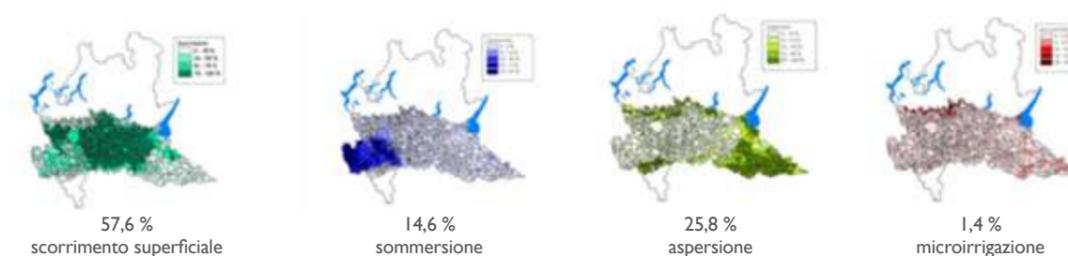


Figura 2.6. Distribuzione dei sistemi di irrigazione in Lombardia (Istituto di Idraulica Agraria, 2003).

I diversi metodi utilizzati differiscono per quanto riguarda l'impiego di acqua, di energia, di manodopera, di capitali, per la possibilità di automazione, per l'adattabilità a certi tipi di terreno.

Aspetto fondamentale è l'efficienza dei diversi metodi irrigui, che solitamente si calcola come volume irriguo utilizzabile dalle colture rispetto a quello applicato. Come è facile intuire l'efficienza del sistema a scorrimento risulta molto bassa e si innalza man mano che si arriva ad un'irrigazione più precisa quale è la microirrigazione.

Tabella 2.2. Efficienza dei diversi sistemi di irrigazione.

Efficienza	Irrigazione scorrimento superficiale	Irrigazione per aspersione	Microirrigazione
Potenziale (%)	60-80	75-90	90-95
Effettiva (%)	30-80	50-80	65-90

### 2.3.3 FERTILIZZAZIONE

Nel corso degli anni l'apporto di sostanza organica con gli effluenti zootecnici è stato oggetto di discussione. Se storicamente veniva considerato come una ricchezza per la fertilità del suolo, senza dubbio con l'introduzione di concimi chimici questa concezione è via via venuta meno. Negli ultimi anni, l'evoluzione della tecnologia e la sostenibilità economica delle aziende hanno portato ad un incremento della concentrazione degli allevamenti in pianura tale da porre l'attenzione sulla gestione degli effluenti, che se non ben gestiti possono risultare in problema ambientale.

Risulta quindi di fondamentale importanza l'utilizzo dell'effluente zootecnico improntato alla valorizzazione effettiva in campo con un corretto apporto di nutrienti.

Nella Figura 2.7 sono rappresentate le perdite di efficienza dell'azoto a seconda delle modalità con cui viene distribuito: dal piatto deviatore, all'interramento in 24h, a bande, a rasoterra, a solchi aperti. Man mano che viene affinata la capacità di evitare l'emissione in aria dell'ammoniaca contenuta nell'effluente, si osserva una diminuzione delle perdite di azoto efficiente, garantendone così una maggior disponibilità per le piante.

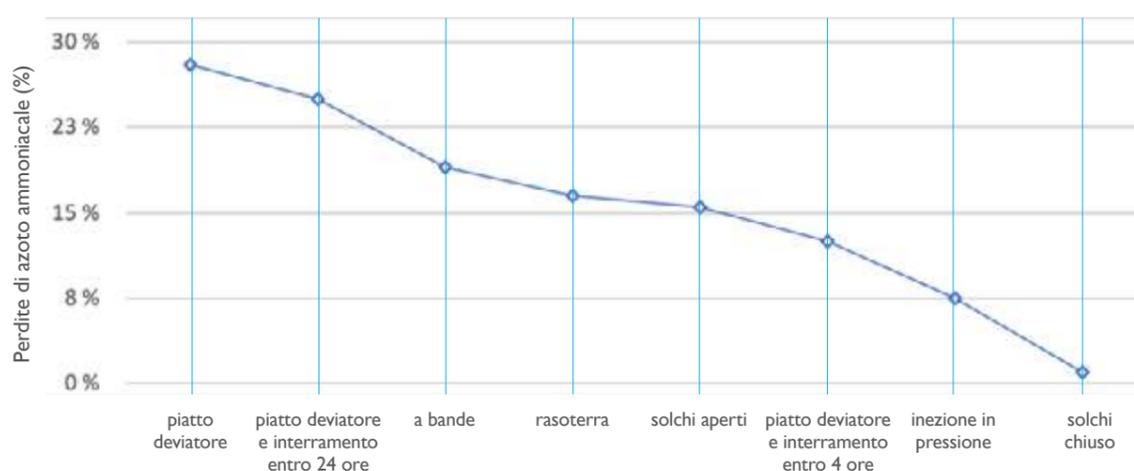


Figura 2.7. Perdite di azoto ammoniacale in aria derivanti dalle diverse modalità di distribuzione.

Dal punto di vista tecnico è evidente come i cantieri di precisione incrementino l'efficienza di uso dell'azoto contenuto negli effluenti e consentano di soddisfare le esigenze della coltura valorizzando il refluo aziendale.

È altrettanto chiaro come tali pratiche consentano di ridurre in modo significativo le perdite, specialmente quelle legate alle dispersioni di ammoniaca in atmosfera.

La riduzione delle perdite diventa, in modo sempre più pressante, un'esigenza manifestata dalla società civile; sebbene ora non sia facile stimare il suo diretto valore economico, è possibile prevedere in un prossimo futuro che l'attenzione del consumatore possa rivolgersi prevalentemente a prodotti di maggior sostenibilità ambientale.

Dal punto di vista economico la fertirrigazione con effluenti zootecnici è una tecnica che può coniugare gli obiettivi delle politiche comunitarie sulla circolarità economica nel riuso delle sostanze nutritive e sul risparmio di risorse idriche.

In Regione Lombardia da tempo si stanno portando avanti azioni di sostegno e sviluppo che puntano a far sì che le aziende agricole si dotino di attrezzature,

impianti e strutture in grado di migliorare le loro prestazioni ambientali, utilizzando le risorse previste dalle diverse misure del Programma di Sviluppo Rurale, oltre che attraverso bandi con risorse esclusivamente regionali/ nazionali.

La tecnica della fertirrigazione condotta e analizzata attraverso gli scenari del progetto Arimeda rende evidente ma soprattutto percorribile, un concetto apparentemente semplice ed intuitivo: la combinazione di pratiche irrigue che utilizzano tecnologie impiantistiche in grado di ridurre i consumi di acqua, con la distribuzione di reflui zootecnici in grado di apportare elementi nutritivi alle colture. Le tecniche di irrigazione della coltura unitamente alla distribuzione dell'effluente attraverso liquami con basse concentrazioni ammoniacali fanno sì che l'operazione agronomica abbia elevata efficienza, non rilasci odori né emetta ammoniaca.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ANFFE, 2022. Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes. Información sectorial. Evolución del consumo.

CIHEAM, 2010. Atlas Terramed 2010. Agricultura, alimentación, pesca y mundo rural en el Mediterráneo. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Gobierno de Aragón, 2022. Estadísticas ganaderas, distribución comarcal y producciones ganaderas.

Istituto di Idraulica Agraria, 2003. Ricerca sui consumi irrigui e le tecniche di irrigazione in Lombardia, Università degli Studi di Milano - Regione Lombardia.

MAPA, 2018. Balance del nitrógeno en la agricultura española. Metodología, Resultados. (28 diciembre 2021).

MAPA, 2020. Encuestas sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España.

Orús, F., Sin, E. 2006. El balance de Nitrogeno en la agricultura. Fertilización nitrogenada; Guía de actualización, Departamento de Agricultura y Alimentación, Centro de Transferencia Agroalimentaria, Informaciones técnicas, n° extraordinario: 11-21.

ORDEN DRS/333/2019, de 25 de marzo, por la que se declaran, en base al índice de carga ganadera, los municipios con sobrecarga ganadera por exceso de nitrógeno de origen orgánico procedente de la actividad ganadera. BOA n° 68, 4/08/2019.

Zapata, N., Playán, E., Castillo R., Gimeno Y., Oliván I., Jiménez A., Carbonell, X., Fábregas, M., López-Pardo, J.R., Vicente, L.M., Millán, J., Solano, D., Lorenzo, M.A. 2020. A methodology to classify irrigated areas: Application to the central Ebro River Basin in Aragón (Spain). Agricultural Water Management 241 106365.

# 3

## COME FERTIRRIGARE CON I FERTILIZZANTI ORGANICI

**DOLORES QUÍLEZ**  
**GIORGIO PROVOLO**  
**EVA HERRERO**  
**ARTURO DAUDÉN**  
**VIVIANA GUIDO**  
**RAQUEL SALVADOR**  
**ANDREA GUIDETTI**  
**RAMÓN GEA**  
**DAVID ABIÓ**



### 3.1 INTRODUZIONE

Il progetto LIFE ARIMEDA intende contribuire allo sviluppo di strategie atte alla riduzione delle emissioni ammoniacali sviluppando tecnologie per l'applicazione di effluenti zootecnici nei sistemi di irrigazione con pivot e con ala gocciolante.

Le tecniche di fertirrigazione convertono i liquami e i digestati, disponibili negli stoccaggi delle aziende agricole o degli impianti di biogas, in fertilizzanti ad alto valore quando vengono distribuiti in campo.

Il processo di fertirrigazione richiede diverse fasi che devono essere considerate e analizzate in dettaglio per progettare, fin dall'inizio, un sistema messo a punto per ogni specifica realtà. Inoltre, è fondamentale adottare le corrette pratiche gestionali per ogni singola fase di filtrazione al fine di evitare problemi o malfunzionamenti che possano influire negativamente sulla qualità della fertirrigazione.

In questo capitolo, verranno analizzate le singole fasi sottolineando per ciascuna gli opportuni accorgimenti da adottare per una corretta progettazione e gestione del processo di fertirrigazione con frazioni liquide di liquame suino e digestato.

### 3.2 PASSAGGI NECESSARI E REQUISITI DEL SISTEMA

La tecnica di fertirrigazione presuppone diversi passaggi (Figura 3.1): la separazione solido/liquida del liquame o del digestato, lo stoccaggio della frazione liquida (FL) prodotta in azienda o presso l'impianto di biogas, il trasporto della FL al campo, lo stoccaggio della FL nei pressi del campo, la predisposizione del sistema di iniezione, la conoscenza delle caratteristiche del liquame ottenuto, la predisposizione di un piano di concimazione e di un calendario dei turni irrigui. Alcuni di questi fattori sono strettamente correlati, per tale ragione, per poterli analizzare al meglio, sono stati raggruppati come segue:

1. Separazione solido-liquido del liquame suino e del digestato e stoccaggio della frazione liquida presso l'azienda o l'impianto di biogas.
2. Trasporto della frazione liquida al campo, stoccaggio al campo e gestione dell'impianto di fertirrigazione.

3. Determinazione della composizione della frazione liquida
4. Elaborazione di un piano di concimazione: dosi e tempi di applicazione dell'azoto (N)
5. Implementazione e gestione del sistema irriguo.



Figura 3.1. Schema della fertirrigazione con effluenti zootecnici.

### 3.2.1 SEPARAZIONE SOLIDO-LIQUIDO E STOCCAGGIO IN AZIENDA

Per essere iniettato nel flusso d'acqua di irrigazione il liquame o il digestato necessitano di una prima separazione per allontanare le particelle solide che potrebbero causare occlusione del sistema di irrigazione. È quindi fondamentale individuare le esigenze di filtrazione del singolo sistema, ovvero la dimensione massima delle particelle che il sistema irriguo può sopportare senza che si vengano a creare ostruzioni.

La separazione solido-liquido deve rimuovere particelle con dimensioni maggiori rispetto ai passaggi degli ugelli del pivot e dei gocciolatori. Il foro di uscita degli ugelli del pivot varia tra 1.6 e 10 mm (Senninger, 2020), mentre per l'ala gocciolante viene raccomandata una filtrazione per particelle non superiori a 130-200  $\mu\text{m}$  (Netafim, 2020).

Come regola generale, per evitare problemi di occlusione dell'impianto irriguo è bene effettuare una separazione delle particelle maggiori di 600  $\mu\text{m}$  per i sistemi con pivot, e maggiori di 100  $\mu\text{m}$  per l'ala gocciolante. Specifiche tecniche e raccomandazioni per la manutenzione sono reperibili nel materiale informativo di supporto all'installazione dell'impianto o direttamente dalle ditte specializzate.

La separazione meccanica comporta bassi costi e limitato fabbisogno di manutenzione rispetto alla separazione chimica (con additivi), ma l'impiego di prodotti chimici andrebbe considerato solo quando la sola separazione meccanica non riesce a soddisfare le esigenze del sistema di irrigazione.

È consigliabile mantenere un contenuto di particelle solide nella frazione liquida dell'effluente al di sotto del 10% per garantire il buon funzionamento del sistema di pompaggio.

Tra le diverse tecniche disponibili per la separazione solido-liquido degli effluenti zootecnici, il separatore a vite elicoidale è il sistema più diffuso (Foto 3.1), in alcuni casi preceduto da un vaglio inclinato (Foto 3.2). Questo sistema prevede una dimensione delle maglie del vaglio generalmente variabile tra 500 e 1000  $\mu\text{m}$ , risultando, quindi, adatto per la fertirrigazione con pivot. Il separatore a vite consente di mantenere nella frazione liquida la maggior parte dell'azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) (Moller et al., 2000; Guilayn et al., 2019).

La filtrazione del digestato comporta problemi più critici del trattamento del liquame tal quale. Il digestato, infatti, contiene un numero maggiore di particelle di piccole dimensioni rispetto al liquame, questo è dovuto al processo stesso di digestione. Queste piccole particelle rimangono nella frazione liquida, dove è possibile trovare anche livelli più elevati di nutrienti, disciolti in acqua o adsorbiti alle stesse particelle (Akhlar et al., 2017; Marcato et al., 2008).

L'utilizzo del separatore a vite elicoidale è adatto alla fertirrigazione quando si utilizza liquame nei sistemi per aspersione come i pivot; non risulta invece sufficiente come unico sistema di separazione se viene utilizzata l'irrigazione a goccia. Questo sistema di separazione, infatti, è in grado di separare solo una piccola parte della sostanza organica e dei solidi contenuti nel digestato (Tambone et al., 2019; Moller et al., 2002) e pertanto non elimina il rischio di intasamento del sistema fertirriguo.

L'utilizzo di altri sistemi di separazione quali la centrifuga (decanter) o i filtri a membrana consente di rimuovere da liquami e digestati anche i solidi fini. La centrifuga risulta più efficiente del separatore a vite elicoidale. Questa tecnica è infatti in grado di rimuovere sia la frazione solida che i nutrienti e trattiene efficacemente nella frazione solida le particelle con dimensioni superiori a 20–25  $\mu\text{m}$  (Hjorth et al., 2010; Moller et al., 2002). Tuttavia, il maggior svantaggio della centrifuga è il costo di funzionamento (Moller et al., 2000). La tecnica avanzata dei filtri a membrana consente una filtrazione spinta di solidi e nutrienti, ma il suo impiego è limitato a grandi



Foto 3.1. Separatore a vite utilizzato con effluenti di allevamento.

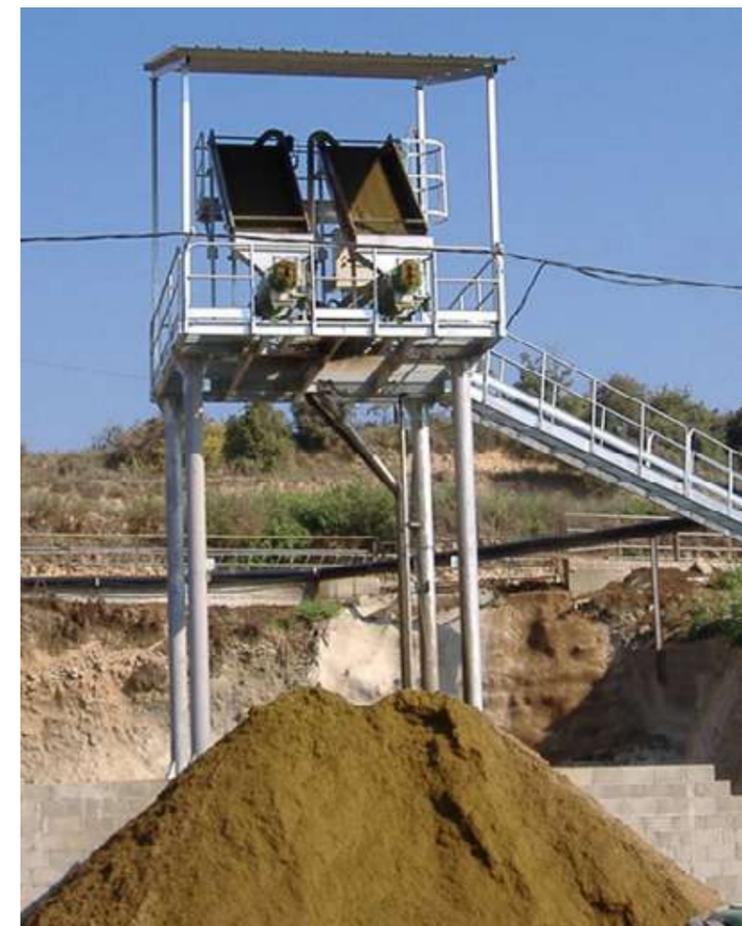


Foto 3.2. Separatore con vaglio inclinato e vite elicoidale.

Foto 3.3. Separatori vibranti per liquame (a sinistra) e digestato (a destra).



aziende o comunque a realtà di grandi dimensioni in grado di sfruttare economie di scala. (Guilayn et al., 2020).

Ulteriori tecniche di separazione, come ad esempio vibrovagli e microfiltri, sono in grado di trattenere una quantità maggiore di particelle fini, ma richiedono una preventiva separazione in grado di rimuovere le particelle solide grossolane.

Il microfiltro sfrutta la forza centrifuga per effettuare una separazione delle particelle solide con diametro fino a 25 µm, mentre i vibrovagli, il cui movimento vibrante consente la separazione di particelle fini, montano crivelli con dimensioni minime di 100 µm (Pieters et al., 1999; Zhang and Westerman, 1997) (Foto 3.3).

Le performance e la portata sono variabili a seconda della tipologia di separazione adottata. Un separatore può produrre fino a 15 m<sup>3</sup>/h di liquame separato liquido, mentre un vaglio o un microfiltro arrivano al massimo a 3-4 m<sup>3</sup>/h. I parametri operativi, e quindi la resa, della tipologia di separazione sono fortemente correlati alla tipologia di liquame in ingresso al sistema, infatti, effluenti con elevato contenuto di sostanza organica possono influenzare negativamente la resa.



Foto 3.4. Miscelazione del liquame suino presente in un lagone di stoccaggio.

A causa della variabilità nella composizione degli effluenti è altamente probabile che si verifichi una stratificazione dell'effluente negli stoccaggi, con l'affioramento delle particelle più leggere nella zona superiore dello stoccaggio e la sedimentazione sul fondo della frazione più pesante. È quindi opportuno installare un agitatore all'interno della vasca di stoccaggio o del lagone al fine di ottenere un prodotto omogeneo idoneo alla filtrazione (Foto 3.4). Inoltre, è sempre ne-

cessario calibrare i parametri operativi del separatore a seconda del prodotto in ingresso. Al fine di monitorare al meglio il sistema di separazione, è consigliabile installare un sistema di monitoraggio da remoto, soprattutto in aziende che non prevedono un controllo continuo in loco del funzionamento del separatore.

Solitamente il sistema di separazione viene installato presso gli stoccaggi aziendali, è, però, anche possibile valutare una soluzione mobile per aziende o imprese che gestiscono in modo centralizzato la fertilizzazione organica.

Quando il sistema di separazione mobile viene spostato da un'azienda all'altra è opportuno effettuare una ricalibrazione dei parametri operativi. Inoltre, è molto comune trovare nelle strutture di stoccaggio o nei lagoni grandi quantità di sedimenti che complicano la separazione, o materiali estranei che possono bloccare le macchine. L'adozione di una serie minima di misure precauzionali presso l'azienda è pertanto altamente raccomandata per ridurre i rischi operativi nel processo di separazione. È importante effettuare la separazione su effluenti freschi; se l'effluente è più vecchio di sei mesi, se ne sconsiglia il trattamento.



Foto 3.5. Sistema di pulizia automatica installata su un vibrovaglio.

Per un separatore meccanico basato su filtri a maglia è consigliabile predisporre un sistema di pulizia automatico sia con acqua, sia con una soluzione acida (Foto 3.5); pulire periodicamente il filtro durante il funzionamento migliora il rendimento di separazione. Si raccomanda inoltre di pulire il separatore con acqua in pressione dopo ogni periodo di funzionamento, se questa azione non viene eseguita automaticamente; in caso contrario, digestato e liquame suino seccando si attaccheranno alla maglia filtrante, ostruendone i fori. Per una pulizia più efficace è possibile utilizzare anche una soluzione acida.

Il volume di liquame o digestato che deve essere filtrato e la durata del periodo di distribuzione della frazione liquida con la fertirrigazione sono ulteriori variabili importanti da considerare nella progettazione dei separatori. Le prestazioni dell'apparecchiatura (portata) devono corrispondere al volume della frazione liquida necessaria per la fertirrigazione e relativi tempi di distribuzione (quantità e periodi). I volumi richiesti possono essere calcolati moltiplicando la dose di N da applicare in fertirrigazione (kg N/ha) per la superficie dell'appezzamento e dividendo per la concentrazione di N ammoniacale presente nella frazione liquida.

$$FL \text{ (m}^3\text{)} = (\text{dose N (kg N/ha)} * \text{Area (ha)}) / \text{concentrazione N ammoniacale della FL (kg/m}^3\text{)}$$

Pertanto, per applicare 250 kg N/ha in fertirrigazione su un campo di mais di 30 ha con un liquame (frazione liquida) con 2,5 kg N/m<sup>3</sup>, sono necessari 3000 m<sup>3</sup> di frazione liquida (250 kg N/ha \* 30 ha/2,5 kg N/m<sup>3</sup>). Se il periodo di applicazione è di 50 giorni e il sistema di separazione funziona 12 ore/giorno, sarà necessario un sistema di separazione con una portata minima di 5 m<sup>3</sup>/ora [3000 m<sup>3</sup>/(50 giorni \* 12 ore)].



Foto 3.6. Lagone per lo stoccaggio di liquame suino

$$\text{Portata richiesta (m}^3/\text{h)} = \text{volume di FL (m}^3\text{)}/\text{tempo di separazione disponibile (h)}$$

La frazione liquida ottenuta dopo la separazione deve essere stoccata in lagoni o vasche aziendali o dell'impianto di biogas (Foto 3.6). Grandi bacini di stoccaggio o vasche nell'azienda possono essere riempiti prima dell'inizio della fertirrigazione, così da contribuire a ridurre il picco di richiesta durante il periodo di fertirrigazione.

Per lo stoccaggio possono essere utilizzate anche vasche esistenti, ma dovrebbero essere accuratamente pulite prima dell'immissione della frazione liquida. La frazione liquida separata emette più ammoniaca rispetto al prodotto grezzo (Balsari et al., 2013; Giner Santonja et al., 2017). Pertanto, se possibile, i bacini di stoccaggio dovrebbero essere coperti per ridurre le emissioni di ammoniaca. In ogni caso, un sistema di stoccaggio della frazione liquida dovrebbe essere coperto per evitare che materiali estranei entrino nel sistema di iniezione e causino malfunzionamenti o rotture della pompa di iniezione o ostruzione dei componenti del sistema di irrigazione.

### 3.2.2 TRASPORTO, STOCCAGGIO IN CAMPO E INIEZIONE NEL SISTEMA DI IRRIGAZIONE



Foto 3.7. Iniezione diretta della frazione liquida di digestato dal serbatoio dell'azienda nel sistema di irrigazione.

La frazione liquida in un sistema di stoccaggio aziendale può essere iniettata direttamente nel sistema di irrigazione. Questa è l'opzione migliore se i campi sono a distanze ragionevoli dallo stoccaggio della frazione liquida e se questo sia collegabile con il sistema di irrigazione tramite una condotta apposita (Foto 3.7). Questa opzione evita il trasporto su strada verso i campi agricoli e la necessità di stoccaggio presso i campi.

Nel caso in cui non sia possibile collegare direttamente la vasca aziendale all'impianto di irrigazione, dovrebbe essere installato un serbatoio in prossimità dei terreni per stoccare la frazione liquida prima del pompaggio nell'impianto di irrigazione durante i periodi di applicazione (Foto 3.8). Inoltre, il trasporto della frazione liquida dall'azienda o dall'impianto di biogas al campo deve essere programmato e pianificato con cura. L'analisi dettagliata della distanza dei campi dall'azienda agricola, la concentrazione di azoto del liquame o del digestato e la quantità di prodotto che deve essere trasportato sono necessarie per una corretta pianificazione e ottimizzazione delle operazioni. La necessità del trasporto e i costi associati diminuiscono quando si utilizzano frazioni liquide con concentrazioni di N più elevate.

Le cisterne o i camion utilizzati per trasportare la frazione liquida devono essere tenuti molto puliti per evitare malfunzionamenti o rotture dovute a frazioni solide o piccoli oggetti che entrano nel sistema di fertirrigazione. Si consiglia di avere cisterne dedicate al trasferimento della frazione liquida e di utilizzare una rete di protezione in ingresso del tubo di aspirazione. Nel caso di irrigazione a goccia, è necessaria una pulizia accurata della cisterna utilizzata per il trasporto per una corretta fertirrigazione.



Foto 3.8. Serbatoi di stoccaggio in campo e camion che caricano la frazione liquida di liquame dal deposito aziendale.

Un serbatoio di stoccaggio posizionato in campo, deve essere dimensionato in base al volume della frazione liquida da iniettare. Questo volume dovrebbe essere leggermente sovrastimato per evitare l'utilizzo del liquame presente nella zona inferiore del serbatoio, dove le particelle solide possono depositarsi durante la stagione.

Il tubo che collega il serbatoio alla pompa di iniezione dovrebbe essere rialzato rispetto al fondo del serbatoio (20 cm) per garantire che i solidi che si depositano nel serbatoio non entrino nella pompa di iniezione e da lì nel sistema di irrigazione. Se si osserva un significativo deposito di sedimento sul fondo, il serbatoio di stoccaggio deve essere pulito. A tal fine, devono essere previsti dei bocchettoni supplementari nella parte inferiore di ciascun serbatoio di stoccaggio.

La pompa di iniezione deve essere dimensionata in base al volume della frazione liquida da iniettare, che dipende dal fabbisogno delle colture e dal contenuto di azoto nella frazione liquida. Quando si seleziona una pompa, è importante considerare la pressione del sistema di irrigazione perché la pompa di iniezione dovrà superare tale pressione. In generale, i sistemi di irrigazione con pivot e a goccia funzionano con una pressione relativamente bassa, quindi non ci sono particolari esigenze. Inoltre, è importante scegliere una pompa in grado di tollerare le particelle di piccole dimensioni solitamente presenti nella frazione liquida. Sia le pompe elettriche che quelle a gasolio sono adeguate e in grado di iniettare la frazione liquida nel sistema di irrigazione (Foto 3.9).

Le prestazioni delle pompe per l'iniezione tendono a diminuire con il tempo di utilizzo, anche se viene effettuata una buona manutenzione; è quindi raccomandato di controllare il rapporto costo-prestazioni e, se ragionevole, sovradimensionare la portata.

La pompa di iniezione deve essere installata con un sistema che consenta l'immissione di acqua nella pompa a fini della pulizia. Inoltre, è importante considerare l'installazione di una valvola di non ritorno per evitare il riflusso della frazione liquida nel sistema generale di approvvigionamento idrico. La manutenzione della pompa comprende la pulizia alla fine di ogni evento di irrigazione, il cambio periodico delle guarnizioni di gomma nelle pompe elettriche e la pulizia completa all'inizio e alla fine della stagione.



Foto 3.9. Riempimento del serbatoio di stoccaggio della frazione liquida in campo e iniezione nel sistema a goccia.

È inoltre necessario calibrare la pompa di iniezione o installare un misuratore di portata per determinare con precisione la quantità di frazione liquida (e quindi di azoto) iniettata nel sistema di irrigazione. Un'altra opzione è installare misuratori di livello nei serbatoi di stoccaggio in campo e registrare i livelli all'inizio e alla fine di ogni evento di fertirrigazione.

I serbatoi di stoccaggio a bordo campo dovrebbero essere dimensionati in base al volume della frazione liquida da iniettare, che dipende dalla composizione della frazione liquida, dal fabbisogno delle colture e dalla superficie del campo, ma anche dalla logistica del trasporto, principalmente nel caso di sistemi di irrigazione con pivot che coprono ampie superfici. Le dosi tipiche per ogni evento di irrigazione possono variare tra 15 e 30 kg N/ha.

Ad esempio, per applicare 25 kg N/ha a un campo con pivot che irriga 30 ha utilizzando una FL di 2,5 kg N/m<sup>3</sup> in un evento di irrigazione, sono necessari 300 m<sup>3</sup> di frazione liquida. Per un periodo di irrigazione di 24 ore, se il trasporto è possibile durante l'intero periodo di 24 ore, potrebbe essere installato un serbatoio di 60 m<sup>3</sup> e riempito 6 volte durante la fertirrigazione; cioè, il serbatoio dovrebbe essere riempito

ogni 4 ore, anche durante la notte. Se ciò non fosse praticabile, ci sono due possibili soluzioni: utilizzare depositi di stoccaggio di volume maggiore, ad esempio 120 m<sup>3</sup>, che ridurrebbero a 3 volte il fabbisogno di riempimento (ogni 8 ore) o ridurre la portata della pompa di iniezione. Per pompare 300 m<sup>3</sup> di frazione liquida in un periodo di 24 ore, la pompa dovrebbe funzionare a 1,2 m<sup>3</sup>/h, ma il flusso può essere abbassato a 0,6 m<sup>3</sup>/ora, riducendo il volume di FL iniettato a 150 m<sup>3</sup> e la dose a 13 kg N/ha.

Minori portate di iniezione riducono i requisiti per lo stoccaggio e il trasporto, ma aumentano il numero di eventi di fertirrigazione necessari. Per gli appezzamenti con irrigazione a goccia, generalmente con superfici inferiori rispetto a quelli con pivot, le esigenze di stoccaggio sono inferiori. Per un campo con irrigazione a goccia di 2 ha e per iniettare 25 kg N/ha con una frazione liquida contenente 2,5 kg N/m<sup>3</sup>, occorre iniettare 20 m<sup>3</sup> di frazione liquida. Tuttavia, considerando che il tempo di irrigazione è solitamente più breve e che la diluizione potrebbe essere inferiore, il flusso della pompa di iniezione sarebbe simile a quello di un sistema a pivot, tra 0,7-1,0 m<sup>3</sup>/h.

### 3.2.3 COMPOSIZIONE DELLA FRAZIONE LIQUIDA

La frazione liquida ottenuta dopo la filtrazione deve essere analizzata per determinarne il contenuto nutritivo: la concentrazione totale di azoto ammoniacale (TAN), la concentrazione di azoto Kjeldahl totale (TKN), la concentrazione di fosforo e potassio. TAN e TKN devono essere analizzati separatamente, poiché l'azoto ammoniacale è facilmente disponibile per le colture dopo l'applicazione, mentre l'N organico (ottenuto come differenza: TKN-TAN) è meno disponibile e crea un effetto residuo che dovrebbe essere considerato negli anni successivi. Il TAN è la forma principale di azoto nella frazione liquida, mentre l'N organico rimane nella frazione solida dopo la separazione. Il tenore di TAN nella frazione liquida è simile o leggermente superiore a quello del prodotto originale.

La composizione del liquame e del digestato è molto variabile tra aziende e anche all'interno della stessa azienda o dello stesso impianto di biogas; pertanto, la composizione della frazione liquida potrebbe anche mostrare un'elevata variabilità. Questo ha portato alla necessità di analisi della FL in diversi momenti nel corso della stagione. Il contenuto di azoto am-

moniacale nella frazione liquida può essere analizzato in campo utilizzando metodi rapidi in loco come il Quantofix o con la conducibilità elettrica (Martínez-Suller et al., 2008; Suresh et al., 2009; Yague et al., 2008). L'impiego di questi metodi consente di ridurre il numero di analisi di laboratorio limitando l'attenzione ai periodi critici della stagione in cui possono verificarsi cambiamenti rilevanti nella composizione del prodotto, ad esempio con l'introduzione di nuovi suinetti in allevamento, modifiche delle biomasse negli impianti di biogas (Foto 3.10) e aggiunta di acqua (da pioggia o pulizia) ai sistemi di stoccaggio.

I campioni raccolti per caratterizzare la FL devono essere prelevati da serbatoi di stoccaggio in campo o dal sistema di iniezione, evitando di prelevare campioni dai sistemi di stoccaggio dell'azienda, in quanto la frazione liquida può permanere per lunghi periodi prima di essere utilizzata. I campioni vanno prelevati dai sistemi di stoccaggio aziendali solo se la FL viene iniettata direttamente nel sistema di irrigazione. Per ottenere un campione rappresentativo, la FL presente nel sistema di stoccaggio deve essere adeguatamente miscelata.



Foto 3.10. Impianto di digestione anaerobica in Lombardia.

### 3.2.4 DOSI DI APPLICAZIONE E TEMPI

La quantità di FL da iniettare deve essere calcolata in base al livello ottimale di fertilizzante per la coltura in campo e al titolo di nutriente della frazione liquida.

Il dosaggio ottimale di applicazione del fertilizzante (N-P-K) dovrebbe essere stabilito in base alla resa effettiva potenziale di ogni appezzamento, che l'agricoltore di solito conosce dagli anni precedenti, e dall'asportazione unitaria di nutrienti. Per la fertilizzazione di P e K, devono essere considerati i livelli di P (in generale, P Olsen è raccomandato per i terreni neutri e alcalini, invece P Mehlich per i terreni acidi) e K (acetato di ammonio) nel suolo, considerando anche la tessitura, per correggere le dosi da utilizzare.

Per l'azoto occorre prendere in considerazione i contributi provenienti da altre fonti. Particolarmente rilevanti sono il contenuto di N minerale nel suolo prima dell'applicazione di fertilizzanti, la mineralizzazione della sostanza organica del suolo (per le colture estive, può contribuire oltre 100 kg N/ha), la quantità di N applicata con acqua di irrigazione (1000 m<sup>3</sup>/ha di acqua per un'irrigazione con una concentrazione di 50 mg nitrati/L fornisce 15 kg N/ha), il contributo di precedenti colture leguminose (una coltura di erba medica terminata l'anno precedente può contribuire per 100 kg N/ha) e la deposizione atmosferica.

La fertirrigazione permette l'applicazione della frazione liquida man mano che la coltura si sviluppa. Poiché il fosforo e il potassio sono presenti anche nella frazione liquida, in generale, non è necessaria alcuna concimazione minerale di P-K al momento della pre-semina. Tuttavia, poiché la maggior parte del fosforo è legato alla fase solida dei fertilizzanti organici, la concentrazione di P nella frazione liquida dovrebbe essere attentamente valutata per verificare se la FL fornisce la giusta quantità per il corretto sviluppo delle colture.

Se i limiti o i regolamenti normativi esistenti non consentono l'applicazione della dose di N ottimale con il liquame o il digestato, come nelle zone vulnerabili in cui l'applicazione di effluente di allevamento è limitata ad un massimo di 170 kg N/ha, il superamento del limite normativo dovrebbe essere effettuato con concimi minerali, secondo le raccomandazioni locali.

Per i cereali autunno-vernini, la fertilizzazione dovrebbe iniziare nella fase di lavorazione, continuare nella fase di levata e terminare alla fioritura, con una distribuzione approssimativa del 50%-30%-20%, rispettivamente. Per il mais, l'applicazione dovrebbe iniziare allo stadio di 4<sup>a</sup> foglia e continuare fino all'emissione delle setole con una distribuzione simile a quella dell'acqua di irrigazione; quando la coltura ha bisogno di più acqua ha anche bisogno di più nutrienti, circa il 25% a 4-6 foglie, 30% a 6-8 foglie, 30% a 8 foglie-emissione del pennacchio e 15% a emissione del pennacchio-emissione delle setole. Nel caso in cui il digestato o il liquame siano applicati in fase di pre-semina, come è consuetudine in Lombardia, la fertirrigazione può essere ritardata fino alla fase di 6 foglie, con una distribuzione generale del 35% a 6-8 foglie, del 35% a 8 foglie-emissione del pennacchio e del 30% a emissione del pennacchio-emissione delle setole. Il numero di eventi di fertirrigazione dipenderà dalla quantità di N che deve essere applicata, la concentrazione di azoto della frazione liquida e il flusso di iniezione, questi potranno variare da 1 a oltre 20.

L'applicazione ARIMEDA\* aiuta a stabilire le dosi di N-P-K ottimali, la quantità che può essere applicata con fertilizzante organico attraverso la fertirrigazione considerando la normativa e i regolamenti esistenti, e la distribuzione della fertirrigazione tra le fasi della coltura.

\* Disponibile su [www.lifearimeda.eu](http://www.lifearimeda.eu)

### 3.2.5 GESTIONE DELLA FERTIRRIGAZIONE

Nel processo di fertirrigazione, il fertilizzante viene applicato con il sistema di irrigazione, e la distribuzione spaziale delle concentrazioni dei nutrienti dipende dalla qualità e dall'uniformità del sistema di irrigazione. Pertanto, per una fertirrigazione ottimale, i sistemi di irrigazione devono essere progettati in modo da garantire un'elevata uniformità ed efficienza, evitando al contempo l'applicazione dell'acqua al di fuori dei confini del campo. Inoltre, la gestione deve essere orientata al conseguimento di elevate efficienze di irrigazione per evitare il dilavamento, la percolazione profonda, l'effetto deriva del vento e le perdite per evaporazione.

Di seguito vengono elencati alcuni importanti punti chiave per un funzionamento ottimale della fertirrigazione:

1. L'installazione dell'impianto di irrigazione deve essere verificata all'inizio di ogni stagione di irrigazione per garantirne il corretto funzionamento.
2. È importante pianificare le dosi di irrigazione settimanalmente utilizzando servizi di consulenza o strumenti di supporto alle decisioni e programmare il numero di irrigazioni tenendo conto delle caratteristiche del suolo; in terreni con bassa capacità di ritenzione idrica (terreni a struttura grossolana o a bassa profondità) è necessario suddividere, se possibile, l'applicazione settimanale in eventi più frequenti. Se l'irrigazione è eccessiva, una frazione dei nutrienti applicati con la fertirrigazione può essere persa attraverso la percolazione profonda.
3. La miscela di digestato filtrato e acqua di irrigazione deve raggiungere un adeguato rapporto di diluizione, sufficientemente basso per evitare l'intasamento degli ugelli o dei gocciolatori e abbastanza alto per massimizzare il contributo della fertirrigazione alla concimazione complessiva delle colture. È consigliabile che il rapporto di diluizione (definito come il rapporto tra il volume di FL e il volume di acqua di irrigazione) per il digestato sia compreso tra il 3% e il 10% (Finzi et al., 2021; Mantovi et al., 2018), ma può essere aumentato al 20% senza aumentare il rischio di intasamento sia nei sistemi di irrigazione a goccia che con pivot (Guido et al., 2020). Per la fertirrigazione con liquame suino FL, la quantità di FL può essere aumentata e i valori di diluizione desiderabili variano tra il 4 e il 25% sia per i sistemi di irrigazione con pivot che a goccia.



Foto 3.11. Ugelli per irrigazione installati sui campi dimostrativi con irrigazione con pivot del progetto LIFE ARIMEDA in Aragona (a sinistra) e in Lombardia (destra).

## Sistema di irrigazione con pivot

Nei sistemi con pivot, la pluviometria dovrebbe essere inferiore all'infiltrazione dell'acqua nel suolo per evitare perdite dovute al dilavamento e all'erosione del suolo. L'uso di ugelli a bassa pressione (LEPA) che producono grandi gocce d'acqua è raccomandato per evitare la deriva e le perdite di evaporazione di acqua e fertilizzanti (Foto 3.11). Con questo tipo di ugello, possono verificarsi accumuli d'acqua nelle parti più esterne dei campi dove i diametri degli ugelli e la pluviometria sono più alti; in questo caso, è importante utilizzare un coltivatore per interrompere la continuità della superficie (Foto 3.12).



Foto 3.12. Terreno lavorato con coltivatore per evitare l'effetto di scorrimento superficiale dell'acqua.

Si consiglia di utilizzare uno sbalzo alla fine della campagna finale invece del getto. I getti, infatti, provocano un'elevata pluviometria, una scarsa uniformità di distribuzione dell'acqua e alte perdite. Si raccomanda di non iniziare (o interrompere) l'irrigazione quando la velocità del vento supera i 2,5 m/s per evitare una distribuzione dell'acqua non uniforme e grandi perdite di acqua per evaporazione.

Questa regola è più importante quando si applica la fertirrigazione, in quanto la mancanza di uniformità e le perdite influiscono non solo sull'acqua ma anche sui nutrienti. Nelle regioni ventose, si consiglia di effettuare la fertirrigazione di notte (se possibile). Di notte, la velocità e la temperatura del vento sono inferiori e le perdite per evaporazione e per volatilizzazione dell'ammoniaca sono ridotte. Questo non è rilevante nell'irrigazione a goccia, in quanto l'acqua viene depositata dal gocciolatore proprio sopra o sotto la superficie del suolo e non viene interessata dalle condizioni sopra la vegetazione.

Gli eventi di irrigazione con sistemi con pivot possono essere di lunga durata, oltre 24 ore, quindi non è sempre possibile, in tempi di elevata richiesta di acqua e nutrienti, utilizzare il periodo ottimale per la fertirrigazione. Una possibile alternativa è quella di abbassare gli ugelli sotto la vegetazione (30 cm sopra la superficie del suolo); questa configurazione mitiga gli effetti del vento, riducendo le perdite di deriva in termini di evaporazione ed emissioni di ammoniaca. Seminare in cerchio può essere utile, ma non è essenziale per questa impostazione.

Verso la fine del periodo di irrigazione, l'iniezione di FL deve essere fermata per consentire la pulizia di tubature e ugelli. Inoltre, è preferibile non irrigare con rotazioni complete, evitando così di avere ogni volta la stessa porzione di appezzamento senza l'applicazione di fertilizzante durante il processo di pulizia. Se non è possibile evitare rotazioni complete, è consigliabile applicare fertilizzante minerale nella parte dell'appezzamento dove non viene applicata la fertirrigazione con frazione liquida.

## Irrigazione a goccia

In generale, l'irrigazione a goccia superficiale è una tecnica non molto diffusa per l'irrigazione di colture come il mais, ma se si sceglie di adottare un sistema di fertirrigazione con effluenti zootecnici, è opportuno selezionare accuratamente il materiale e i gocciolatori (Foto 3.13). È importante utilizzare gocciolatori con ampie aree di filtrazione resistenti all'intasamento, ovvero con un labirinto con ampia sezione trasversale. I gocciolatori possono essere turbolenti o a pressione compensata; in generale, i gocciolatori a pressione compensata hanno un'area di filtrazione più piccola ma garantiscono una pluviometria uniforme. Se il campo è ben livellato e con una disposizione dell'irrigazione ottimale, i gocciolatori turbolenti risultano una buona scelta se si vuole effettuare la fertirrigazione con effluenti in quanto presentano maggiore resistenza all'ostruzione.

Nei campi dimostrativi ARIMEDA, sono stati utilizzati i gocciolatori turbolenti (Netafim Aries) e a pressione compensata (Netafim Dripnet) che non hanno evidenziato segni di ostruzione dopo tre stagioni di iniezione con fertilizzante organico.



Figura 3.13. Sistema per la fertirrigazione ad ala gocciolante con digestato microfiltrato in Lombardia (Italia).

È importante garantire che il sistema di irrigazione funzioni correttamente, per cui è necessario installare contatori dell'acqua e controllarli prima e dopo ogni evento di fertirrigazione per monitorare la pluviometria e rilevare eventuali malfunzionamenti che potrebbero indicare la presenza di ostruzioni. I filtri posizionati dopo il punto di iniezione devono essere smontati periodicamente e puliti, con maggiore frequenza durante i periodi di iniezione (questo non è necessario per i filtri autopulenti). La pressione dopo i filtri deve essere controllata durante gli eventi di fertirrigazione per garantire che i filtri non siano ostruiti da sporizia. La mancanza di pressione nel sistema per entrambi i tipi di gocciolatori comporta una distribuzione non uniforme di acqua e fertilizzante.

La manutenzione dovrebbe includere la pulizia con acqua alla fine di ogni fertirrigazione e la pulizia delle linee di gocciolamento e dei componenti utilizzando un prodotto adeguato ( $H_2O_2$ ), quando necessario e almeno una volta durante la stagione di irrigazione.

### 3.3 VANTAGGI

La fertirrigazione con la frazione liquida del digestato e del liquame nelle colture come il mais presenta diversi vantaggi agronomici, socioeconomici e ambientali:

- Consente di ridurre le perdite di ammoniaca in aria, in linea con la strategia europea Farm to Fork che mira ad una riduzione del 50% delle perdite di nutrienti entro il 2030.
- Consente l'impiego di concimi organici durante i periodi di sviluppo delle colture, quando questi prodotti non possono essere applicati con sistemi di distribuzione tradizionali (piatto deviatore, distribuzione superficiale, incorporazione, iniezione, ecc.). In questo senso, la fertirrigazione estende il periodo in cui i fertilizzanti organici possono essere prelevati da un'azienda o da un impianto di biogas per essere utilizzati come fertilizzanti per le colture (Foto 3.14).
- Riduce la necessità di trasporto su gomma di digestato/liquame da un'azienda o da un impianto di biogas al campo agricolo nei casi in cui le aziende agricole siano situate in prossimità di allevamenti zootecnici o impianti di biogas e la frazione liquida è trasportata in condotte.
- Permette il frazionamento della fertilizzazione organica e della distribuzione dei nutrienti del corso del ciclo colturale in base al fabbisogno di nutrienti delle piante. Il frazionamento della fertilizzazione aumenta l'efficienza d'uso dell'azoto e diminuisce i rischi di lisciviazione dei nitrati e delle emissioni di gas serra (GHG) (in particolare,  $N_2O$  che è un potente GHG).
- Consente la sostituzione dei fertilizzanti minerali con prodotti organici, riducendo la quantità di azoto che entra negli agroecosistemi, con rilevante importanza nelle aree con eccesso di azoto. Anche



© Life Arimeda

Foto 3.14. Fertirrigazione con pivot con liquame suino microfiltrato in Cinco Villas (Aragona, Spagna).

se il fabbisogno di tutte le colture in una determinata zona può essere soddisfatto con gli effluenti prodotti, se tali fertilizzanti organici non possono essere forniti alle colture quando necessitano di sostanze nutritive, risulta necessario l'utilizzo di fertilizzanti minerali, con un'eccedenza di N nel bilancio nutrizionale della zona. In questo senso, la fertirrigazione con effluenti è in grado di ridurre gli input esterni di N, là dove ci sono fonti biologiche disponibili nella zona, permettendo la riduzione del consumo di fertilizzazione minerale, in accordo con la strategia Green Deal Farm to Fork che prevede una riduzione del 20% nel consumo di fertilizzanti minerali entro il 2030.

- L'applicazione di fertilizzanti organici con l'irrigazione riduce il costo della concimazione, in quanto la fertilizzazione organica è meno costosa di quella con i fertilizzanti minerali. Le aziende agricole situate in prossimità delle aziende zootecniche beneficiano di maggiori risparmi economici, in quanto i liquami possono essere iniettati direttamente dagli stoccaggi nei sistemi di irrigazione e il trasporto e lo stoccaggio in campo non sono necessari.

### 3.4 LIMITI

La fertirrigazione con liquame/digestato ha alcuni svantaggi e limitazioni che potrebbero influire sull'adozione di questa tecnica in alcuni casi:

- Sono necessarie attrezzature aggiuntive e bisogna tenere conto dei costi di investimento associati: separatori, sistema di stoccaggio in azienda e/o in campo e pompe di iniezione e filtri per la messa a punto dei sistemi di fertirrigazione
- È necessario un maggiore controllo delle operazioni aziendali, delle attività di separazione e iniezione e la manutenzione dei sistemi, compresi i sistemi di irrigazione
- L'esistenza di normative che discriminano negativamente i fertilizzanti organici rispetto alla concimazione minerale, limitando la quantità di effluenti zootecnici che possono essere applicati alle colture
- Contenuto nutritivo generalmente sconosciuto e altamente variabile del liquame/digestato (rispetto ai fertilizzanti minerali) e le difficoltà per stabilire correttamente la gestione della fertirrigazione, se non vi è una buona conoscenza tecnica o servizio di consulenza di supporto.
- L'esperienza nei campi dimostrativi in Spagna ha dimostrato che il trasporto della frazione liquida dall'azienda al campo è difficile da gestire e può essere un fattore limitante nella fertirrigazione causando problemi di diverso tipo. I sistemi con pivot, che coprono ampie superfici e hanno lunghi turni di irrigazione, necessitano di un notevole impegno per il trasporto della frazione liquida dall'azienda al campo durante gli eventi di irrigazione, che possono durare più di 24 ore. Si ha un aumento del rischio di introduzione di materiali estranei negli stoccaggi della frazione liquida (provenienti sia dai serbatoi di trasporto che dagli stoccaggi aziendali) che possono intasare il sistema di fertirrigazione e deteriorare la pompa di iniezione. Inoltre, la logistica del trasporto deve essere verificata rispetto alle attrezzature disponibili, tenendo conto anche delle esigenze legate alle altre operazioni aziendali nello stesso periodo della fertirrigazione, che dovrebbe essere effettuata in base alle esigenze delle colture e non alla disponibilità delle attrezzature.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Akhtar, A., Battimelli, A., Torrijos, M., Carrere, H., 2017. Comprehensive characterization of the liquid fraction of digestates from full-scale anaerobic co-digestion. *Waste Manage*, 59, 118–128.

Balsari, P., Dinuccio, E., Gioelli, F., 2013. A floating coverage system for digestate liquid fraction storage. *Bioresour Technol.* 134:285-289.

Finzi, A., Guido, V., Riva, E., Ferrari, O., Quílez, D., Herrero, E., Provolò, G., 2021. Performance and sizing of filtration equipment to replace mineral fertilizer with digestate in drip and sprinkler fertigation. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128431.

Giner Santonja, G., Georgitzikis K., Scalet B., Montobbio P., Roudier S., Delgado Sancho L., 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). EUR 28674 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union. JRC107189

Guido, V., Finzi, A., Ferrari, O., Riva, E., Quílez, D., Herrero, E., Provolò, G., 2020. Fertigation of maize with digestate using drip irrigation and pivot systems. *Agronomy*, 10(10).

Guilayn, F., Jimenez, J., Rouez, M., Crest, M., Patureau, D., 2019. Digestate mechanical separation: Efficiency profiles based on anaerobic digestion feedstock and equipment choice. *Bioresour. Technol.* 274, 180–189.

Guilayn, F., Rouez, M., Crest, M., Patureau, D., Jimenez, J., 2020. Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants: a critical review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 19, 419–462.

Mantovi, P., Moscatelli, G., Piccinini, S., Bozzetto, S., Rossi, L., 2018. Microfiltered digestate to fertigation: a best practice to improve water and energy efficiency in the context of Biogasdoneright™. In: Naddeo, V., Balakrishnan, M., Choo, K.H. (Eds.), *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development)*. Springer, Cham.

Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L., Sommer, S.G., 2010. Soli-liquid separation of animal slurry in therapy and practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 30(30), 153–180.

Marcato, C.E., Pinelli, E., Pouech, P., Winterton, P., Guisresse, M., 2008. Particle size and metal distributions in anaerobically digested pig slurry. *Bioresour. Technol.*, 99(7), 2340–2348.

Martínez-Suller, L., Azzellino, A., Provolò, G. 2008. Analysis of livestock slurries from farms across Northern Italy: Relationship between indicators and nutrient content. *Biosystems Engineering*, vol. 99, no. 4, pp. 540-552 Moller, H.B., Lund, I., Sommer, S.G., 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: Efficiency and cost. *Bioresour. Technol.*, 74(3), 223–229.

Moller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K., 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresour. Technol.*, 85(2), 189–196.

Moller, H.B., Lund, I., Sommer, S.G., 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: Efficiency and cost. *Bioresour. Technol.* 74(3), 223–229.

Netafim, 2020. Technical report. Accessed 5 November 2020.

Pieters, J.G., Neukermans, G.G. J., Colanbeen, M.B.A., 1999. Farm-scale membrane filtration of sow slurry. *J. Agric. Eng. Res.*, 73(4), 403–409.

Senninger, 2020. Technical report. Accessed 5 November 2020.

Suresh, A., Choi, H.L., Oh, D.I., Moon O.K. 2009. Prediction of the nutrients value and biochemical characteristics of swine slurry by measurement of EC - Electrical conductivity. *Bioresour. Technol.*, 100 (20), 4683-4689.

Tambone, F., Orzi, V., Zilio, M., Adani, F., 2019. Measuring the organic amendment properties of the liquid fraction of digestate. *Waste Manage.*, 88, 21–27.

Yagüe, M.R., Quílez D., Iguacel, F., Orús, F. 2008. Métodos rápidos de Análisis como herramienta de gestión en la fertilización con purín porcino: conductimetría. *Informaciones Técnicas* 195. Dirección General de Desarrollo Rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. 16 pp.

Zhang, R.H., Westerman, P.W., 1997. Solid-liquid separation of animal manure for odor control and nutrient management. *Appl. Eng. Agric.*, 13(5), 657–664.

# 4

## MONITORAGGIO AGRONOMICO ED AMBIENTALE NEI CAMPI DIMOSTRATIVI

### 4.1 INTRODUZIONE

I benefici ambientali ed agronomici della fertirrigazione rispetto alle pratiche di concimazione tradizionale, utilizzando fertilizzanti organici o minerali, dovrebbero essere valutati qualitativamente e quantitativamente sulla base di metodologie solide e scientificamente provate.

I protocolli di monitoraggio e le metodologie di misurazione sviluppate nel progetto LIFE ARIMEDA hanno permesso di confrontare la tecnica di fertirrigazione con le consuete pratiche di concimazione in 5 diverse areali, Cinco Villas e La Litera in Aragona (Spagna) e Brescia, Cremona e Mantova in Lombardia (Italia).

Le tecniche di fertirrigazione con effluenti di allevamento dimostrate in questo progetto sono state implementate durante tre campagne consecutive, dal 2018 al 2020, in appezzamenti coltivati a mais (Foto 4.1).

L'analisi del trasferimento potenziale di queste tecniche innovative ad altre aree del Mediterraneo, considerando benefici e criticità della tecnica fertirrigua, si è basata sui risultati ottenuti adottando protocolli comuni di monitoraggio e valutazione, questi hanno permesso di ottenere dati comparabili e informazioni affidabili.

La valutazione ha adottato un approccio trattamento/controllo confrontando i risultati ambientali e agronomici monitorati tra appezzamenti fertirrigati e di riferimento, ovvero dove gli agricoltori hanno adottato pratiche di concimazione tradizionali. La selezione dei campi dimostrativi e il relativo protocollo di monitoraggio sono stati accuratamente pianificati in ogni sito. Il progetto ha cercato di individuare campi rappresentativi, lontani per quanto possibile dagli allevamenti, per evitare o ridurre le interferenze nelle attività di monitoraggio. Tuttavia, considerando che il progetto si è sviluppato in aree agricole ad alta intensità e dovrebbe essere rappresentativo su larga scala, questo obiettivo non è stato sempre completamente raggiunto.



Foto 4.1. Fertirrigazione a goccia – campo dimostrativo presso Cinco Villas (Aragona, Spagna).

EVA HERRERO  
DOLORES QUILEZ  
ARTURO DAUDÉN  
VIVIANA GUIDO  
GIORGIO PROVOLO

## 4.2 MONITORAGGIO AMBIENTALE

### 4.2.1 EMISSIONI AMMONIACALI (NH<sub>3</sub>)

L'applicazione al suolo di fertilizzanti organici o sintetici comporta perdite dirette di azoto sotto forma di emissioni di ammoniaca. Sono numerose le metodologie riportate nella bibliografia scientifica e tecnica per misurare questo tipo di emissioni. Tuttavia, sono disponibili scarse informazioni nei sistemi agricoli mediterranei. Inoltre, la maggior parte degli studi disponibili sono stati effettuati su piccoli appezzamenti, con dimensioni e forme specifiche che soddisfano unicamente le esigenze della metodologia di misurazione utilizzata. Ci sono pochi studi in cui le emissioni di ammoniaca vengono misurate in condizioni reali in pieno campo perché, sebbene lavorare su normali appezzamenti produttivi fornisca informazioni preziose, comporta anche sfide significative:

1. Misurazione di emissioni su grandi superfici di forma irregolare.
2. Gli appezzamenti sono situati in zone di intensa attività agricola e durante i periodi di monitoraggio ciò può causare interferenze nelle misurazioni.
3. Le misurazioni vengono effettuate su colture alte, come il mais, che comportano una superficie irregolare come fonte di emissioni.
4. È possibile misurare un'ampia gamma di emissioni nella stessa campagna grazie all'utilizzo di un'ampia varietà di fertilizzanti sia minerali che organici (liquame suino, digestato e relative frazioni liquide) iniettate in sistemi di fertirrigazione e in condizioni meteorologiche molto diverse.

Inoltre, il lungo periodo di applicazione del fertilizzante e le diverse condizioni pedoclimatiche degli appezzamenti valutati aumentano la complessità delle misurazioni. Ciò richiede l'uso di una metodologia di misurazione delle emissioni robusta e affidabile che risponda adeguatamente in tutte le circostanze.

In questo progetto, le attività di monitoraggio sono state condotte in modo continuo in ogni campagna dall'inizio della primavera (aprile-maggio) attraverso le calde estati mediterranee fino alla fine di novembre con condizioni di temperatura più miti. A seconda delle pratiche valutate di volta in volta, le concentrazioni medie di ammoniaca misurate nell'aria possono variare da un minimo di 10 µg/m<sup>3</sup> nelle misurazioni di background in aree a bassa concentrazione, fino a 4000 µg/m<sup>3</sup> dopo l'applicazione superficiale del liquame suino prima della semina e nei periodi caldi.

Il progetto LIFE ARIMEDA ha affrontato la sfida di progettare un metodo di misurazione robusto delle emissioni di NH<sub>3</sub> sin dall'inizio. Nelle prime fasi del progetto, i metodi considerati sono stati il bilancio di massa micrometeorologico Integrated Horizontal Flux (IHF) con campionatori di flusso passivo e le camere semi-aperte (SOC) basate sulla metodologia sviluppata da Jantalia et al. (2012). Il metodo IHF, originariamente presentato da Denmead (1983), considerato un riferimento, è stato validato, in combinazione con campiona-

tori di flusso passivo (Leuning et al., 1985), da diversi gruppi di ricerca in tutto il mondo (Laubach et al., 2012; Misselbrook et al., 2005; Sanz-Cobena et al., 2008; Sintermann et al., 2012; Sommer et al., 2005; Yang et al., 2019). In alternativa, i SOC sono spesso utilizzati in piccoli appezzamenti "trattamento" a fini comparativi. Tuttavia, l'uso di queste tecniche scientificamente provate presenta alcune limitazioni nei grandi appezzamenti con forme irregolari e la sua rappresentatività spaziale può essere falsata, specialmente nel caso dei SOC.

I ricercatori del Centro di Ricerca e Tecnologia Agroalimentare di Aragona e del Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano, hanno lavorato in stretta collaborazione con il Centro di Ricerca per la Gestione dei Rischi Ambientali e Agricoli (CEIGRAM-Universidad Politécnica de Madrid) durante i primi mesi del progetto, indagando e testando le migliori tecniche per raggiungere con successo gli obiettivi perseguiti. I metodi di monitoraggio dovrebbero soddisfare i seguenti requisiti:

1. Un buon equilibrio tra complessità e precisione.
2. Facilità per la replica e il trasferimento in altri scenari.
3. Procedura di campionamento non impegnativa per risparmiare tempo sul campo e in laboratorio.
4. Dispositivi di campionamento facili da maneggiare e robusti per ridurre al minimo i rischi di contaminazione del campione e facilitare il lavoro di laboratorio.



Foto 4.2. Comparazione di metodi di misurazione nel campo sperimentale del CITA.

La scelta del metodo di misura, dopo aver considerato tutti gli aspetti tecnici e i principali punti di forza e di debolezza dei diversi metodi, si è basata su:

1. Un'approfondita rassegna bibliografica delle metodologie esistenti.
2. Una prova sul campo di confronto dei metodi in cui 4 diverse tecniche sono state testate contemporaneamente in condizioni di controllo in un appezzamento fertilizzato presso le strutture sperimentali del CITA (Herrero et al., 2021): camere semi-aperte, IHF e modellazione a dispersione inversa combinate con trappole acide e campionatori ALPHA® (Adapted Low-cost Passive High Absorption - APS) (Foto 4.2).
3. Test preliminari effettuati nelle parcelle dimostrative del progetto durante la prima campagna che hanno confrontato i risultati ottenuti con diversi metodi contemporaneamente: campionatori APS e camere semiaperte.

Come risultato di questo lavoro di collaborazione tra centri di ricerca, è stato definito un protocollo comune basato sull'utilizzo di campionatori ALPHA® per la misura della concentrazione di ammoniaca nell'aria e l'applicazione di un modello di dispersione inversa utilizzando il software gratuito WindTrax v.2.0.8.9 (Thunder Beach Scientific, Halifax, Nuova Scozia, Canada) per il calcolo delle emissioni di ammoniaca. I risultati ottenuti e le conoscenze e l'esperienza maturate durante le tre campagne di campionamento hanno permesso di migliorare e ottimizzare la progettazione e l'implementazione di questa tecnica.

Secondo questo protocollo, le fasi seguite in ciascuna delle parcelle sono state le seguenti:



Foto 4.3. Monitoraggio delle emissioni ammoniacali in Lombardia (sx) e in Aragona (dx).

## Fase I. Progettazione del layout e procedura di campionamento

Per ogni campo sono stati individuati diversi punti di campionamento equamente distribuiti sulla superficie dell'appezzamento. Ciascun punto di campionamento è costituito da una palina alla cui estremità è posto un disco concavo rivolto verso il basso in grado di ospitare 3 APS ad un'altezza che varia da 1,20 a 1,50 m sopra la superficie di emissione (terreno nudo o chioma delle colture) (Foto 4.3). Il numero di paline/punti di campionamento in ciascun appezzamento dipende dalla sua superficie e forma e varia da 1 a 5 (Foto 4.4 c). Inoltre, sono state posizionate da 1 a 3 paline al di fuori dall'area di interesse, in base alla direzione del vento prevalente, per raccogliere informazioni sulla concentrazione di fondo di  $\text{NH}_3$  nell'area circostante durante il monitoraggio.

Ogni APS ha un filtro imbibito di una soluzione di acido citrico e metanolo, una membrana di protezione in PTFE copre il filtro e assicura un flusso d'aria laminare all'interno del campionario (Foto 4.4). I principi su cui si basano gli APS sono quelli della diffusione dei gas. La concentrazione di  $\text{NH}_3$  nell'aria è calcolata in base al volume d'aria campionato ( $V$ ) e alla legge di Fick:  $V = (D \times A \times L \times t)$ , utilizzando l'espressione  $C_{\text{NH}_3} = M_{\text{NH}_3} \times V$ , dove  $M_{\text{NH}_3}$  è la massa media di  $\text{NH}_3$  ( $\mu\text{g}$ ) misurata in triplice campionatura per ogni periodo di esposizione,  $t$  è il tempo di esposizione in ore,  $D$  è il coefficiente di diffusione dell'ammoniaca  $\text{NH}_3$  ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) a  $20^\circ\text{C}$ ,  $A$  è l'area della sezione dell'APS interessata dal flusso d'aria ( $\text{m}^2$ ) e  $L$  è la lunghezza (m) dello strato stazionario d'aria che viene a crearsi all'interno del campionario APS. I tempi di esposizione variano da 24 ore, nel corso

degli eventi fertirrigui, a 7 giorni.

La concentrazione di ammoniaca ( $C_{\text{N-NH}_3}$ ) nell'aria è stata calcolata considerando la massa di azoto catturato dai campionatori ALPHA® (sotto forma di  $\text{N}$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ ) e il volume dell'aria campionata  $C_{\text{N-NH}_3} = M_{\text{N-NH}_4^+} / V$ ; dove  $M_{\text{N-NH}_4^+}$  è il valore medio dell' $\text{N-NH}_4^+$  ( $\mu\text{g}$ ) catturata dai tre campionatori durante il periodo di esposizione.

In laboratorio, i filtri sono stati immersi in 3 ml di acqua demineralizzata per estrarre l'ammo-

nio catturato, il quantitativo di azoto ammoniacale catturato è stato ottenuto moltiplicando la concentrazione di  $\text{N-NH}_4^+$  nell'estratto (mg/l) per il volume di estrazione (3 ml). La concentrazione di azoto ammoniacale nell'estratto è stata analizzata tramite metodo colorimetrico in Aragona, seguendo il metodo di salicilato con nitro prussiato (Searle, 1984) mediante analizzatore di flusso a segmenti (AutoAnalyser3, Bran + Luebbe, Norderstedt, Germany) presente nei laboratori del CITA. In Italia, è stato utilizzato in metodo spettrofotometrico ( $\lambda = 590 \text{ nm}$ ) mediante il FIA-Star della FOSS (Flow Injection Analysis System).

Le variabili meteorologiche registrate per la determinazione delle emissioni ammoniacali in campo sono state: velocità del vento (m/s), direzione del vento ( $^\circ$ ; North =  $0^\circ$ ), temperatura ( $^\circ\text{C}$ ), umidità relativa (%) e precipitazioni (mm). Le rilevazioni sono state registrate ogni 30 minuti in Spagna e a cadenza oraria in Italia.

Le stazioni meteo sono state installate in prossimità dei campi dimostrativi di progetto, oppure, in Spagna, dalla rete SIAR (Sistema informatico Agro-climatico per l'irrigazione). In Italia, i dati sono stati acquisiti con stazioni meteo del tipo Vantage pro2, Davis Instruments Corporation, Hayward, CA, USA (Foto 4.4 d).



## Fase 2. Determinazione del flusso delle emissioni ammoniacali

Il metodo bLS IDM consente la stima dei tassi di emissione da una superficie emittente nota utilizzando le concentrazioni di  $\text{NH}_3$  nell'aria sopravento e sottovento misurate in un singolo punto riferite alla sorgente di emissione ( $C_{\text{N-NH}_3}$ ,  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), alla scabrezza superficiale ( $Z^0$ , cm) e alla stabilità atmosferica e considerando le condizioni di vento (velocità e direzione) (Flesch et al. 2004, Loubet et al., 2010). Le grandi dimensioni degli appezzamenti monitorati nel progetto LIFE ARIMEDA garantiscono l'omogeneità spaziale della superficie emittente (Carozzi et al., 2013; Loubet et al., 2010). Per semplificare la metodologia adottata, è stato considerato uno  $Z^0$  pari a 1 cm sopra la coltura (imposta come superficie emittente) e i campionatori passivi sono stati posizionati a 1,2-1,5 m da questa.

Uno dei principali fattori limitanti del bLS IDM è la necessità di utilizzare brevi periodi di campionamen-

to che garantiscano una stabilità atmosferica omogenea.

Il protocollo di monitoraggio ha adottato le indicazioni di Sommer et al. (2005), che sono stati discussi e adottati anche in altri lavori di ricerca (Carozzi et al., 2013; Ni et al., 2015; Sanz et al., 2010), e sono stati adottati intervalli più lunghi (da 24 ore a 1 settimana) assumendo una stabilità atmosferica sempre neutra.

Sebbene sia stato ben pianificato, sono emerse occasionalmente alcune difficoltà durante il monitoraggio delle emissioni in campo. Pertanto, in alcuni scenari non è stato semplice posizionare l'APS alla giusta altezza quando la chioma del mais (posizione di riferimento) era superiore a 2 m, poiché le paline interferivano con il movimento del pivot o si sono verificati problemi perché l'aria presentava già elevati livelli di concentrazione di ammoniaca, situazione non rara in condizioni in cui il singolo appezzamento è circondato da aree ad alta densità agricolo-zootecnica. Queste circostanze eccezionali, relative all'attivi-

tà svolta sui campi dimostrativi, hanno richiesto uno sforzo aggiuntivo per la pianificazione ed il monitoraggio dell'area, nonché per le attività di follow-up e

la discussione dei risultati in ciascun sito.

## 4.2.2 RISCHIO DI LISCIVIAZIONE DEI NITRATI

È fondamentale verificare che l'adeguatezza della fertirrigazione, ovvero che la riduzione delle emissioni di  $\text{NH}_3$  in aria non implichi maggiori perdite per lisciviazione di azoto, sotto forma di nitrati, dopo l'applicazione al suolo del liquame o digestato.

La concentrazione di nitrati nelle soluzioni del suolo è stata utilizzata come indicatore qualitativo del rischio di lisciviazione ponendo le basi per una valutazione comparativa tra le concentrazioni misurate negli appezzamenti fertirrigui e in quelli gestiti in modo tradizionale (riferimento). La quantità dei nitrati lisciviati non è stata, però, calcolata poiché avrebbe richiesto la stima aggiuntiva del drenaggio dell'acqua al di sotto della zona radicale.

La soluzione circolante del terreno è stata campionata utilizzando dei lisimetri a suzione (coppe porose) posizionate al disotto dello strato interessato dalle radici. A seconda della superficie, sono state posizionate dalle 5 alle 7 coppe porose per campo, seguendo lo schema a VV proposto da ERSAF (Ente Regionale per i Servizi dell'Agricoltura e delle Foreste della Lombardia), per il campionamento dei suoli. Le coppe porose sono state installate a profondità variabili tra i 45 e i

120 cm, a seconda della profondità del suolo e dall'interessamento dell'apparato radicale (Foto 4.5).

Durante la campagna, solitamente dopo eventi irrigui, fertirrigui e precipitazioni, la soluzione del terreno è stata campionata 24 ore dopo aver creato un vuoto all'interno ( $\approx -0,72$  bar). L'estrazione è stata eseguita utilizzando siringhe o pompe da vuoto automatiche. In Spagna, il laboratorio ha analizzato con metodi standard la concentrazione di ammonio e nitrati nelle soluzioni acquose mediante colorimetria. In Italia, i campioni estratti sono stati analizzati per i nitrati utilizzando il metodo spettrofotometrico ( $\lambda = 525$  nm) mediante il FIA-Star della FOSS (Flow Injection Analysis System).

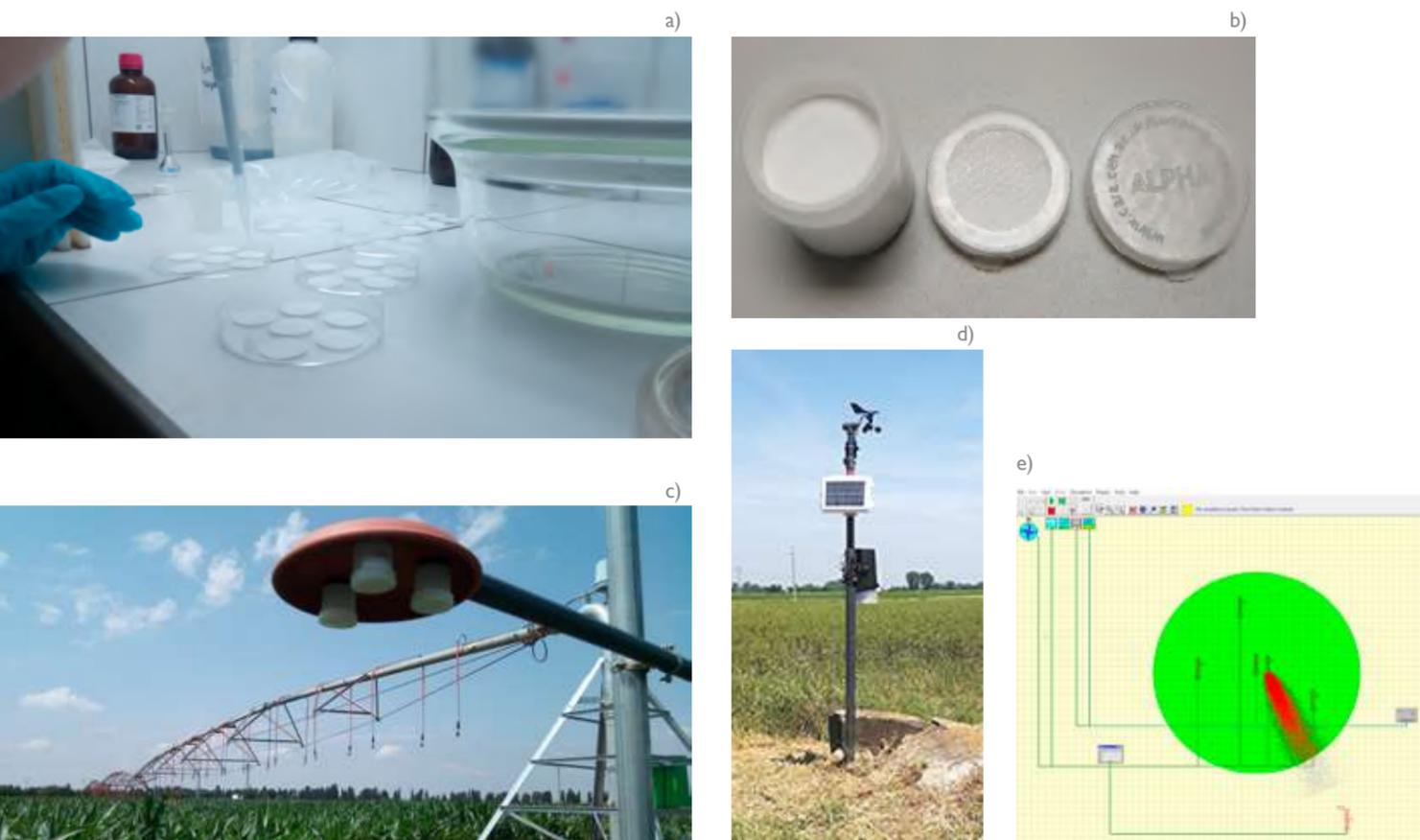


Foto 4.4. a) Preparazione dei filtri APS in laboratorio; b) campionatori ALPHA®; c) campionatori ALPHA® installati in campo; d) stazione meteo; e) software di simulazione WindTrax.



Foto 4.5. Lisimetri a suzione (coppe porose) installati negli appezzamenti LIFE ARIMEDA.

## 4.3 MONITORAGGIO AGRONOMICO

Per una buona gestione delle tecniche di fertirrigazione devono essere considerati diversi accorgimenti agronomici.

Uno degli aspetti chiave è il fabbisogno di azoto delle colture e il contributo del suolo per soddisfare queste necessità. Di conseguenza, il fabbisogno totale di N viene stimato e, conseguentemente, frazionato nel corso del ciclo produttivo della coltura, applicando le dosi corrette, con i tempi opportuni e nella corretta quantità. Il progetto LIFE ARIMEDA ha dimostrato che l'adozione di tecniche di fertirrigazione consentono di soddisfare il fabbisogno colturale di azoto, utilizzando la frazione liquida del liquame suino e del digestato iniettandoli in sistemi di irrigazione con pivot e a goccia, andando a sostituire completamente il fertilizzante minerale.

Le aziende coinvolte nel progetto hanno gestito i campi seguendo le tradizionali pratiche agronomiche, ovvero: preparazione del letto di semina con relative concimazioni di fondo, semina, trattamenti per antiparassitari e fitofarmaci, fertilizzazioni in copertura, raccolta, etc.

Tutte queste attività sono state raccolte in ogni azienda e utilizzate come scenario di base per la determinazione della valutazione del ciclo di vita (capitolo 7) e di studi socio-economici (capitoli 8 and 9) della singola tecnica fertirrigua adottata nell'ambito del progetto in LIFE ARIMEDA.

Sono state raccolti i seguenti dati:

Dati sulla coltivazione - data di semina, cultivar di mais, data di raccolta e resa colturale.

Trattamenti fitosanitari - date di applicazione e prodotti applicati, dosi e tecnica di distribuzione adottata.

Lavorazioni - tipo di lavorazione, profondità, gestione dei residui del mais, etc.

Anche in questo caso, è stato redatto un protocollo per definire i parametri chiave, gli indicatori e le procedure di campionamento per la gestione agronomica dei campi dimostrativi del progetto LIFE ARIMEDA. L'obiettivo perseguito è stato quello di ottenere dati comparabili in ogni sito. Le attività di campo oggetto di monitoraggio sono state seguite sia nei campi di riferimento che nei campi interessati dalla fertirrigazione. Sono stati, quindi, rilevati:

### Tessitura del suolo

Per ogni campo individuato è stato effettuato un campionamento di suolo all'inizio del progetto al fine di valutarne le caratteristiche fisico-chimiche. Il suolo è stato campionato ad una profondità di 30 cm (60 cm e 90 cm ove possibile), su cui sono stati analizzati i valori di: tessitura, pH (1:2.5), sostanza organica, salinità (Conduttività elettrica in estratto 1:5),

azoto totale (N), fosforo disponibile (P), potassio (K), magnesio (Mg), e carbonati.

### Azoto minerale nel suolo

Ogni campagna è iniziata con un campionamento di suolo in presemina, questo si è poi ripetuto allo stadio di quarta foglia del mais e in post raccolta a 30 cm di profondità e fino alla profondità massima consentita dal suolo stesso (massimo 1.20 m) (Foto 4.6). Allo stadio di 4<sup>a</sup> foglia è stato campionato unicamente lo strato superficiale del terreno (0-30 cm).

In Aragona (Spagna), il suolo è stato campionato in diversi punti della superficie del campo, per ognuno dei quali è stato prelevato un campione composto da più sub-campioni; i diversi punti individuati per il campionamento, spesso sono risultati coincidenti con quelli di installazione delle paline per il campionamento dell'ammoniaca o con i punti di messa a



Foto 4.6. Campionamento di suoli nei campi dimostrativi del progetto LIFE ARIMEDA.

dimora delle coppe porose. Ogni campione composto era formato da 3 sottocampioni prelevati con l'ausilio di una trivella manuale. I campioni così ottenuti sono stati setacciati per poi essere sottoposti alle analisi di laboratorio per la determinazione della concentrazione di ammonio e nitrati (estratto di suolo - 10 g suolo fresco: 30 ml 2N KCl) mediante metodo colorimetrico.

In Lombardia (Italia), lo schema adottato è stato quello a W proposto da ERSAF, la numerosità, invece, è risultata variabile da 5 a 10 punti per campagna, a seconda dei risultati della campagna precedente. Anche in questo caso, i punti individuati sono stati fatti corrispondere con alcuni dei punti di installazione di coppe porose e paline per il rilevamento della concentrazione di ammoniaca. Le concentrazioni di ammonio e nitrati sono state determinate a partire dall'estratto di suolo (10 g

suolo fresco: 100 mL 2N KCl) mediante FIAS.

Le dosi di azoto da distribuire nel corso della fertirrigazione sono state stimate sulla base della resa potenziale, sull'azoto asportato dalla pianta e in relazione alla quantità di azoto presente nel suolo.

Sulla base di queste informazioni, in accordo con l'agricoltore, sono stati redatti dei piani di concimazione ottimali per ogni campo.

### Piano di irrigazione

L'irrigazione è stata gestita, in collaborazione con l'agricoltore, con una valutazione settimanale, considerando eventuali spostamenti degli eventi irrigui e tenendo presente le diverse peculiarità degli impianti irrigui. Gli apporti irrigui sono stati calcolati utilizzando l'evapotraspirazione di riferimento (FAO, Penman Monteith) e l'intensità delle precipitazioni ottenuti dalle stazioni meteorologiche SIAR (Sistema di infor-

mazione agro climatica di irrigazione) (MAGRAMA) in Spagna e dalle stazioni ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente) e ERSAF (Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo e Forestale) in Italia.

I dati raccolti sono stati la temperatura media giornaliera, l'umidità relativa, le precipitazioni, l'evapotraspirazione di riferimento e le registrazioni del vento (velocità e direzione).

In Spagna, i coefficienti delle colture sono stati adeguati utilizzando unità termiche (Martinez-Cob, 2008). È stato preparato un foglio di calcolo per calcolare i fabbisogni idrici settimanali per ogni parcella dimostrativa, adeguando i fabbisogni a ciascun ciclo di mais in tempo reale in base all'effettivo sviluppo della coltura (fenologia) (Foto 4.7).

In Italia, l'irrigazione è stata eseguita direttamente dagli agricoltori sulla base della loro esperienza e, in alcuni casi, in base alla disponibilità di acqua.

Il volume di acqua di irrigazione apportata ad ogni appezzamento è stato registrato con flussimetri quando possibile; in caso contrario, è stato calcolato

utilizzando i turni di irrigazione monitorati, le ore di irrigazione e la pluviometria dell'impianto di irrigazione (mm/h).

#### La frazione liquida

All'inizio di ogni campagna di fertirrigazione sono state analizzate le composizioni delle frazioni liquide di liquame suino e digestato in ogni sito per determinare i volumi necessari a fornire il fabbisogno di N alla coltura. L'efficienza della frazione liquida è stata calcolata in base al suo contenuto di azoto prontamente disponibile per la coltura (concentrazione di ammonio-N).

Una volta iniziata la campagna di fertirrigazione, per controllare le dosi di nutrienti applicate alle colture, la frazione liquida è stata campionata e analizzata periodicamente e sempre in corrispondenza degli eventi fertirrigui.

La concentrazione di  $N-NH_4^+$  presente nella miscela acqua-liquame è stata analizzata in situ utilizzando metodi rapidi come Quantofix® (Foto 4.8) o metodi basati sulla conducibilità elettrica. Uno studio appro-



Foto 4.8. Analisi rapida del contenuto di azoto ammoniacale nella frazione liquida di un liquame suino utilizzato per la fertirrigazione con Quantofix® presso La Melusa (Aragona, Spagna).

fondito sui metodi rapidi ed economici per misurare la concentrazione di N "in situ" nel liquame (tal quale e digestato) e nelle sue frazioni liquide ha migliorato queste tecniche.

Inoltre, diversi campioni sono stati raccolti regolarmente in flaconi da 500 ml e trasportati refrigerati al laboratorio. I tecnici hanno analizzato i campioni secondo metodi standard (APHA, AWWA e WEF, 2012) per pH, salinità (conducibilità elettrica, EC), sostanza organica, sostanza secca, azoto Kjeldahl totale, azoto ammoniacale totale, fosforo e potassio.

#### Unità di azoto fornite in ogni evento di fertirrigazione

Il numero e la durata degli eventi di fertirrigazione sono dipesi dalla concentrazione di azoto presente nella frazione liquida, dalle esigenze irrigue della coltura e dalle prestazioni dei sistemi di iniezione. I volumi sia dell'acqua di irrigazione che del liquame liquido/digestato iniettati sono stati attentamente monitorati e registrati in ciascun evento per determinare i tassi di diluizione.

In Aragona sono stati graduati i serbatoi da 50 m<sup>3</sup> per lo stoccaggio della frazione liquida installati accanto alle piazzole dimostrative e, ad ogni evento di fertirrigazione, è stato registrato il volume di frazione liquida all'interno di ciascun serbatoio all'inizio e alla fine dell'evento (Foto 4.9). In Italia sono stati utilizzati



Foto 4.7. Fertirrigazione con pivot di un campo dimostrativo del progetto LIFE ARIMEDA project.



Foto 4.9. Strumentazione per il controllo del volume iniettato nel corso della fertirrigazione in un impianto a goccia presso Cinco Villas.

sensori di livello e misuratori di portata per monitorare queste variabili.

È stato implementato un foglio di calcolo, che considerasse la concentrazione di N nel liquame suino/digestato per determinare la quantità totale da distribuire nel corso dell'intero ciclo colturale. Per ogni appezzamento è stata mantenuta una registrazione completa della data di applicazione, del tempo di iniezione, della quantità e del tipo di fertilizzante (liquame di suino, digestato, frazione liquida o fertilizzante sintetico).

#### Resa delle colture e efficienza d'uso dell'azoto (NUE)

Le rese colturali e il contenuto di azoto presente nella biomassa sono stati utilizzati per calcolare l'efficienza d'uso dell'azoto (NUE) in tutti i campi dimo-

strativi. I risultati hanno consentito di confrontare la potenziale capacità di recupero dei nutrienti nei diversi sistemi di fertirrigazione.

In Spagna la fase di raccolta del mais da granella ha visto l'impiego di una mietitrebbia. E' stato quindi necessario effettuare un controllo manuale della biomassa pre-raccolta in ogni campo, in 3-5 punti uniformemente distribuiti per un'area di 2,4 m<sup>2</sup> ciascuno (Foto 4.10); da qui è stato ottenuto l'indice di raccolta e la conseguente biomassa totale fuori terra del mais. I risultati della resa nel controllo manuale sono stati confrontati con quelli ottenuti nella raccolta dell'intero appezzamento e sono state apportate correzioni ove necessario.

In Italia, la fase di raccolta ha visto l'impiego di una falcia-caricatrice per tutti i campi dimostrativi. Durante questa fase il trinciato è stato campionato direttamente dalle trincee appena scaricato, così da formare un campione composito e omogeneo rappresentativo del campo da inviare al laboratorio per le successive analisi.

Diversamente, in Aragona è stato impiegato mais da granella e l'assorbimento di N è stato analizzato separatamente per la granella e la restante biomassa fuori terra (foglie + steli + tutolo) valutando la sostanza secca e il contenuto di N.

La NUE è stata calcolata come rapporto tra azoto assorbito da parte della pianta nella biomassa fuori terra e l'N totale applicato con i fertilizzanti,

$$NUE = N \text{ asportato dalla pianta} / N \text{ applicato}$$

Inoltre, la NUE è stata anche quantificata includendo come fonte aggiuntiva di N, il contenuto di azoto minerale del terreno (N<sub>min</sub>) all'inizio del ciclo colturale. Questo indice ha consentito il confronto tra campi dimostrativi e di riferimento che differiscono nella disponibilità iniziale e il confronto tra campi dimostrativi in siti diversi.

$$NUE \text{ (terreno)} = N \text{ asportato dalla pianta} / (N \text{ applicato} + N_{\text{min}})$$

Il lavoro di monitoraggio in campo durante le tre stagioni è stato estremamente impegnativo e ha richiesto un enorme sforzo per ottenere i dati necessari per una valutazione corretta e accurata delle tecniche di fertirrigazione utilizzate.



Foto 4.10. Monitoraggio e campionamento del mais nel corso della stagione di raccolta 2018 da parte dei tecnici CITA.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Carozzi, M., Ferrara, R.M., Rana, G., Acutis, M., 2013. Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilisation on arable lands. *Sci.Total Environ.* 449, 126–133.

Denmead, O.T., 1983. Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. *Development in Plant and Soil Sciences.* Springer-Science+Business Media, B.V.

Flesch, T.K., Wilson, J.D., Harper, L.A., Crenna, B.P., Sharpe, R.R., 2004. Deducing ground-to-air emissions from observed trace gas concentrations: a field trial. *J.Appl. Meteorol.* 43, 487–502..

Herrero, E., Sanz-Cobena, A., Guido, V., Guillén, M., Daudén, A., Rodríguez, R., Provolò, G., Quílez, D., 2021. Towards robust on-site ammonia emission measuring techniques based on inverse dispersion modelling. *Agric. For. Meteorol.* 307, 108517.

Jantalia, C.P., Halvorson, A.D., Follett, R.F., Alves, B.J.R., Polidoro, J.C., Urquiaga, S., 2012. Nitrogen source effects on ammonia volatilization as measured with semi- static chambers. *Agron. J.* 104, 1595-1603.

Laubach, J., Taghizadeh-Toosi, A., Sherlock, R.R., Kelliher, F.M., 2012. Measuring and modelling ammonia emissions from a regular pattern of cattle urine patches. *Agric. For. Meteorol.* 156, 1–17.

Leuning, R., Freney, J.R., Denmead, O.T., Simpson, J.R., 1985. A sampler for measuring atmospheric ammonia flux. *Atmos. Environ.* 19, 1117–1124.

Loubet, B., G'enermont, S., Ferrara, R., Bedos, C., Decuq, C., Personne, E., Fanucci, O., Durand, B., Rana, G., Cellier, P., 2010. An inverse model to estimate ammonia emissions from fields. *Eur. J. Soil Sci.* 61, 793–805.

Martinez-Cob, A., 2008. Use of thermal units to estimate corn crop coefficients under semiarid climatic conditions. *Irrig. Sci.* 26, 335-345.

Misselbrook, T.H., Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Johnson, R.A., 2005. Measuring ammonia emissions from land applied manure: an intercomparison of commonly used samplers and techniques. *Environ. Pollut.* 135, 389–397.

Ni, K., Köster, J.R., Seidel, A., Pacholski, A., 2015. Field measurement of ammonia emissions after nitrogen fertilization-A comparison between micrometeorological and chamber methods. *Eur. J. Agron.* 71, 115–122.

Sanz, A., Misselbrook, T., Sanz, M.J., Vallejo, A., 2010. Use of an inverse dispersion technique for estimating ammonia emission from surface-applied slurry. *Atmos. Environ.* 44, 999–1002.

Sanz-Cobena, A., Misselbrook, T.H., Arce, A., Mingot, J.I., Diez, J.A., Vallejo, A., 2008. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 126, 243–249.

Searle, P.L., 1984. The berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen: a review. *Analyst* 109, 549-568.

Sintermann, J., Neftel, A., Ammann, C., Häni, C., Hensen, A., Loubet, B., Flechard, C.R., 2012. Are ammonia emissions from field-applied slurry substantially over-estimated in European emission inventories? *Biogeosciences* 9, 1611–1632.

Sommer, S.G., McGinn, S.M., Flesch, T.K., 2005. Simple use of the backwards Lagrangian stochastic dispersion technique for measuring ammonia emission from small field- plots. *Eur. J. Agron.* 23, 1–7.

Yang, W., Que, H., Wang, S., Zhu, A., Zhang, Y., He, Y., Xin, X., Zhang, X., 2019. Comparison of backward Lagrangian stochastic model with micrometeorological mass balance method for measuring ammonia emissions from rice field. *Atmos. Environ.* 211, 268–273.

# 5

## FERTIRRIGAZIONE CON LIQUAME SUINO NEI CAMPI DIMOSTRATIVI IN ARAGONA (SPAGNA)



© Life Arimeda

### 5.1 INTRODUZIONE

Il numero di suini allevati in Aragona è aumentato negli ultimi 20 anni, raggiungendo quasi 9 milioni di capi nel 2020. Alcuni comuni della regione sono stati dichiarati aree con “eccesso di bestiame” (ORDEN DRS/333/2019, BOA 8/04/2019) a causa di carichi di azoto (N) superiori a 220 kg N/ha derivante dai liquami prodotti nelle loro aziende. Il liquame suino viene solitamente distribuito in campo come fertilizzante utilizzando metodi di distribuzione superficiale, come il piatto deviatore (vietato in Aragona dal 2020) o la distribuzione in bande. Sebbene le emissioni di ammoniaca siano state ridotte grazie al divieto di utilizzo del piatto deviatore, l'applicazione viene generalmente eseguita con sistemi di distribuzione superficiale (distribuzione in bande, a solchi aperti, ecc.) che lasciano il liquame sulla superficie del suolo a diretto contatto con l'aria, favorendo così la volatilizzazione dell'ammoniaca. Le emissioni di ammoniaca dopo la distribuzione superficiale di liquami sui terreni possono raggiungere il 20-40% dell'azoto ammoniacale totale distribuito, sebbene le emissioni si interrompano dopo pochi giorni. La distribuzione di liquami zootecnici sui campi è responsabile del 35% delle emissioni di ammoniaca legate alla gestione degli effluenti, che rappresentano oltre il 70% delle emissioni totali di ammoniaca in Europa (UNECE, 2021). Per questo motivo, l'uso di tecniche che riducano tali emissioni in atmosfera derivanti dalla fertilizzazione con liquami, può fornire benefici ambientali e una maggiore efficienza nell'uso delle risorse disponibili a scala locale, al fine di migliorare le produzioni agricole, ridurre al minimo le perdite di nutrienti e promuovere la circolarità dei nutrienti.

Nel progetto LIFE ARIMEDA, abbiamo lavorato per valutare le prestazioni delle tecniche di fertirrigazione con liquami e digestato dal punto di vista agronomico e ambientale. La valutazione delle tecniche ha previsto diverse fasi:

1. Separazione solido-liquido
2. Trasporto della frazione liquida ai campi mediante cisterne, camion o condotte
3. Iniezione della frazione liquida nei sistemi di irrigazione in campo.

In questo capitolo presentiamo i principali risultati ottenuti dal monitoraggio dei campi dimostrativi in Aragona (Spagna). Le tecniche di fertirrigazione con Pivot (P) e con irrigazione a goccia (D) sono state implementate utilizzando la frazione liquida del liquame suino dopo un processo di separazione solido-liquido. Le prestazioni osservate sono state confrontate con le pratiche di fertilizzazione tradizionali (campi di riferimento, R).

**EVA HERRERO**  
**DOLORES QUÍLEZ**  
**ARTURO DAUDÉN**  
**RAQUEL SALVADOR**  
**MÓNICA GUILLÉN**  
**DAVID ABIÓ**  
**AZUCENA CRESPO**  
**RAMÓN GEA**

## 5.2 DESCRIZIONE DELLE PROVE IN CAMPO

I campi dimostrativi sono stati localizzati in due siti caratterizzati da diversi tipi di suolo (Figura 5.1, Tabella 5.1), Cinco Villas (ES-S1) con suoli poco profondi (ca. 45 cm) e sassosi e La Litera (ES-S2) con suoli profondi (ca. 100 cm) e terreni pesanti.

In ogni sito sono stati monitorati due campi dimostrativi (uno con pivot e uno con sistema di irrigazione a goccia sottosuperficiale) e un campo di riferimento, in tutti gli appezzamenti è stato coltivato mais da granella.

### SITO 1 Cinco Villas

**Pivot (ES-S1-P)** si trova nella comunità irrigua di Montesaso in Biota, con una superficie di 10,4 ha. Ha quattro campate semoventi (lunghezza di 42 m) e uno sbalzo di 14 m. Gli ugelli, comunemente usati nell'area, sono stati sostituiti con ugelli in grado di fornire una dimensione delle gocce più grande e minori perdite per evaporazione e deriva del vento (Nelson D3000). Questi ugelli sono stati posizionati nella stessa configurazione dell'impianto esistente, a 2.8 m dal suolo e a 3.0 m di distanza l'uno dall'altro. Il sistema ha lavorato in bassa pressione (0,4 bar) con una produzione di grosse gocce, evitando spruzzi, con una pluviometria di 11 mm in 20 ore (0,55 mm/h).

**L'irrigazione a goccia sottosuperficiale (ES-S1-D)** si trova presso l'azienda sperimentale di Torre-mira, gestita dalla comunità di irrigazione di Acequia de Sora. Questo sito si trova nei pressi del comune di Tauste e ha una superficie di 2,1 ha. Riegos Iberia REGABER S.A. ha installato nell'appezzamento l'ala gocciolante Netafim autocompensante a 30 cm sotto la superficie del suolo, prevedendo una erogazione di 4,7 mm/h.

**Il campo di riferimento (ES-S1-R)** è situato in un'area diversa in ogni stagione a seconda della disponibilità delle superfici e dell'opportunità di ridurre le distanze di trasferimento per l'attività di monitoraggio. Gli appezzamenti avevano un'area tra 0,7-4,3 ettari. Nel 2018 e nel 2019 è stata effettuata un'irrigazione per scorrimento superficiale, mentre nel 2020 è stato utilizzato un sistema per aspersione.

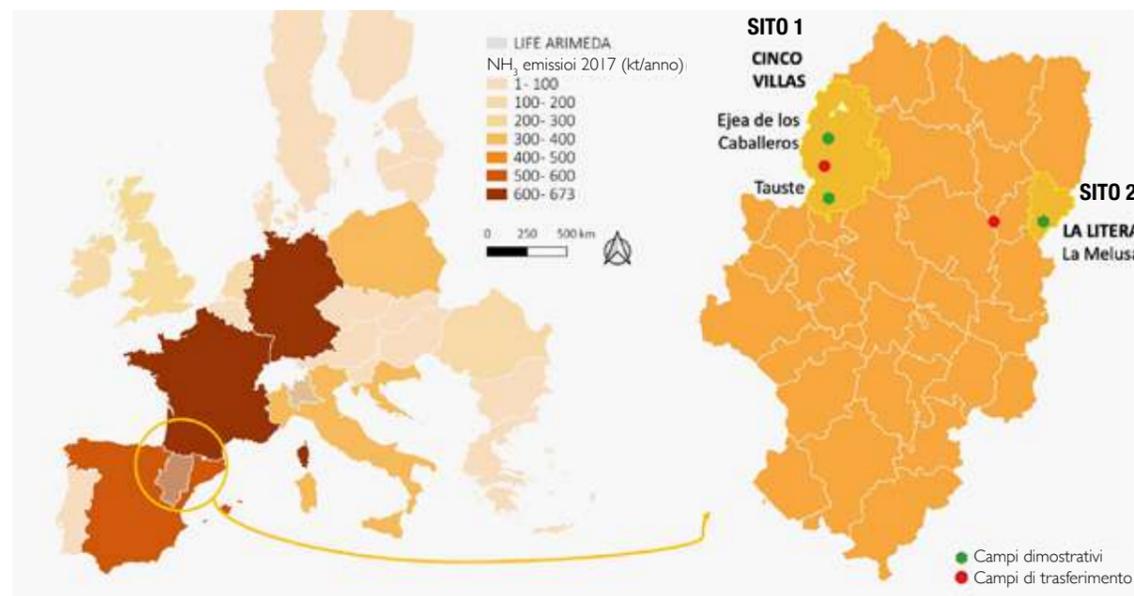


Figura 5.1. Sedi dei campi dimostrativi in ogni sito in Aragona (Spagna).

### SITO 2 La Litera

I tre appezzamenti dimostrativi del sito 2 (pivot, goccia e riferimento) sono situati a La Melusa, un'azienda sperimentale appartenente e gestita dall'autorità di bacino del fiume Ebro.

**Pivot (ES-S2-P)** ha una superficie di 6,4 ha. Il pivot è dotato di tre campate (1 di lunghezza 50 m + 2 di lunghezza 43 m). Come nel caso del pivot Cinco Villas, gli ugelli installati sono stati i Nelson D3000, ma in questo caso sono stati posizionati a 0,4 m sopra la superficie del suolo ogni 1,4 m per irrigare ogni due file di mais. Abbassando la posizione degli ugelli sotto la chioma per la maggior parte del ciclo colturale, è stato necessario effettuare la semina circolare nell'appezzamento. Il sistema ha funzionato in bassa pressione (0,4 bar) con grosse gocce, evitando spruzzi, con una pluviometria di 3,8 mm in 5 ore (0,76 mm/h).

**Irrigazione a goccia sottosuperficiale (ES-S2-D).** In questo caso, Riegos Iberia REGABER S.A. ha installato 2 settori di irrigazione su un terreno di 2,0 ettari. Le tubazioni per l'irrigazione sono state installate 30 cm sotto la superficie del suolo. Il tipo di gocciolatore utilizzato in questo appezzamento era un turbolento Netafim Aries 16100 con portata di di circa 5,3 mm/h.

**Campo di riferimento (ES-S2-R).** Questo appezzamento, situato accanto agli altri due appezzamenti dimostrativi, è stato irrigato con un sistema ad aspersione. A seconda dell'anno, l'area dell'appezzamento su cui è stato effettuato il monitoraggio, parte di un campo più grande, è variata tra 1,1 e 1,5 ha.

Tabella 5.1 Caratteristiche fisiche e chimiche del terreno (0-30 cm) negli appezzamenti in Spagna.

Sito	pH <sub>1:2,5</sub>	EC <sub>1:5</sub>	SO	P	K	Pietrosità (>2 mm)	Tessitura
							USDA
		dS/m, 25°C	%	mg/kg	mg/kg	%	
ES-S1-P	8.20	0.20	2.60	25	458	20	Argilloso-limoso
ES-S1-D	8.44	0.17	1.75	8	174	54	Sabbioso-argilloso
ES-S1-R <sup>1</sup>	8.44	0.16	3.08	29	281	-	Sabbioso-argilloso
ES-S1-R <sup>2</sup>	-	0.16	1.93	17	251	57	Sabbioso-argilloso
ES-S2-P	8.30	0.20	2.60	25	458	0	Sabbioso-limoso
ES-S2-D	8.26	0.23	2.39	24	204	0	Sabbioso-limoso
ES-S2-R	8.25	0.25	2.15	21	177	0	Sabbioso-limoso

EC<sub>1:5</sub>: Conduttività elettrica in estratto 1:5; S.O.: Sostanza Organica; P: Fosforo; K: Potassio.  
<sup>1</sup>in 2018-2019, <sup>2</sup>in 2020

## 5.2.1 GESTIONE AGRONOMICA E STRATEGIA DI CONCIMAZIONE

La monocoltura del mais da granella è stata utilizzata in tutti gli appezzamenti per l'uso estensivo di questa coltura nella zona e della sua elevata richiesta di azoto. Il mais a ciclo lungo è stato coltivato su tutti gli appezzamenti, tranne durante il primo anno, quando le forti piogge della primavera 2018 hanno ritardato l'installazione di attrezzature per la fertirrigazione e hanno costretto la coltivazione di varietà di mais a ciclo breve (tranne in ES-S1-P). Il mais a ciclo lungo viene solitamente seminato alla fine di aprile o all'inizio di maggio e raccolto a novembre. Durante il progetto, la semina del mais è stata leggermente anticipata a Cinco Villas rispetto a La Melusa, il che ha consentito di coordinare il calendario della fertirrigazione in entrambi i siti seguendo un programma preciso che ha previsto anche il tempo necessario per lo spostamento dei prototipi di separazione dal sito 1 al sito 2 per ottenere le frazioni liquide.

I campi dimostrativi e di riferimento sono stati gestiti seguendo le pratiche agricole tradizionali degli agricoltori, fatta eccezione per l'applicazione della fertirrigazione, e secondo le esigenze di ogni annata.

Gli appezzamenti di riferimento sono stati concimati seguendo le consuete pratiche locali per la fertilizzazione con liquame suino. Il liquame suino è stato distribuito con piatto deviatore prima della semina e la dose di N è stata regolata il più vicino possibile a 170 kg N/ha, la dose massima consentita nelle zone vulnerabili ai nitrati. La fertilizzazione è stata completata con circa 150 kg N/ha di fertilizzante minerale come concime di copertura (Tabella 5.2).

Nei campi dimostrativi, l'N è stato fornito in copertura con diversi interventi fertirrigui. Eccezionalmente, in alcune occasioni, una piccola dose di N è stata applicata in concomitanza con quella del fosforo in presemina, utilizzando fertilizzanti minerali (ES-S1-P). In tutti i casi, la frazione liquida del liquame suino è stata l'unico o il principale apporto di N alla coltura (Tabella 5.2).

L'irrigazione del mais inizia solitamente alla fine di maggio o all'inizio di giugno e si protrae fino a settembre. La fertirrigazione nei campi dimostrativi si è svolta nei mesi di giugno e luglio, in funzione delle condizioni meteorologiche e dello sviluppo fenologico della coltura. Nel primo anno (2018), a causa del ritardo nella realizzazione di alcuni dei campi dimostrativi, la stagione della fertirrigazione si è prolungata fino alla fine di agosto nei campi interessati (Tabella 5.3).

Tabella 5.2. Azoto totale (kg N/ha) applicato con liquame suino (LS) o frazione liquida di liquame suino (FLS) e fertilizzante minerale (F) nei due siti durante le tre stagioni monitorate. Per LS e FLS è indicata anche la quantità di N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> applicata (kg TAN/ha).

Sito	Anno	PRE-SEMINA			COPERTURA			N		
		LS	F	Totale	FLS	F	Totale			
		kg N/ha	kg TAN/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg TAN/ha	kg N/ha	kg N/ha	
ES-S1-R	2018	180,8	138,6	-	180,8	-	-	150,0	150,0	<b>320,8</b>
	2019	166,8	140,4	-	166,8	-	-	176,0	176,0	<b>342,8</b>
	2020	171,5	101,0	-	171,5	-	-	130,0	130,0	<b>301,5</b>
ES-S1-P	2018	-	-	29,0	29,0	212,5	164,5	77,9	290,4	<b>319,4</b>
	2019	-	-	-	-	206,2	155,5	136,3	342,5	<b>342,5</b>
	2020	-	-	-	-	83,1	68,5	186,3	254,8	<b>254,8</b>
ES-S1-D	2018	-	-	-	-	188,4	151,7	-	188,4	<b>188,4</b>
	2019	-	-	-	-	352,6	272,0	-	352,6	<b>352,6</b>
	2020	-	-	-	-	203,8	152,5	83,9	287,6	<b>287,6</b>
ES-S2-R	2018	267,1	168,2	-	267,1	-	-	148,2	148,2	<b>415,3</b>
	2019	217,7	179,5	-	217,7	-	-	148,2	148,2	<b>356,9</b>
	2020	232,0	137,2	-	232,0	-	-	156,0	156,0	<b>388,2</b>
ES-S2-P	2018	-	-	-	-	261,7	164,4	-	261,7	<b>261,7</b>
	2019	-	-	-	-	221,6	165,0	-	221,6	<b>221,6</b>
	2020	-	-	-	-	195,2	161,4	54,8	250,0	<b>250,0</b>
ES-S2-D	2018	-	-	-	-	163,9	103,0	26,8	190,7	<b>190,7</b>
	2019	-	-	-	-	299,2	224,3	-	299,2	<b>299,2</b>
	2020	-	-	-	-	241,5	201,6	-	241,5	<b>241,5</b>

I problemi di intasamento e di trasporto riscontrati nei tre anni a Cinco Villas, non risolvibili in tempo, hanno costretto all'apporto di fertilizzanti minerali a completamento delle esigenze di azoto colturale in determinate occasioni. Tuttavia, in 6 delle 12 prove di campo dimostrative, l'apporto totale di N è stato fornito utilizzando solo fertirrigazione organica (% N con fertirrigazione = 100%) senza compromettere le prestazioni agronomiche (Tabella 5.3).

Tabella 5.3. Eventi di fertirrigazione nei campi dimostrativi spagnoli. Numero di eventi, dose media di N per evento, diluizione, N totale applicato in campo, percentuale di N applicata con fertirrigazione e resa colturale.

Sito	Data	Evento	Dose N / evento	Diluizione	N applicato	N applicato con FL	Resa
			kg N/ha	FLS:acqua	kg/ha	%	t/ha
<b>2018</b>							
ES-S1-P	12/07-30/07	12	17,7	1:11	319,4	66,5	13,6
ES-S1-D	10/08-05/09	11	18,2	1:5	188,4	100,0	6,6
ES-S2-P	30/07-22/08	11	23,8	1:7	261,7	100,0	11,5
ES-S2-D	27/08-31/08	4	42,4	1:5	195,9	86,3	8,1
<b>2019</b>							
ES-S1-P	15/06-16/07	12	17,5	1:16	342,5	60,2	15,3
ES-S1-D	28/05-25/07	20	17,8	1:8	352,6	100,0	13,4
ES-S2-P	12/06-24/07	22	9,6	1:14	221,6	100,0	13,5
ES-S2-D	07/06-11/07	10	29,9	1:4	299,0	100,0	4,2
<b>2020</b>							
ES-S1-P	27/05-07/07	8	10,4	1:19	269,3	30,8	13,6
ES-S1-D	21/05-03/07	17	12,7	1:6	287,6	48,1	7,2
ES-S2-P	15/06-20/07	19	13,9	1:6	250,0	78,1	17,0
ES-S2-D	04/06-26/07	20	11,8	1:7	241,5	100,0	13,6

Il rapporto di diluizione della frazione liquida del liquame (FLS) quando iniettato nella rete di irrigazione (frazione liquida del liquame:acqua di irrigazione) è stato generalmente più elevato nei siti di irrigazione con pivot, compreso tra 1:6 e 1:19, mentre nei siti di irrigazione a goccia, il rapporto di diluizione è variato da 1:4 a 1:8. Il rapporto fra frazione liquida e acqua era limitato dalla tipologia del sistema di iniezione, dalle dimensioni del campo e dalla capacità di stoccaggio in campo. Portate e pressioni di irrigazione inferiori hanno consentito tassi più elevati di iniezione di FLS nei sistemi di irrigazione, ma la capacità di stoccaggio in campo ha limitato la quantità da iniettare in un evento di irrigazione in appezzamenti di grandi dimensioni, come quelli dotati di sistema a pivot (Tabella 5.4).

Tabella 5.4. Portate medie di iniezione della frazione liquida (m<sup>3</sup> FL/h) presso i campi dimostrativi durante i tre anni di monitoraggio.

Sito	Sistema di irrigazione	2018	2019	2020
		m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h
ES-S1-P	Pivot	6,4	4,7	4,3
ES-S1-D	Ala gocciolante	10,4	7,5	8,1
ES-S2-P	Pivot	11,2	5,4	8,3
ES-S2-D	Ala gocciolante	12,0	12,2	7,9

## 5.2.2 SEPARAZIONE SOLIDO-LIQUIDO DEL LIQUAME SUINO

In Spagna, la società Mecàniques Segalés S.L. ha progettato e realizzato due prototipi portatili per la separazione meccanica della frazione solida del liquame. Il primo prototipo prevede la produzione di una frazione liquida adatta all'iniezione nei sistemi di irrigazione a pivot, il secondo prototipo è stato progettato per separare, in una seconda fase, la frazione liquida ottenuta con il primo prototipo e fornire una frazione liquida adatta all'iniezione nei sistemi di irrigazione a goccia. Ogni unità è stata installata su una piattaforma portatile separata che ne ha permesso il trasporto da un'area all'altra.

L'utilizzo di sistemi con pivot facilita la fertirrigazione con frazione liquida di liquame suino grazie al maggior diametro del foro dell'ugello (>2 mm), che ammette particelle solide più grandi (<500 µm). L'irrigazione a goccia richiede la rimozione di particelle più grandi di 100 µm e quindi una seconda fase di separazione che aumenta i costi e i tempi quando si pianifica la stagione fertirrigua. L'uso degli stessi prototipi in tutte le aree dimostrative ha imposto l'attuazione di un programma molto serrato, in cui qualsiasi ritardo ha influito sulla gestione di tutte le altre aree dimostrative in entrambi i siti. Queste restrizioni possono essere facilmente mitigate determinando adeguatamente il numero e la dimensione delle unità di separazione richieste per ogni stagione. Per fare ciò è necessario conoscere il volume di liquame da separare in base alla sua composizione e alla superficie agricola da concimare. Nella pianificazione devono essere prese in considerazione le prestazioni di separazione delle attrezzature e le distanze di lavoro da coprire nel trasporto dalle aziende agricole ai campi.

Il prototipo relativo al sistema con pivot, consiste in un vaglio inclinato seguito da una vite elicoidale che comprime il liquame contro un cestello forato in modo da migliorare le prestazioni di separazione (riducendo il contenuto di acqua nella frazione solida finale). Il prototipo del vaglio utilizzato il primo anno aveva una maglia di 600 µm per entrambe le parti: vaglio inclinato e pressa a vite elicoidale. La dimensione delle maglie è stata progressivamente ridotta a 250 µm nell'ultimo anno. Il prototipo dell'irrigazione a goccia consiste in un vaglio vibrante, simile all'attrezzatura utilizzata negli allevamenti IT-S1 e IT-S3 in Italia (Capitolo 6), con una maglia di separazione di 100 µm nel primo anno che è stata ridotta a 80 µm, così come la dimensione del vaglio nel prototipo pivot, che è stato ridotto da 600 µm a 250 µm.

Il liquame suino è stato inviato al primo vaglio, quindi la frazione liquida ottenuta (PLF) è stata stoccata in un lagone e la frazione solida (PSF) nella platea del separato solido presente in ogni azienda agricola. Durante l'implementazione della fertirrigazione nel sistema di irrigazione a goccia, il secondo prototipo è stato alimentato con PLF dal lagone dell'azienda agricola, la frazione liquida filtrata (DLF) stoccata in serbatoi e la frazione solida (DSF) inviata alla platea di stoccaggio aziendale accanto al PSF e gestiti congiuntamente come prezioso fertilizzante organico (Figura 5.2).

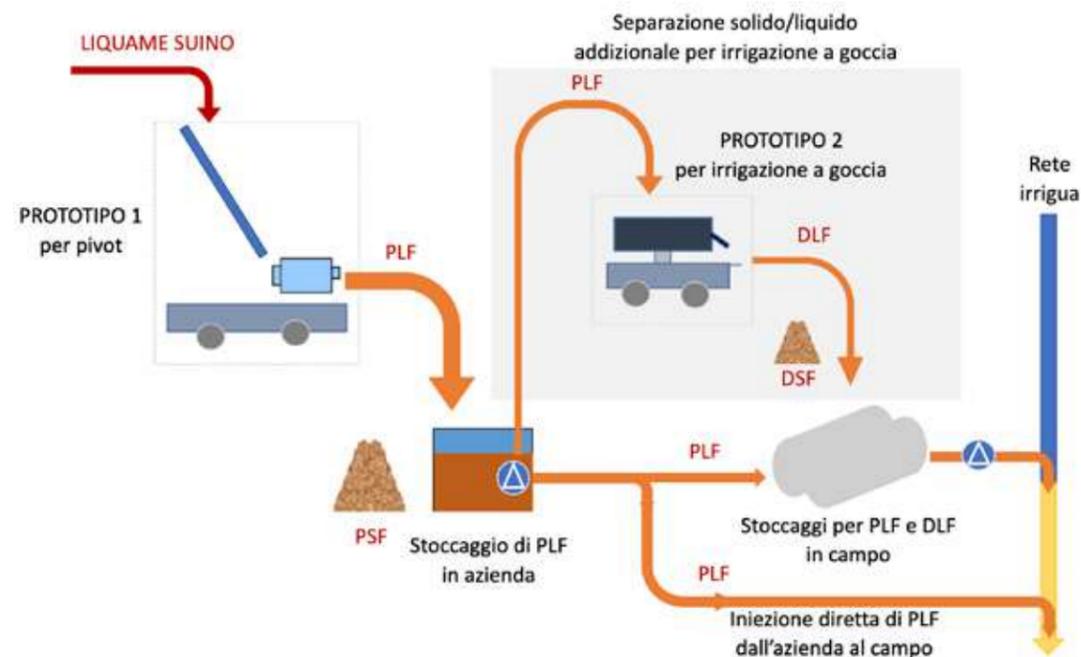


Figura 5.2. Diagramma di flusso del processo di gestione del liquame suino nei campi fertirrigui in Aragona (Spagna).

Il liquame suino utilizzato nei campi dimostrativi proveniva da tre diversi allevamenti, due allevamenti di Cinco Villas e uno a La Litera:

**L'allevamento 1 (ES-S1-F1)** è un allevamento di suini da ingrasso (9.100 capi) a Ejea de los Caballeros (Saragozza, Spagna). Un prototipo di separazione per pivot è stato installato nell'azienda agricola nel 2018 per fornire la frazione liquida per la fertirrigazione nel pivot di Cinco Villas (ES-S1-P). Un prototipo di separazione dell'irrigazione a goccia è stato installato in questa azienda per tre anni e ha fornito la frazione liquida per l'appezzamento con irrigazione a goccia (ES-S1-D) nelle tre campagne dimostrative (Foto 5.1). Un vaglio inclinato è stato installato dai proprietari dell'azienda agricola nel 2019, fornendo una frazione prefiltrata idonea per la separazione nel prototipo per l'irrigazione a goccia durante la seconda e la terza campagna di prova in campo.

**L'allevamento 2 (ES-S1-F2)** è un allevamento di suini da ingrasso (5.880 capi) a Ejea de los Caballeros (Saragozza, Spagna). Un prototipo di separazione per pivot è stato installato in questa azienda nel 2019, e nel 2020 ed è stato utilizzato del liquame proveniente da questo allevamento per rifornire il sistema di fertirrigazione con pivot a Cinco Villas (ES-S1-P).

**L'allevamento 3 (ES-S2-F3)** è un allevamento di suini da ingrasso (3.150 capi) situato a Esplús (Huesca, Spagna) (Foto 5.2). Questa azienda ha fornito la frazione liquida per i due campi dimostrativi a La Litera (ES-S2-P, ES-S2-D). Un lagone in cemento preesistente è stato isolato e predisposto per stoccare la frazione liquida per il pivot (FLP).



Foto 5.1. Separatori solido/liquido, prototipo pivot (a sinistra) e prototipo a goccia (a destra) nell'allevamento 1 (ES-S1-F1) che ha fornito la frazione liquida per il campo dimostrativo a Torremira a Cinco Villas (ES-S1-D).

Nelle prove effettuate a La Melusa (Sito 2, La Litera), il prototipo di separazione necessario per l'irrigazione a goccia è stato installato per i tre anni in prossimità dei serbatoi di accumulo in campo da cui la frazione liquida è stata iniettata nell'impianto di irrigazione. In quest'area, in cui è stata predisposta una piattaforma in cemento, è stata installata anche una vasca verticale da 30 m<sup>3</sup> per lo stoccaggio del FLP proveniente da ES-F3 e per consentire il completamento della seconda fase di separazione.

Il funzionamento dei prototipi di separazione è stato monitorato per 6 prove (3 per il prototipo pivot e 3 per il prototipo goccia) presso diversi allevamenti. Il monitoraggio consisteva nella registrazione delle portate di liquame e delle frazioni liquida e solida, della loro composizione, del tempo di funzionamen-



Foto 5.2. Separatore solido/liquido per pivot e lagone di stoccaggio della frazione liquida presso l'allevamento 3 (ES-S2-F3) che forniscono frazione liquida ai campi dimostrativi a La Melusa a La Litera (ES-S2-P, ES-S2-D).

to dell'apparecchiatura e del consumo di elettricità. Questi dati sono stati utilizzati per valutare le prestazioni del sistema attraverso bilanci di massa.

La composizione della frazione liquida che è stata utilizzata in ciascun appezzamento ogni anno è riassunta nella Tabella 5.5. A Cinco Villas, la frazione liquida utilizzata nel campo di irrigazione a goccia per i 3 anni e nel campo con pivot per la stagione 2018 è stata prelevata dalla stessa azienda agricola (ES-S1-F1). Il liquame suino tal quale di (ES-S1-F1) era molto diluito e rendeva più facile la filtrazione, ma a causa della bassa concentrazione di ammonio

(TAN), era necessario trasportare grandi volumi di frazione liquida per coprire le richieste di N delle colture. Pertanto, nel 2019 e nel 2020, la fertirrigazione in ES-S1-P è stata eseguita utilizzando liquame suino da ES-F2, più vicino al pivot e con concentrazioni di N più elevate (TAN medi 2.85 e 2.30 kg/t rispettivamente nel 2019 e nel 2020).

A La Melusa, durante il primo anno del 2018, entrambi i prototipi sono stati installati vicino agli appezzamenti e il liquame suino è stato fornito da diversi allevamenti. La grande variabilità del liquame proveniente dalle diverse aziende ha causato gravi problemi nel funzionamento del prototipo e ha richiesto continui adeguamenti del sistema. Nel 2019 e nel 2020, il liquame è stato fornito da ES-F3 durante l'intera stagione.

Tabella 5.5. Composizione della frazione liquida utilizzata per la fertirrigazione presso i diversi campi dimostrativi durante le stagioni 2018, 2019 e 2020.

Sito	Azienda	N	Anno	TAN	TKN	TAN/TKN	pH	ST	SV	SV/ST	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
				kg/t	kg/t	%		%	%		kg/t	kg/t
ES-S1-P	ES-F1	6	2018	0,94	1,60	81,4	-	1,08	0,47	43,4	0,54	2,73
ES-S1-P	ES-F2	18	2019	2,85	3,13	80,2	7,93	1,9	1,06	53,8	0,05	3,81
ES-S1-P	ES-F2	7	2020	2,30	3,04	75,7	-	2,04	1,10	54,0	0,12	4,26
ES-S1-D	ES-F1	3	2018	1,28	1,64	80,5	-	1,31	0,62	47,3	0,10	3,00
ES-S1-D	ES-F1	7	2019	1,25	1,65	78,4	8,22	1,29	0,55	41,4	0,02	3,64
ES-S1-D	ES-F1	3	2020	1,03	1,39	74,8	-	-	-	-	0,01	3,64
ES-S2-P	varie	2	2018	1,38	2,20	62,8	-	1,85	1,00	56,5	1,25	1,66
ES-S2-P	ES-F3	7	2019	2,31	3,25	74,5	7,90	2,48	1,30	52,4	0,18	3,63
ES-S2-P	ES-F3	8	2020	1,30	1,58	78,1	7,83	1,68	0,51	42,0	0,03	2,88
ES-S2-D	varie	0	2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ES-S2-D	ES-F3	4	2019	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-
ES-S2-D	ES-F3	2	2020	2,44	-	-	-	3,37	-	-	-	-

TAN: azoto ammoniacale totale, TKN: azoto totale Kjeldahl, ST: solidi totali, SV: solidi volatili, N numero di campioni.

## 5.3 MONITORAGGIO AMBIENTALE

### Emissioni di ammoniaca

Le emissioni di ammoniaca derivanti dalle attività di fertilizzazione nei campi del progetto LIFE ARIMEDA sono state monitorate per le tre stagioni di crescita, dal 2018 al 2020, seguendo i protocolli descritti nel capitolo 4.

Lavorare su larga scala nei campi produttivi implica affrontare ulteriori sfide ed eventi incontrollati che dovrebbero essere considerati quando si valutano i risultati. Tuttavia, fornisce anche un approccio più vicino a situazioni reali rispetto a scenari isolati e controllati in laboratorio o strutture sperimentali su piccola scala. Per questo motivo i risultati ottenuti dovrebbero essere analizzati nell'ambito di ogni campagna di monitoraggio e

valutati sulla base dei benefici complessivi ottenuti nell'attuazione della fertirrigazione in termini di riduzione delle emissioni di NH<sub>3</sub>.

Entrambi i sistemi di fertirrigazione hanno consentito di ottenere importanti riduzioni delle emissioni di ammoniaca (Tabella 5.6 e Figure 5.3 e 5.4). Nel caso dell'irrigazione con pivot, le riduzioni sono state leggermente più elevate a Cinco Villas, con diminuzioni medie delle emissioni di NH<sub>3</sub> dell'81% (±2% DS) rispetto all'N distribuito, mentre a La Litera, le diminuzioni sono state in media del 71% (±8% DS). Ciò potrebbe contraddire i risultati attesi considerando che gli ugelli erano al di sotto della chioma delle colture a La Litera. In questo appezzamento gli ugelli si trovavano a 40 cm sopra la superficie del suolo, mentre a Cinco Villas irrigavano da un'altezza di 2.4 m. Tuttavia, è importante sottolineare che altre caratteristiche, come rapporti di diluizione più elevati e volumi di iniezione inferiori per evento a Cinco Villas, potrebbero aver esercitato effetti più significativi sulle emissioni rispetto alla posizione degli ugelli rispetto alla chioma delle colture.

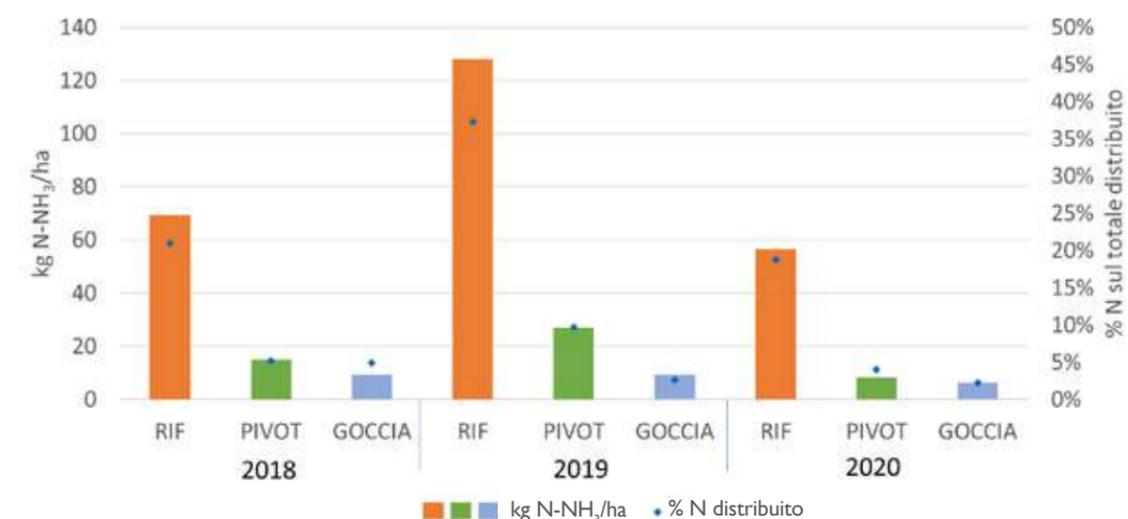


Figura 5.3. Emissioni di ammoniaca nei campi dimostrativi presso il sito 1 - Cinco Villas (Aragona, Spagna).

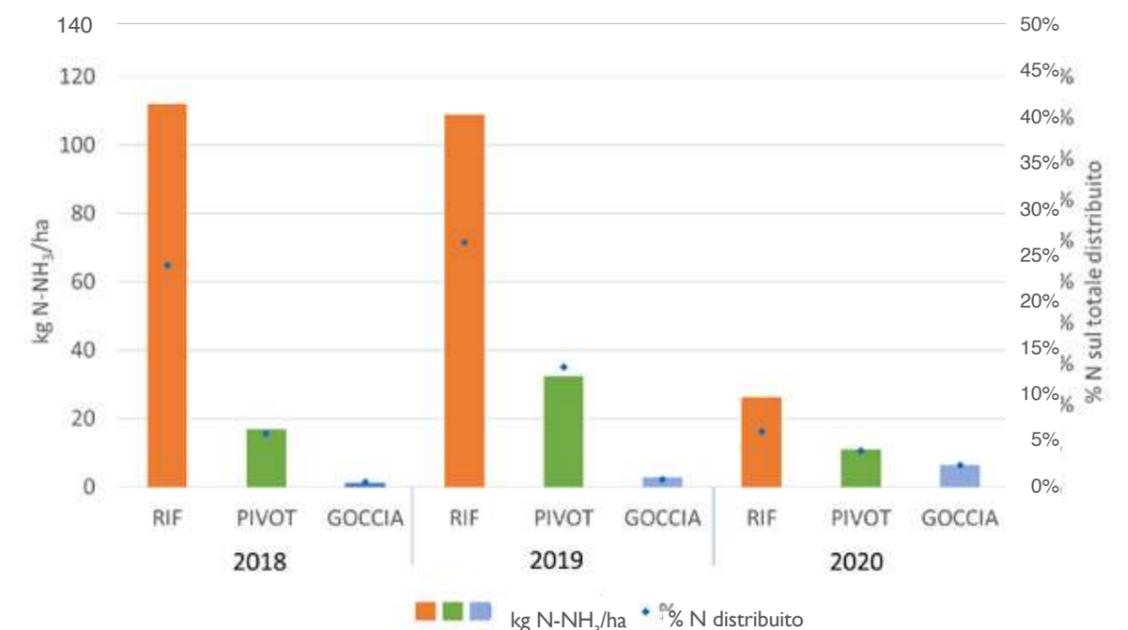


Figura 5.4. Emissioni di ammoniaca nei campi dimostrativi presso il sito 2 - La Litera (Aragona, Spagna).

La percentuale di  $\text{NH}_3$  emessa rispetto all'N distribuito è stata sempre più elevata nei campi di riferimento, principalmente a causa della distribuzione con piatto deviatore in presemina del liquame suino tal quale. In media, il 32,3% ( $\pm 7,7\%$  ES) dell'azoto totale applicato è stato emesso nei campi di riferimento, mentre è stato emesso il 9,5% ( $\pm 2,1\%$  ES) dell'N totale applicato come concimazione di copertura effettuata con fertilizzanti minerali. Questi valori medi di emissione osservati utilizzando fertilizzanti minerali sono risultati superiori alle emissioni medie determinate in fertirrigazione con fertilizzanti organici, 7,4% ( $\pm 1,7\%$  DS) dell'N applicato nel caso del pivot e 2,3% ( $\pm 0,6\%$  ES) nel caso degli impianti di fertirrigazione a goccia sottosuperficiale (Tabella 5.6). L'irrigazione a goccia permette di lavorare con diluizioni inferiori, mantenendo basse le emissioni di  $\text{NH}_3$  nell'aria.

Tabella 5.6. Emissioni medie di ammoniaca, riduzioni delle emissioni e delle quantità di N applicate negli appezzamenti fertirrigati rispetto a quelli di riferimento monitorati in Aragona (Spagna).

	N applicato ( $\pm$ ES)		emissioni di $\text{N-NH}_3$ ( $\pm$ ES)		Riduzione di emissioni di $\text{N-NH}_3$ <sup>1</sup> ( $\pm$ ES)		Riduzione dell' N applicato <sup>2</sup> ( $\pm$ ES)	
	kg N/ha	% de N applicato	kg N/ha	% de N applicato	kg N/ha	%	kg N/ha	%
<b>Riferimento</b>	357,4 ( $\pm 16,7$ )		83,6 ( $\pm 16,0$ )	23,4% ( $\pm 4,0$ )				
<b>Pivot</b>	277,4 ( $\pm 13,4$ )		18,4 ( $\pm 3,8$ )	7,4% ( $\pm 1,7$ )	76,0% ( $\pm 4,2$ )		90,6 ( $\pm 28,0$ )	29% ( $\pm 4,5$ )
<b>Goccia</b>	261,5 ( $\pm 26,6$ )		5,9 ( $\pm 1,4$ )	2,3% ( $\pm 0,6$ )	90,0% ( $\pm 3,5$ )		95,9 ( $\pm 36,3$ )	25% ( $\pm 9,2$ )

<sup>1</sup>Relativamente alle emissioni di N, <sup>2</sup>Relativamente all' N applicato negli appezzamenti di riferimento.

### Rischio di lisciviazione di nitrati

In tutti gli appezzamenti sono state installate coppe porose in 5 punti omogeneamente distribuiti sulla superficie del campo (distribuzione a W). Queste coppe sono state interrate al di sotto della zona radicale della coltura, in base alla profondità del suolo di ciascun appezzamento. A Cinco Villas (terreni poco profondi), la loro profondità era di 50 cm, mentre a La Litera, sono stati installati a 1.0 m sotto la superficie del suolo. Una volta alla settimana, l'acqua è stata campionata dopo aver applicato il vuoto per 24 ore e la concentrazione di nitrati è stata analizzata in laboratorio.

Le concentrazioni di nitrati osservate nei campioni prelevati dai campi con pivot sono risultate generalmente inferiori a quelle misurate negli impianti di irrigazione a goccia e nelle parcelle di riferimento, che solitamente mostravano valori dello stesso ordine di grandezza. Questo comportamento è stato particolarmente evidente a La Litera (sito 2), dove predominano i terreni profondi e argillosi. Nel 2019, la concentrazione media di nitrati osservata nei campi era superiore alla maggior parte dei valori dell'irrigazione a goccia a La Litera. Questo potrebbe essere correlato a un'infestazione da ragnetto rosso che ha attaccato il raccolto e ridotto la produzione di questo appezzamento durante questa stagione. Di conseguenza, all'inizio del 2020, i valori di concentrazione di nitrati erano più alti del solito, poiché nel suolo era presente un'elevata quantità di N disponibile dalla stagione precedente (Figura 5.5).

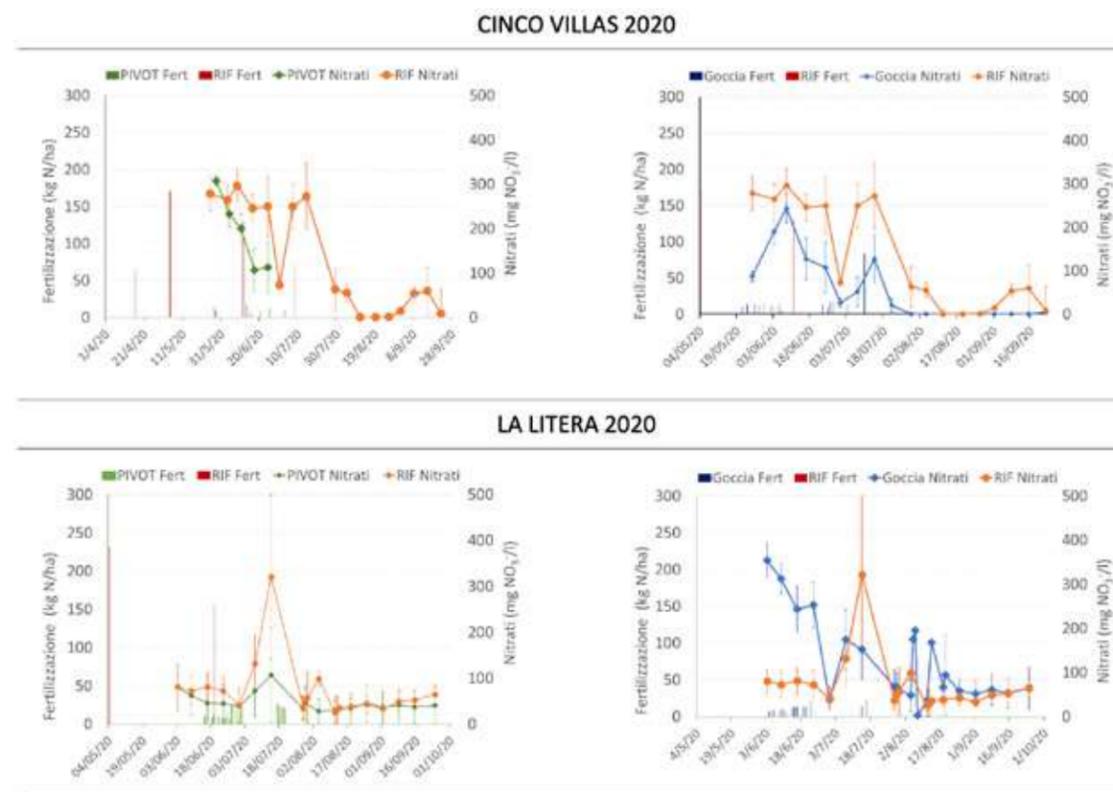


Figura 5.5. Concentrazioni di nitrati misurate nei campi dimostrativi LIFE ARIMEDA rispetto ai campi di riferimento nel sito 1 (in alto) e nel sito 2 (in basso) per la stagione 2020.

## 5.4 MONITORAGGIO AGRONOMICO

La fertirrigazione consente di adeguare l'applicazione di N alle reali esigenze colturali non solo in termini di quantità ma anche in termini di periodo di applicazione. Nonostante le difficoltà logistiche e di pulizia, la fertirrigazione nei campi dimostrativi è stata in grado di fornire l'84% del fabbisogno di N delle colture con una media di 14 eventi di fertirrigazione e con dosi medie di 19 kg N/ha per evento. Questa tecnica è stata in grado di fornire l'intero fabbisogno di N in 6 delle 12 prove dimostrative.

L'apporto totale di azoto negli appezzamenti di riferimento gestiti dagli agricoltori con pratiche tradizionali è variato da 301.5 a 415.3 kg N/ha e la frazione di N totale applicata nella concimazione in presemina con liquame suino è variata dal 48.7 al 64.3%. Nelle parcelle fertirrigate, l'apporto di azoto è stato più limitato, da 188.4 a 352.6 kg N/ha, in media del 23% inferiore a quello degli appezzamenti di riferimento. Le rese colturali non sono state diverse tra i campi di riferimento e con fertirrigazione con pivot, ma le rese nei campi irrigati a goccia sono risultate inferiori in alcune situazioni (Figura 5.6). La crescita delle colture nei campi con fertirrigazione a goccia sottosuperficiale non è sempre stata ottimale e una maggiore esperienza nella gestione dell'irrigazione a goccia sottosuperficiale per colture di pieno campo è essenziale prima che le tecniche di fertirrigazione possano essere applicate con successo.



Figura 5.6. Rese di mais nei campi di riferimento e in quelli fertirrigati durante le tre stagioni di prova.

Nella prima campagna l'asportazione di azoto da parte della coltura è stata inferiore rispetto alle altre due a causa dei cicli colturali più brevi, con valori da 87.2 (ES-S2-D) a 187.8 kg N/ha (ES-S1-P). Nelle stagioni 2019 e 2020 con varietà a ciclo più lungo, l'asportazione di N da parte della biomassa fuori terra ha raggiunto un valore medio di 200 kg N/ha ed è stata generalmente inferiore negli appezzamenti irrigati a goccia sottosuperficiale (Tabella 5.7). L'efficienza d'uso dell'azoto (NUE) è stata calcolata come il rapporto tra l'asportazione di N (nella biomassa fuori terra) e l'N applicato. Il frazionamento con le tecniche di fertirrigazione della distribuzione dell'N in relazione alle reali esigenze delle colture, oltre alla riduzione delle eccedenze di nutrienti applicate ai campi, si è riflesso in un aumento dell'efficienza dell'uso di N principalmente nei sistemi pivot. Pertanto, la NUE negli appezzamenti di riferimento è variata tra 0.31 e 0.72 con un valore medio di 0.52 e la NUE più alta è stata ottenuta nei sistemi pivot con un valore medio di 0.76 e compreso tra 0.59 e 1.04. Nei campi irrigati a goccia, la NUE (escluso ES-S1-D nel 2020) ha leggermente superato i valori dei campi di riferimento (range 0.46-0.69) con un valore medio di 0.56, che è allineato con le minori rese colturali ottenute nell'irrigazione a goccia sottosuperficiale rispetto a l'irrigazione con pivot in ciascun sito e nelle tre stagioni.

Tabella 5.7. N applicato, N nella biomassa fuori terra (asportazione di N) e NUE nelle parcelle dimostrative spagnole.

Sito	N in presemina	N in copertura	N applicato totale	N asportato		NUE	
	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	Media	±SE	Media	±SE
<b>2018</b>							
ES-S1-R	180,8	150,0	330,8	102,8	±9,7	0,31	±0,03
ES-S1-P	29,0	290,4	319,4	187,8	±8,6	0,59	±0,03
ES-S1-D	-	188,4	188,4	86,9	±9,4	0,47	±0,05
ES-S2-R	267,1	148,2	415,3	180,2	±4,1	0,43	±0,01
ES-S2-P	-	261,7	261,7	177,6	±19,9	0,68	±0,08
ES-S2-D	-	190,7	190,7	124,8	±9,9	0,63	±0,04
<b>2019</b>							
ES-S1-R	166,8	176,0	342,8	130,5	±6,7	0,38	±0,02
ES-S1-P	-	342,5	342,5	243,5	±25,1	0,71	±0,07
ES-S1-D	-	352,6	352,6	192,7	±5,6	0,56	±0,04
ES-S2-R	217,7	148,2	356,9	265,0	±18,6	0,72	±0,05
ES-S2-P	-	221,6	221,6	231,2	±10,4	1,04	±0,05
ES-S2-D	-	299,2	299,2	134,6	±5,8	0,45	±0,02
<b>2020</b>							
ES-S1-R	171,5	130,0	301,5	208,4	-	0,69	-
ES-S1-P	-	269,4	269,4	160,0	±8,8	0,59	±0,03
ES-S1-D	-	287,6	287,6	93,5	±3,9	0,33	±0,01
ES-S2-R	232,0	156,0	338,2	250,7	±7,8	0,65	±0,02
ES-S2-P	-	250,0	250,0	242,9	±14,3	0,97	±0,06
ES-S2-D	-	241,5	241,5	166,5	±8,8	0,69	±0,04

TKN: Azoto Kjeldhal totale, TAN: azoto ammoniacale totale, NUE: efficienza d'uso dell'azoto.

## 5.5 LEZIONI APPRESE E TRASFERIMENTO IN ALTRE AZIENDE

L'esperienza acquisita negli appezzamenti dimostrativi è stata trasferita ad altre due aziende dove la tecnica di fertirrigazione è stata replicata in sistemi di irrigazione a pivot e a goccia.

Il campo con pivot era vicino a un allevamento di suini ed era possibile iniettare direttamente il liquame dal lagone di stoccaggio FL attraverso una condotta ed evitare tutte le difficoltà logistiche incontrate nei campi dimostrativi a causa del trasporto su strada. In questo appezzamento di 54 ha, tutti i fabbisogni di N per una rotazione *mais – frumento (1/2 appezzamento) + pisello (1/2 appezzamento) – mais* sono stati soddisfatti con la fertirrigazione, con un massimo di 8 fertirrigazioni di 19 ore per ciascuna coltura in rotazione (Tabella 5.8), ottenendo ottime rese e risparmio sui costi.

È stato monitorato anche un campo per il trasferimento della tecnica fertirrigua con ala gocciolante accanto a un allevamento di suini da ingrasso, ma in questo campo è stato necessario filtrare il liquame attraverso entrambi i prototipi in sequenza per ottenere una frazione liquida adeguata per essere iniettata nel sistema ad ala gocciolante. Nell'azienda sono stati installati due serbatoi di stoccaggio da 30 m<sup>3</sup> per immagazzinare la frazione liquida (DLF) per l'iniezione nel sistema di irrigazione. Nel 2019, solo il 49% del fabbisogno di N è stato applicato utilizzando la frazione liquida del liquame suino. I sistemi di filtrazione e iniezione hanno dovuto essere regolati e vari problemi di intasamento hanno riguardato i filtri e i sistemi di fertirrigazione. Nel 2020, l'intero fabbisogno di N della coltura è stato soddisfatto con liquame suino in 8 eventi di fertirrigazione (Tabella 5.8). Tuttavia, il mais si è allestito in entrambi gli anni e la resa in granella si è drasticamente ridotta. Il problema non era dovuto alla fertirrigazione ma a una gestione inadeguata dell'irrigazione con tempi e portate di irrigazione inadeguati.

Tabella 5.8. Quantità di N applicata con la fertirrigazione in ciascuna delle colture degli appezzamenti di trasferimento, con il numero di eventi di fertirrigazione e la percentuale di fabbisogno di N soddisfatta dal liquame applicato in fertirrigazione.

Sito	Anno	Area ha	Coltura	Dose di N con fertirrigazione	N° Eventi	Fabbisogno N coperto
				Kg N/ha		%
Pivot	2019	54	Mais	170,0	6	100,0
	2019/20	27	Orzo	116,5	5	100,0
	2020	27	Pisello	93,2	4	100,0
	2020	27	Mais dopo pisello	139,8	6	100,0
	2020	27	Mais dopo orzo	209,7	7	100,0
Goccia	2019	2,2	Mais ciclo breve	107,2	5	49,5
	2020	2,2	Mais	232,0	8	100,0

I risultati ottenuti nei campi dimostrativi evidenziano la significativa riduzione delle emissioni di ammoniacale quando viene introdotta la fertirrigazione. Rispetto alla tecnica di riferimento, le riduzioni medie sono state del 76% ( $\pm 4\%$  D.S.) con irrigazione pivot e hanno raggiunto il 90% ( $\pm 3\%$  D.S.) con irrigazione a goccia sottosuperficiale. Va notato che questo risultato deriva da una combinazione di fattori. Innanzitutto, è stata possibile una riduzione della dose di N applicata, grazie a una migliore sincronizzazione dell'applicazione di N alle esigenze delle colture, cioè frazionando l'applicazione di N attraverso la fertirrigazione. In media, le dosi di N applicate sono state ridotte del 29% per i pivot (da 357.4 a 277.4 kg N/ha) e del 25% per i sistemi di irrigazione a goccia (da 357.4 a 261.5 kg N/ha) rispetto alle dosi di N applicate dagli agricoltori nei campi di riferimento, senza compromettere la produzione. In secondo luogo, il liquame suino è stato diluito con acqua in ogni fertirrigazione. In terzo luogo, l'applicazione del liquame mediante irrigazione a goccia sottosuperficiale o con sistemi di ugelli a bassa pressione nel pivot riduce le perdite di deriva ed evaporazione.

La tecnica della fertirrigazione è stata inoltre in grado di aumentare l'efficienza d'uso dell'azoto rispetto ai metodi applicativi tradizionali (campi di riferimento), principalmente nei sistemi pivot.

Nelle condizioni dei due scenari in cui è stata trasferita la fertirrigazione, un modello aziendale misto (allevamento e coltivazione) ha consentito l'iniezione diretta, senza la necessità di trasporto su strada, e la disponibilità di liquame sufficiente per soddisfare il fabbisogno totale di N delle colture. Questa è la situazione ideale per il successo di questa nuova pratica di fertilizzazione. Il trasporto su strada del liquame filtrato è stato uno dei maggiori colli di bottiglia nei campi dimostrativi a causa dei vincoli sulla disponibilità delle attrezzature durante la stagione fertirrigua e della necessità di condizioni di perfetta pulizia all'interno dei serbatoi, che è più critica per i sistemi di irrigazione a goccia.

Nel sistema di irrigazione con pivot la dimensione delle particelle da filtrare (500  $\mu$ m) non è un fattore limitante, ed è sufficiente l'utilizzo di un vaglio che non richiede un investimento elevato. La sua

gestione è semplice con bassi costi di esercizio e manutenzione e può essere eseguita dall'agricoltore in modo autonomo senza sorveglianza permanente.

La fertirrigazione nei sistemi di irrigazione a goccia sottosuperficiale, sebbene più efficiente dei sistemi con pivot nella riduzione delle emissioni di ammoniacale, presenta ulteriori inconvenienti. Innanzitutto, richiede una seconda fase di filtraggio per ottenere dimensioni delle particelle inferiori a 100  $\mu$ m nella frazione liquida e sistemi di stoccaggio aggiuntivi, che possono limitarne l'uso. In secondo luogo, la gestione dell'irrigazione, che dipende dal tipo di terreno, deve essere più precisa e richiede elevate conoscenze tecniche, poiché una buona fase di emergenza della pianta o una buona resistenza della pianta è fondamentale per evitare problemi di allettamento. In terzo luogo, l'irrigazione a goccia sottosuperficiale non rende possibile l'attuazione di trattamenti contro i parassiti. Un aspetto da tenere in considerazione per il lavoro futuro è la necessità di un'analisi approfondita dell'effetto del contenuto di solidi fini nella frazione liquida nella gestione della fertirrigazione.

In tutti i casi è necessario conoscere il volume e la concentrazione di azoto della FL che viene iniettata nell'impianto per attuare buone pratiche agronomiche e adattare l'applicazione di N alle esigenze della coltura. Se non è possibile misurare la quantità di FL che viene iniettata, nel caso del pivot, si può analizzare la concentrazione di ammonio dell'acqua applicata in alcuni eventi di fertirrigazione, e le concentrazioni ottenute possono essere moltiplicate per l'acqua fornita dall'impianto di irrigazione per stimare le dosi di N applicate.

Nei sistemi di gestione centralizzata, è necessaria una buona pianificazione delle attività logistiche, compresa la necessità di liquame filtrato, il contenuto di azoto nel liquame, le rese e la movimentazione del separatore e la disponibilità delle attrezzature di trasporto. Questo consente un corretto utilizzo della tecnica in modo da soddisfare con il liquame le esigenze della coltura. In ogni caso, con queste considerazioni, la fertirrigazione può contribuire a migliorare la gestione dei liquami in Aragona.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

UNECE, 2021. Assessment Report on Ammonia. Economic Commission for Europe Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution Working Group on Strategies and Review.

ORDEN DRS/333/2019, de 25 de marzo, por la que se declaran, en base al índice de carga ganadera, los municipios con sobrecarga ganadera por exceso de nitrógeno de origen orgánico procedente de la actividad ganadera. BOA n° 68, 4/08/2019.



# 6

## FERTIRRIGAZIONE CON DIGESTATO NEI CAMPI DIMOSTRATIVI IN LOMBARDIA (ITALIA)



**GIORGIO PROVOLO**  
**VIVIANA GUIDO**  
**ANDREA GUIDETTI**  
**ALBERTO FINZI**  
**EVA HERRERO**  
**DOLORES QUÍLEZ**

### 6.1 INTRODUZIONE

Il comparto zootecnico Lombardo, con una forte presenza nella parte sud-est della Regione, è tra le maggiori aree a vocazione zootecnica intensiva in Europa. Come risultato, viene prodotto un grande volume di effluenti zootecnici. L'azoto contenuto in questi effluenti si stima essere pari a circa 130,647 t/anno derivante per il 60% dal comparto bovino, per il 28% dal comparto suino e per il 10% risulta di origine avicola. Gli allevatori tendono a distribuire tali reflui il più velocemente possibile ed il più vicino possibile al centro aziendale, in quanto la capacità di stoccaggio è limitata (dai 4 ai 6 mesi a seconda dell'origine dell'effluente, ERSAF, 2011) e comporta delle spese significative oltre ai costi di trasporto e distribuzione del refluo. Tuttavia la quantità di nutrienti contenuta negli effluenti prodotti eccede il quantitativo necessario alle colture. Questo si spiega in quanto il sistema di allevamento non prevede il pascolo degli animali e una buona parte della quota proteica della razione degli animali viene importata.

Direttamente connessi con l'attività zootecnica, ma anche con le principali colture energetiche (principalmente insilato di mais e cereali autunno-vernini), sono stati costruiti negli ultimi 20 anni numerosi impianti per la produzione di energia da biogas. La Lombardia ha il più grande numero di impianti biogas e la più alta potenza installata in Italia, più di 560 impianti alimentati da effluenti di allevamento e biomasse vegetali, con una potenza media di 680 kWe, la maggior parte gestita da agricoltori.

Il digestato è il prodotto residuo di questa attività e possiede un notevole contenuto in termini di nutrienti. L'azoto contenuto nel digestato è principalmente nella forma ammoniacale, che è fortemente suscettibile alla volatilizzazione. D'altro canto, questo prodotto è anche un ottimo fertilizzante, che deve essere stoccato e poi distribuito in campo con tecniche che ne limitino le emissioni in atmosfera. Per questa ragione, il progetto LIFE ARIMEDA in Italia, focalizza la sua attività sull'utilizzo del digestato al fine di valorizzarlo tramite la fertirrigazione e ridurre le emissioni di ammoniaca.

## 6.2 DESCRIZIONE PROVE SPERIMENTALI IN ITALIA

È stata valutata l'applicazione della frazione liquida separata del digestato tramite fertirrigazione con pivot ed ali gocciolanti, valutando le differenze rispetto alle pratiche di distribuzione tradizionale, utilizzando i medesimi sistemi di irrigazione in 3 aziende (Figura 6.1):

- **Horti Padani (IT-S1)** azienda in provincia di Cremona, equipaggiata con un pivot ed un proprio impianto di biogas alimentato con effluenti di origine suina e biomasse vegetali (insilati di mais, orzo, frumento, sorgo e sottoprodotti), l'azienda è stata monitorata nelle stagioni 2018 e 2019.
- **Agriferr (IT-S2)** azienda in provincia di Mantova, utilizza un sistema di irrigazione a goccia, e possiede un impianto di biogas aziendale alimentato con effluenti (bovini ed avicoli) e biomasse vegetali (insilati di mais, frumento, orzo, sorgo, barbabietola da zucchero e sottoprodotti), l'azienda è stata monitorata nelle stagioni 2018, 2019 e 2020.
- **La Maddalena (IT-S3)** azienda in provincia di Brescia, equipaggiata con un pivot ed un impianto di biogas alimentato con effluenti di origine avicola e biomasse vegetali (insilati di mais, frumento, orzo, sorgo e sottoprodotti), l'azienda è stata monitorata nella stagione 2020.

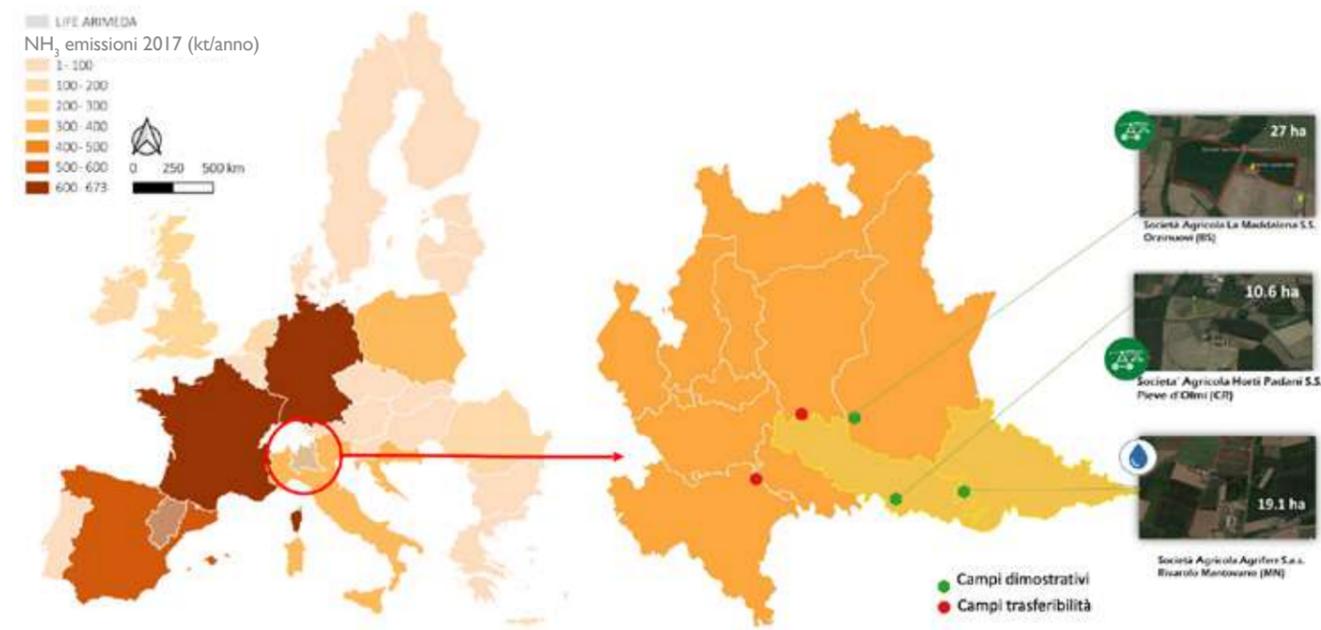


Figura 6.1. Localizzazione delle tre aziende dimostrative in Lombardia (Italia).

In tutte le aziende, è stato coltivato mais, seminato dopo un cereale autunno-vernino. Le tecniche di fertirrigazione sono sintetizzate nella Tabella 6.1.

Tabella 6.1. Tecniche utilizzate nelle prove sperimentali nelle tre aziende in Lombardia (Italia).

	IT-S1	IT-S2	IT-S3
<b>Sistema di irrigazione</b>			
Campo con fertirrigazione	Pivot	A goccia	Pivot
Campo controllo	Pivot	A goccia	Pivot
<b>Concimazione pre-semina</b>			
Campo con fertirrigazione	Incorporazione diretta	Incorporazione diretta	Iniezione superficiale
Campo controllo	Distribuzione superficiale con incorporazione entro 24 ore	Distribuzione superficiale con incorporazione entro 24 ore	Iniezione superficiale
<b>Superficie appezzamento (ha)</b>			
Campo con fertirrigazione	10,6	10,2 – 19,1	27,0
Campo controllo	7,0-9,0	3,0 – 7,0	10,0
<b>Periodo di monitoraggio</b>			
Tutti i campi	2018 e 2019	2018, 2019 e 2020	2020

### 6.2.1 GESTIONE AGRONOMICA STRATEGIA DI CONCIMAZIONE

La Tabella 6.2 riporta le principali informazioni riguardo le prove nelle aziende dimostrative; in tutti i casi, la concimazione pre-semina e la semina sono state svolte tra l'inizio di giugno e l'inizio di luglio, dopo la trinciatura del cereale autunno-vernino per la produzione di insilato.

Tabella 6.2. Date delle principali operazioni colturali nelle tre aziende dimostrative in Lombardia (Italia).

	Anno	Concimazione pre-semina	Semina	Fertirrigazione	Eventi fertirrigui	Digestato distribuito in fertirrigazione (m <sup>3</sup> /ha)
IT-S1	2018	12/07	15-17/06	20/07 - 09/08	6	75-85
	2019	13/06	18-21/06	25/07 - 12/08	4	74-85
IT-S2	2018	01-07/06	17/06-5/07	31/07 - 21/08	3	71-118
	2019	08/06	10-18/06	1/08, 12/08	2	86-230
	2020	26/05-3/06	1-6/06	15/07, 20/08	2	83-108
IT-S3	2020	1/06	16-19/06	27/07, 12/08	2	58-110

Nella Tabella 6.3. è riportato un riassunto dell'azoto utilizzato nei differenti appezzamenti e anni. La concimazione minerale è stata effettuata solo nei campi controllo 2020, mentre nei terreni dimostrativi non è mai stato distribuito concime minerale.

Il totale dell'azoto distribuito non è il medesimo tra appezzamenti e aziende a causa della necessità dell'allevatore di gestire il refluo. Pertanto, la quantità distribuita, in alcuni casi, non rispecchia le esigenze colturali.

A seconda della stagione e della tecnica adottata, il totale dell'azoto distribuito nei campi controllo va da 461 a 942 kg N/ha e nei campi dimostrativi fertirrigati tra i 304 e 559 kg/ha (Tabella 6.3).

Tabella 6.3. Azoto distribuito nei terreni dimostrativi in Lombardia (Italia).

Azienda	Anno	Campo controllo			Campo fertirrigato		
		Pre-semina kg N/ha	Copertura kg N/ha	Totale kg N/ha	Pre-semina kg N/ha	Copertura kg N/ha	Totale kg N/ha
IT-S1	2018	659	-	659	337	136	473
	2019	461	-	461	441	125	566
IT-S2	2018	464	-	464	329	43	372
	2019	942	-	942	466	45	511
	2020	511	94	605	482	55	537
IT-S3	2020	498	110	608	551	315	866

Le condizioni meteo durante la stagione di crescita del mais sono state quelle tipiche dell'area. La media delle temperature è stata di 22-25 °C, e le precipitazioni sono variate tra i 74 e 192 mm fra le varie aziende e annate. La velocità media del vento è stata 1-2 m/s.

## 6.2.2 SEPARAZIONE DIGESTATO SOLIDO/LIQUIDO

Lo schema generale del processo di separazione è stato simile in tutte le aziende (Figura 6.2). Il digestato tal qual (RD) è stato inviato al primo trattamento di separazione solido/liquido (PU1), che consiste in un separatore a vite elicoidale, dal quale si ottiene la frazione liquida (LF1) che, a sua volta, viene inviata ad uno stoccaggio da cui viene pompata al secondo separatore. Il secondo separatore (PU2) consiste in un vibrovaglio (IT-S1 and IT-S3) oppure in un microfiltro (IT-S2). La frazione liquida (LF2) originatasi è stata raccolta in un secondo stoccaggio, così da essere pronta per l'iniezione nel sistema di irrigazione. Il secondo stoccaggio ha dimensioni diverse per ogni azienda, con volumi che vanno da 7.5 m<sup>3</sup> (azienda IT-S3) a 38 m<sup>3</sup> (azienda IT-S1), a seconda delle esigenze di stoccare il digestato trattato prima del suo utilizzo per la fertirrigazione.

Per PU1, sono stati installati separatori a vite elicoidale con differenti dimensioni dei vagli nelle tre aziende: azienda IT-S1, 700-900 µm (SEPCOM Horizontal, WAMGROUP SpA, Ponte Motta/Cavezzo, MO, Italy); azienda IT-S3, 800 µm (SEPCOM Horizontal, WAMGROUP SpA, Italy) e azienda IT-S2, 500 µm (SM260 Mini, Cri-Man SpA, Correggio, RE, Italy).

Come PU2, è stato installato nelle aziende IT-S1 e IT-S3 un vibrovaglio (entrambi Acquafert srl Cicognolo, CR, Italia) (Foto 6.1 a), attrezzato con un sistema per la pulizia del vaglio ad intervalli di tempo regolari con una soluzione di acido solforico (50% v/v). Di contro, nell'azienda IT-S2 (Foto 6.1 b) è stato installato un microfiltro (MFT500, SEPCOM, WAMGROUP SpA, Italy). Le aziende IT-S1 e IT-S3 sono attrezzate con un pivot realizzato secondo le indicazioni del costruttore.

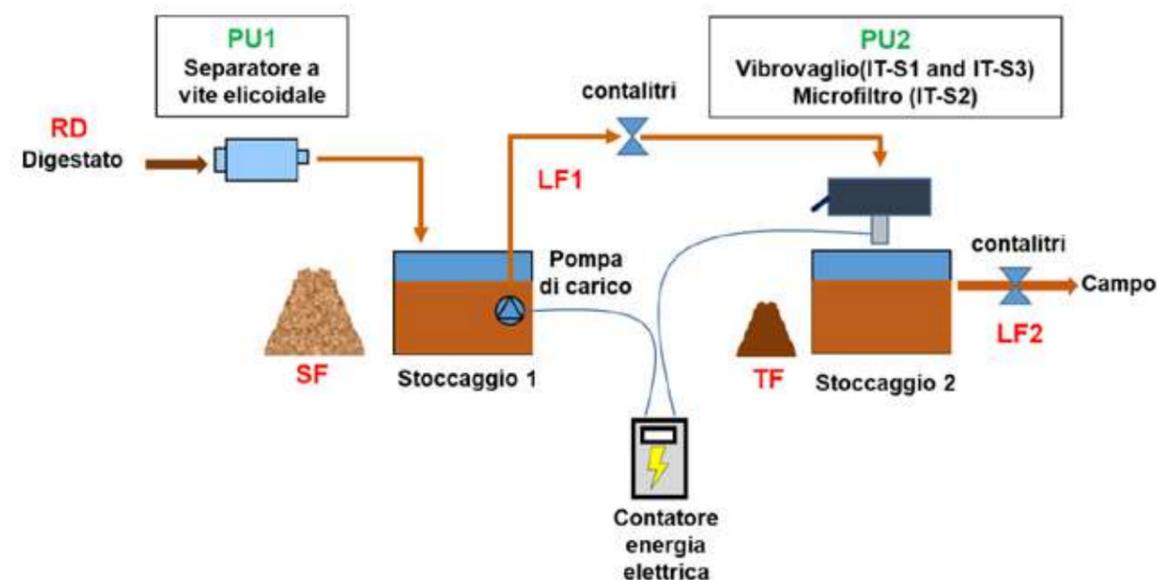


Figura 6.2. Diagramma di flusso dei sistemi di separazione solido/liquido nelle aziende in Lombardia (Italia).

Il funzionamento dei sistemi di separazione è stato monitorato ad ogni evento fertirriguo raccogliendo i volumi e le portate dei digestati trattati, le caratteristiche del refluo e i consumi elettrici. Questi dati sono stati utilizzati per valutare le performance del sistema attraverso il calcolo del bilancio di massa e l'indice di efficienza di separazione per ogni sistema monitorato.



Foto 6.1. Vibrovaglio (a) e microfiltro (b) utilizzati per la filtrazione del digestato in Lombardia (Italia).

Le caratteristiche del digestato che è stato utilizzato per la fertirrigazione negli appezzamenti dimostrativi in ogni anno sono dettagliate nella Tabella 6.4. Le concentrazioni di azoto ammoniacale (TAN) e azoto totale (TKN) nella frazione liquida ottenuta dopo il processo di separazione sono uguali o superiori a 3,3 g/kg. Il contenuto di TKN è variato tra 4,5 e 6,1 g/kg a seconda principalmente del tipo di alimentazione del digestore anaerobico. Le concentrazioni di nutrienti sono rimaste paragonabili ai digestati comunemente usati in campo, con un rapporto TAN/TKN compreso tra il 60% e il 74%.

Tabella 6.4. Caratteristiche della frazione liquido del digestato utilizzata per la fertirrigazione negli appezzamenti dimostrativi della Lombardia (Italia). Valori medi, deviazione standard tra parentesi.

Sito	Anno	TAN	TKN	pH	TS
		g/kg	g/kg	kg N/ha	kg N/ha
IT-S1	2018	3,6 (±0,5)	6,1 (±1,0)	8,0 (±0,1)	5,8 (±1,2)
	2019	3,5 (±0,1)	5,5 (±0,4)	8,2 (±0,1)	4,8 (±0,2)
IT-S2	2018	3,3 (±0,1)	4,5 (±0,1)	7,8 (±0,2)	3,9 (±0,2)
	2019	3,4 (±0,1)	4,9 (±0,2)	8,0 (±0,1)	4,3 (±0,2)
	2020	3,7 (±0,1)	5,1 (±0,1)	8,3 (±0,2)	4,4 (0,1)
IT-S3	2020	4,2 (±0,1)	6,1 (±0,4)	8,4 (±0,1)	4,8 (±0,3)

TAN: Concentrazione di azoto ammoniacale; TKN: Concentrazione di azoto totale (Kjeldahl); TS: Solidi totali.

In funzione delle strategie di filtrazione adottate, la frazione liquida del digestato aveva una composizione, paragonabile a quella del digestato grezzo, con un contenuto di solidi totali compreso tra il 3,9% e il 5,8%. L'alto contenuto di solidi totali (TS) dopo la filtrazione è dovuto all'aumento dei solidi disciolti e dei solidi fini che si verifica durante e dopo la digestione anaerobica.

## 6.3 MONITORAGGIO AMBIENTALE

### Emissioni di ammoniaca

I dati raccolti tramite l'utilizzo dei campionatori ALPHA® e processati tramite WindTrax hanno permesso il calcolo delle emissioni di ammoniaca dopo la distribuzione in pre-semina e durante la fertirrigazione. Benché le dosi di azoto applicate fossero diverse tra i campi controllo e quelli sperimentali, durante i tre anni di test, si è potuto osservare un effetto positivo delle tecniche innovative adottate rispetto alle tecniche tradizionalmente utilizzate dagli allevatori. Le emissioni, in relazione al totale dell'azoto distribuito si sono dimostrate essere inferiori nei campi fertirrigati rispetto ai campi controllo.

Nell'azienda IT-S1 (con sistema di irrigazione a pivot), sono state monitorate le emissioni di ammoniaca negli anni 2018 e 2019. In entrambe le stagioni, le emissioni sono state inferiori dove sono state applicate le tecniche di incorporazione nella concimazione pre-semina accoppiate alla fertirrigazione (Figura 6.3). Nel 2019 è stato emesso un quantitativo di ammoniaca molto basso, probabilmente dovuto alle condizioni meteorologiche nei giorni successivi all'applicazione. La media delle emissioni è stata di 88 kg N-NH<sub>3</sub>/ha per il campo controllo e 25 kg N-NH<sub>3</sub>/ha per il campo fertirrigato. I risultati espressi come percentuale dell'azoto totale distribuito mostrano valori del 14% e del 5% rispettivamente nel campo controllo e in quello fertirrigato. È interessante notare che la riduzione media delle emissioni (64%) ottenute con la fertirrigazione è stata costante tra i due anni, nonostante la grande differenza dei valori assoluti delle emissioni tra i due anni con la stessa tecnica.

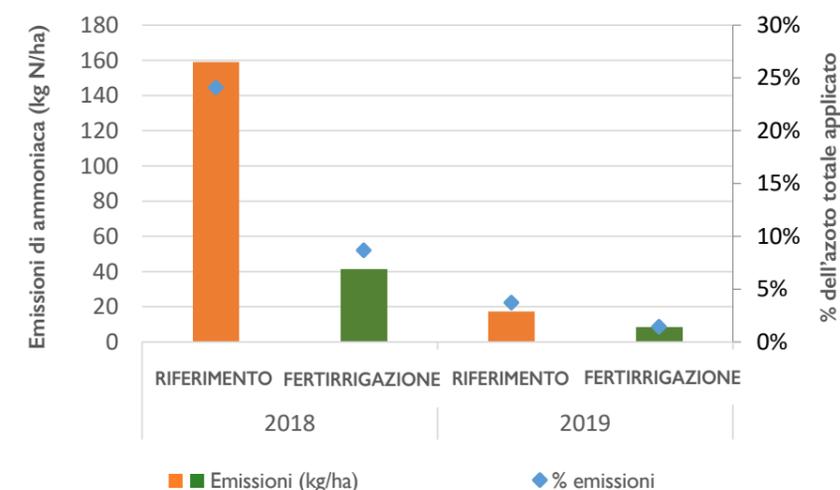


Figura 6.3. Emissioni di ammoniaca misurate nell'azienda IT-S1 nel campo controllo (in arancione) e nel campo fertirrigato (in verde). I punti blu indicano la percentuale di ammoniaca emessa relativamente al totale dell'azoto applicato.

Per l'azienda IT-S2, i quantitativi di ammoniaca emessa dal campo controllo e da quello dimostrativo sono riportati nella Figura 6.4. Il campo controllo mostra un valore medio sui tre anni di 59 kg N-NH<sub>3</sub>/ha di ammoniaca rilasciata in atmosfera, mentre nel campo fertirrigato, la combinazione dell'incorporazione del refluo distribuito in pre-semina con la fertirrigazione ha ridotto le emissioni sino ad una media di 12 kg N-NH<sub>3</sub>/ha. La percentuale di ammoniaca emessa relativamente al totale dell'azoto applicato è del 9% come media tra i campi controllo e del 3% per i campi fertirrigati. In questo modo, la riduzione delle emissioni di ammoniaca utilizzando l'incorporazione in pre-semina e la fertirrigazione ha permesso di ridurre del 70% le emissioni.

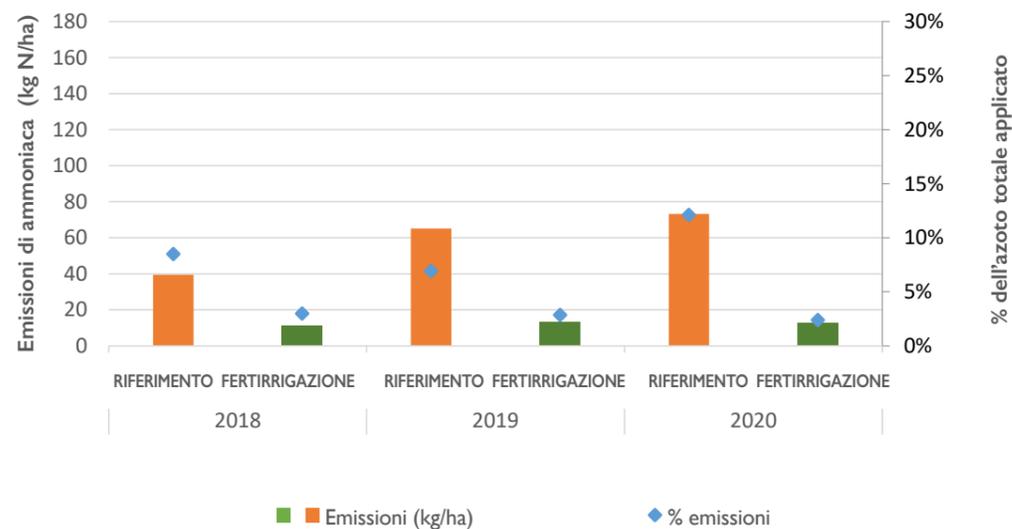


Figura 6.4. Emissioni di ammoniaca misurate nei tre anni di monitoraggio presso l'azienda IT-S2 nel campo controllo (in arancione) e nel campo fertirrigato (in verde). I punti blu indicano la percentuale di ammoniaca emessa relativamente al totale dell'azoto applicato.

Infine, nell'azienda IT-S3, l'applicazione in pre-semina di digestato è stata effettuata tramite iniezione superficiale sia nel campo controllo che in quello fertirrigato. Inoltre, è stata applicata anche dell'urea in copertura nel campo controllo. I valori assoluti di emissioni sono stati più alti nel campo fertirrigato tramite pivot a causa del quantitativo molto alto di azoto applicato. Infatti, in termini di percentuale di azoto applicato, le emissioni rilevate sono risultate simili nel campo fertirrigato (Figura 6.5).

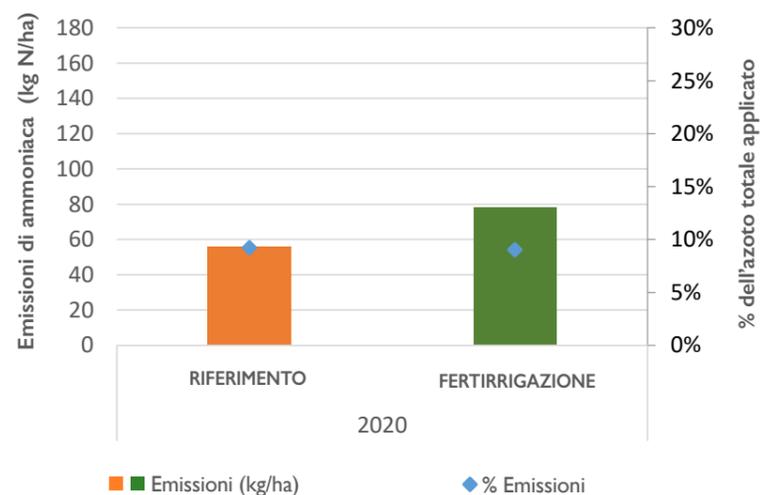


Figura 6.5. Emissioni di ammoniaca misurate nel campo controllo (in arancione) e nel campo fertirrigato (in verde) presso l'azienda IT-S3. I punti blu indicano la percentuale di ammoniaca emessa relativamente al totale dell'azoto applicato.

Da questi risultati, si può trarre la conclusione che la fertirrigazione è una tecnica adottabile per ridurre le emissioni di ammoniaca e che il suo effetto può essere migliorato tramite una mitigazione delle emissioni nella concimazione in pre-semina.

Benché siano state installate e monitorate le coppe porose per il monitoraggio della concentrazione di nitrati, nella maggior parte dei casi il terreno era asciutto ad una profondità di 60 cm; pertanto non è stato possibile ottenere informazioni in merito alla possibile lisciviazione. Comunque questi risultati suggeriscono che i nitrati si siano mantenuti nel suolo e che l'eventuale lisciviazione si sia verificata solamente in concomitanza con intense precipitazioni.

## 6.4 MONITORAGGIO AGRONOMICO

Nell'azienda IT-S2, benché ci sia stata una grande variabilità tra gli anni e i campi, le rese nei campi controllo e in quelli fertirrigati sono risultate simili nei 3 anni (Figura 6.6). Questo è un risultato che ci si aspettava dato il quantitativo elevato di azoto applicato dall'agricoltore e quindi la disponibilità di nutriente non era un fattore limitante.

L'asportazione di azoto da parte delle colture è stata tra i 165 e i 198 kg/ha con una media di 183 kg/ha (198, 168 e 182 kg N/ha per i campi controllo e 165, 193 e 191 kg N/ha per i campi fertirrigati per tre anni consecutivi).

Sia le rese, che l'asportazione di N possono essere considerati bassi rispetto ai valori medi della zona, ma bisogna considerare che il mais è stato seminato tra l'inizio di giugno e l'inizio di luglio e che la stagione di crescita è stata tra i 93 e i 125 giorni, con una media di 113 giorni, più corta quindi del normale.

Nell'azienda IT-S1, le rese sono state più alte rispetto ad IT-S2, specialmente nel 2018 (Figura 6.7), nonostante la stagione di crescita sia stata leggermente più corta (media di 103 giorni). Anche in questa azienda, le rese nei campi controllo ed in quelli fertirrigati sono state simili. L'asportazione di azoto delle colture è stata di 233 e di 188 kg/ha per i terreni controllo nel 2018 e 2019, mentre nei terreni fertirrigati è stata di 238 e di 184 kg/ha.

Nell'azienda IT-S3, nel 2020 la resa nel campo controllo è stata di 17.6 t di sostanza secca/ha, mentre nel campo fertirrigato è stata di 15.6 t/ha, con asportazioni di azoto rispettivamente di 260 e 214 kg/ha. Comunque, queste differenze possono essere attribuite maggiormente alla differenza dei terreni piuttosto che alle tecniche utilizzate.

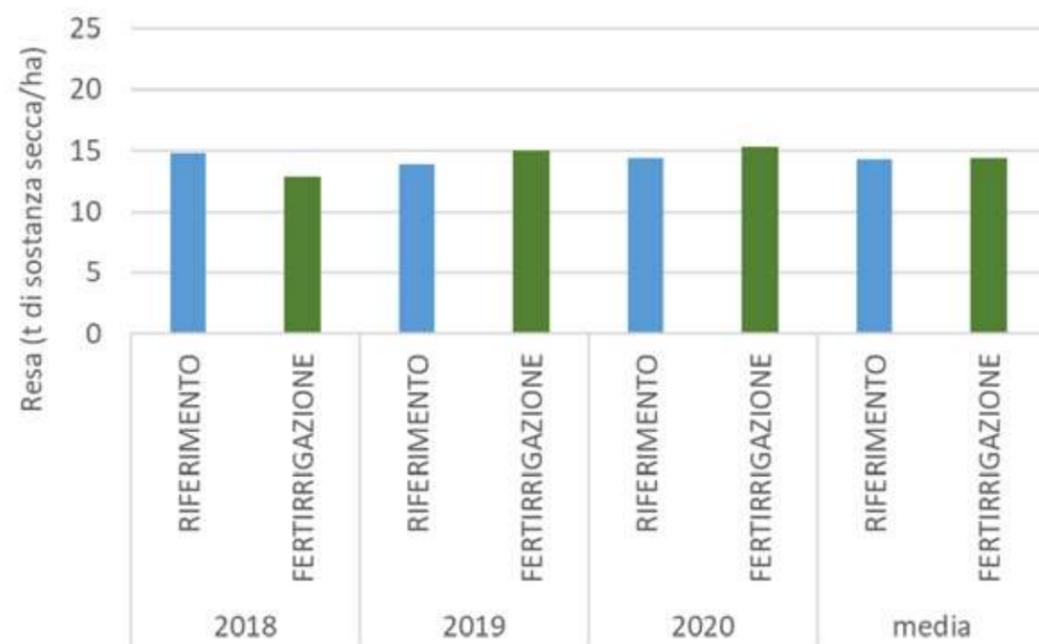


Figura 6.6. Resa in mais (trinciato) ottenuta nei tre anni di monitoraggio, nei campi controllo irrigati a goccia (in blu) e nei campi fertirrigati (in verde) nell'azienda IT-S2.

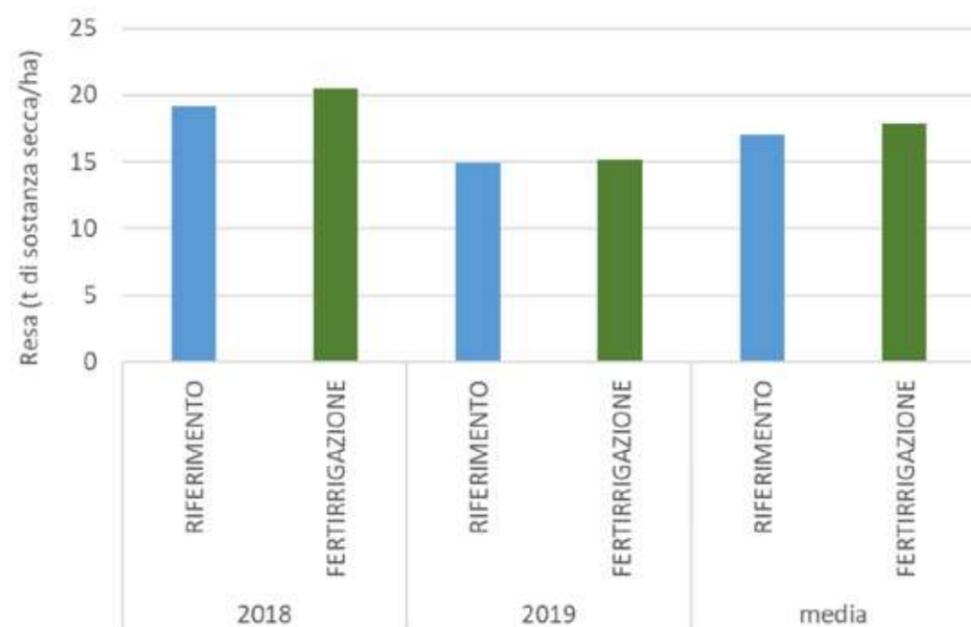


Figura 6.7. Resa in mais (trinciato) ottenuta nei due anni di monitoraggio nei campi controllo (in blu) e in quelli fertirrigati (in verde) nell'azienda IT-S1.

Anche se una valutazione statistica della NUE non rientra in questo lavoro, si possono ricavare delle indicazioni da questi risultati. Per prima cosa, a causa degli elevati quantitativi di azoto applicati, i valori della NUE sono ovviamente bassi. Essi sono comunque in linea con sperimentazioni svolte nelle stesse aree. Secondariamente, molte delle differenze nella NUE sono dovute alla variazione delle applicazioni di azoto tra i campi. A causa della difficoltà nel controllare le dosi con i macchinari tradizionalmente utilizzati dagli agricoltori, il totale dell'azoto applicato è variato notevolmente (Tabella 6.3). Perciò, i risultati ottenuti possono solamente essere considerati come indicativi di quanto è possibile ottenere con la fertirrigazione.

Le figure 6.8 and 6.9 riportano i valori della NUE rispettivamente per le aziende IT-S2 e IT-S1. In IT-S2, la NUE dei campi fertirrigati è leggermente più alta rispetto ai campi controllo (media del 39% in quelli fertirrigati e del 30% in quelli controllo), ma questa media è notevolmente influenzata da una NUE molto bassa del 2019 a causa di un eccesso nella concimazione del campo controllo.

In aggiunta, nell'azienda IT-S1, la media della NUE è stata più alta nei campi fertirrigati ma con risultati contrastanti nei due anni. Infine nell'azienda IT-S3, la NUE nei campi fertirrigati è stata inferiore del 25% rispetto ai campi controllo (43%), ma in questo caso, è stato applicato anche il 40% in più di azoto.

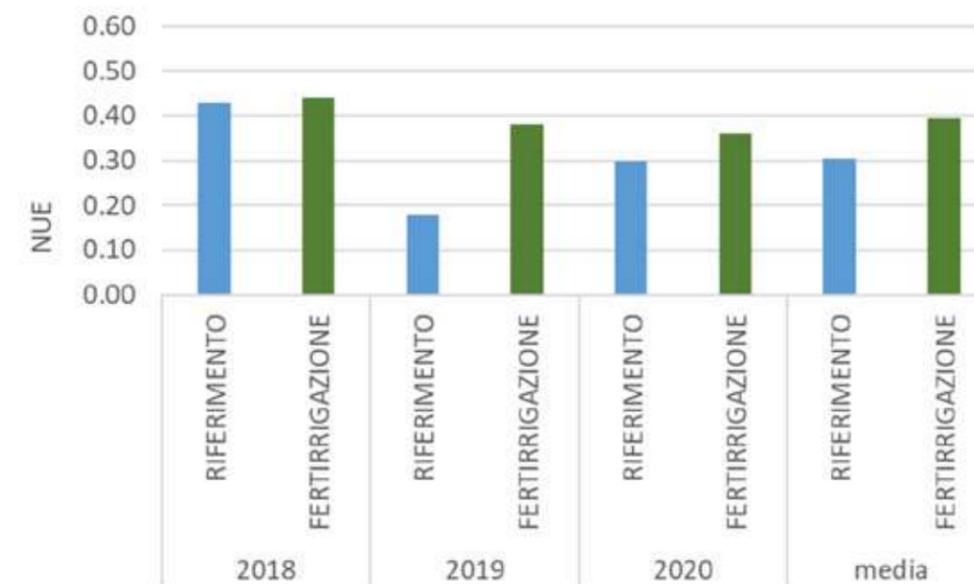


Figura 6.8. NUE calcolata come rapporto dell'azoto asportato rispetto all'azoto applicato nei tre anni di monitoraggio nei campi controllo (in blu) e in quelli fertirrigati (in verde) nell'azienda IT-S2.

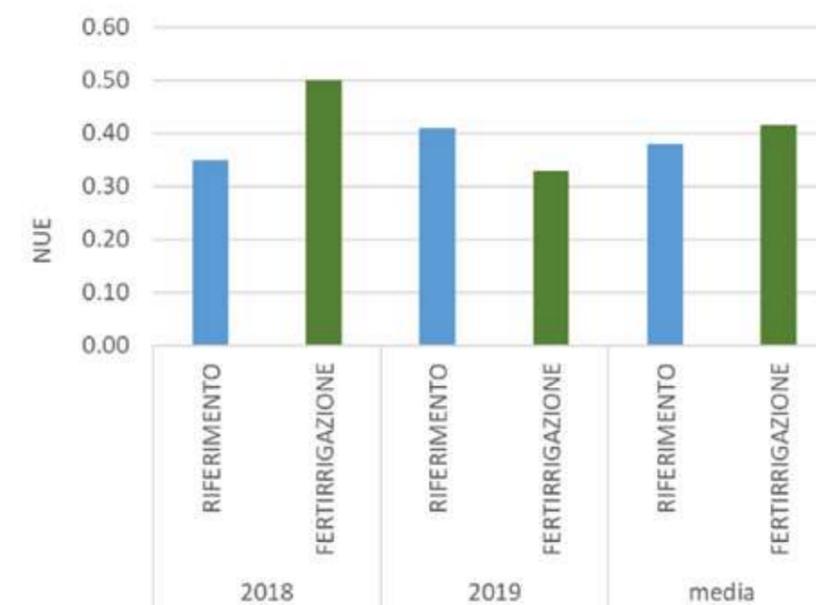


Figura 6.9. NUE calcolata come rapporto tra l'azoto asportato e quello applicato nei due anni di monitoraggio nei campi controllo (in blu) e in quelli fertirrigati (in verde) nell'azienda IT-S1.

## 6.5 LEZIONI APPRESE E TRASFERIMENTO IN ALTRE AZIENDE

Alcuni dei parametri stimati nei campi dimostrativi sono stati valutati anche in tre altre aziende dove è stata replicata la fertirrigazione.

È stata applicata la fertirrigazione a goccia in altre due aziende, mentre la terza azienda con pivot è la stessa per la quale è stata monitorata l'emissione di ammoniaca nel 2020. I dati principali sono riportati nella tabella 6.5.

Tabella 6.5. La fertirrigazione nelle aziende di replicabilità in Lombardia (Italia).

Luogo	Anno	Area	Coltura	N applicato con fertirrigazione	# Eventi fertirrigui
		ha		kg N/ha	
Goccia 1	2019	2.0	mais (1° raccolto)	53	3
	2020	2.0	mais (2° raccolto)	49	3
Goccia 2	2019	2.5	mais (2° raccolto)	27	2
	2020	2.5	mais (1° raccolto)	110	3*
Pivot	2019	30.0	mais (2° raccolto)	101	3

\*un'applicazione con fertilizzante minerale



L'azienda I con sistema a goccia è situata in Provincia di Pavia, siccome la distanza con le altre aziende era troppo elevata per effettuare trasporti, è stato installato un sistema di filtrazione ad hoc presso l'azienda (Foto 6.2 e 6.4). Nei pressi del separatore a vite elicoidale aziendale, la frazione liquida separata è stata trattata con un vibrovaglio con maglia di 100 micron e successivamente con dei filtri a sabbia.

Foto 6.2. Sistema di filtrazione installato per trattare il digestato nell'azienda di replicabilità I con sistema a goccia in Lombardia (Italia).

L'azienda di trasferibilità 2 con sistema a goccia è localizzata in Provincia di Bergamo, vicino ad un impianto consortile di trattamento effluenti collegato a diverse aziende. Il primo anno, il digestato è stato ottenuto dall'impianto di trattamento, ma la presenza di residui solidi ha interferito con il corretto funzionamento del sistema; in seguito, nel 2020, il digestato filtrato è stato trasportato dall'azienda IT-S2 tramite un'autobotte (Foto 6.3).

Il digestato filtrato è stato stoccato in appositi contenitori a bordo campo per poter iniettare il digestato nel sistema di fertirrigazione. Anche in questo caso, alcuni solidi sospesi erano ancora presenti nello stoccaggio, perciò la fertirrigazione con digestato è stata molto limitata. Per soddisfare il quantitativo di azoto necessario alla coltura è stato, quindi, distribuito del concime minerale liquido sempre tramite il sistema di irrigazione a goccia.



Foto 6.3. Il digestato filtrato nel 2020 è stato trasportato tramite un'autobotte dall'azienda IT-S2 alla seconda azienda di replicabilità in Lombardia (Italia).



Foto 6.4. La stazione di stoccaggio e pompaggio nella seconda azienda di replicabilità in Lombardia (Italia).

In tutte le aziende, ed in tutti gli anni di prova, le rese ottenute tramite la fertirrigazione sono state simili. Questo risultato conferma la possibilità di aumentare l'efficienza dell'azoto tramite questa tecnica.

I risultati ottenuti nei campi dimostrativi e confermati dalla trasferibilità, sottolineano la notevole riduzione di emissioni di ammoniaca quando viene introdotta la fertirrigazione, senza diminuzione delle rese. Comparando le tecniche di riferimento, le riduzioni sono maggiori del 60% utilizzando i pivot, e del 90% utilizzando la fertirrigazione interrata a goccia.

Si può notare che questi risultati derivino da una combinazione di fattori. In particolare, se una quota di refluo viene distribuita in pre-semina, la tecnica utilizzata per tale distribuzione risulta fondamentale per ottenere il risultato. Possiamo notare dalla Figura 6.10, come distribuendo il 50% degli effluenti in pre-semina con una botte equipaggiata con piatto deviatore, ed il restante 50% tramite fertirrigazione, si può ottenere una mitigazione delle emissioni di ammoniaca, ma i risultati ottenibili comparati alla tecnica tradizionale sono relativamente bassi (37-40%).

L'incorporazione dell'intera dose di effluente in pre-semina, è risultata efficiente, permettendo di ridurre le emissioni del 60-70%. Questo risultato è inferiore a quanto previsto, probabilmente a causa dell'elevata dose di effluente distribuita in un solo evento. Inoltre, è necessario tener conto che l'incorporazione è stata effettuata in giugno, con elevate temperature, favorendo così l'emissione di ammoniaca.

Un efficace contenimento delle emissioni è stato raggiunto tramite l'utilizzo esclusivo della fertirrigazione per distribuire l'effluente. Comunque, nelle condizioni Italiane, questa soluzione non è sempre fattibile, specialmente quando il mais è seminato dopo un cereale vermino, con una stagione irrigua di limitata durata. In ogni caso anche distribuendo il 50% dell'azoto in pre-semina con adeguate tecniche e il 50% tramite fertirrigazione si può ottenere una riduzione delle emissioni del 70% rispetto alla tecnica tradizionale.

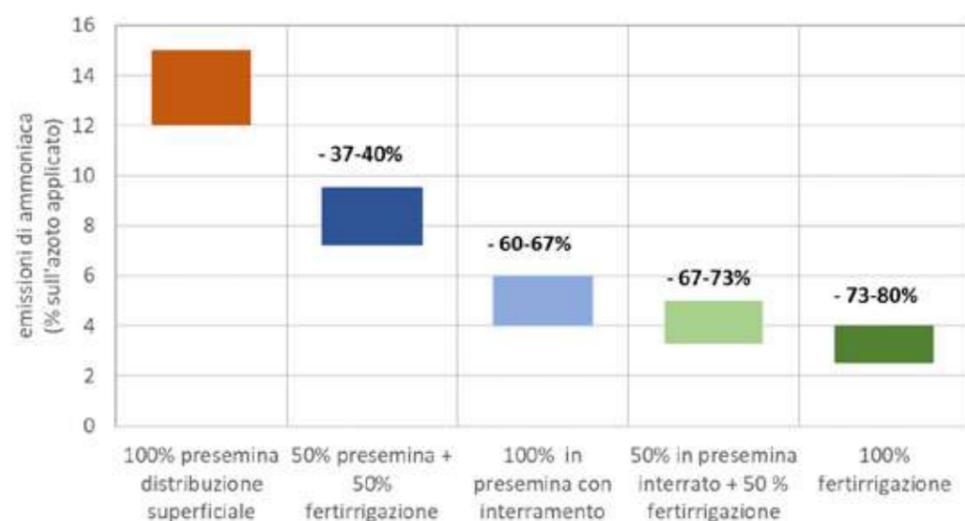


Figura 6.10. Emissioni di ammoniaca previste con l'applicazione di diverse tecniche e diversa ripartizione dell'applicazione tra pre-semina e fertirrigazione.

Considerando la possibilità di incrementare l'efficienza dell'utilizzo dell'azoto, espresso come la media tra l'azoto asportato ed applicato alle colture (NUE), la fertirrigazione conferma i risultati attesi, benché in Italia, l'incremento della NUE rispetto al sistema controllo non superi il 50%. Ciò avviene per due ragioni. La prima riguarda l'eccessivo quantitativo di azoto fornito alle colture, basato sulle tradizionali pratiche agricole, che non permette di essere utilizzato interamente da parte delle stesse. Una seconda ragione riguarda la composizione del digestato utilizzato durante le prove.

La percentuale di azoto organico presente nel digestato era del 30-35%, anche dopo il trattamento di filtrazione utilizzato per la fertirrigazione. Ciò implica che il quantitativo di azoto deve essere prima mineralizzato nel suolo per poi essere reso disponibile per le colture. Il processo di mineralizzazione è lento, perciò questa quota di azoto non viene completamente utilizzata durante la breve stagione di crescita del mais. È stato stimato che, utilizzando dosaggi appropriati di nutrienti e utilizzando una corretta applicazione combinata tramite concimazione pre-semina e distribuzione in copertura, la NUE potrebbe incrementare del 40% rispetto alla tecnica controllo.

In ogni caso, la fertirrigazione, per poter essere adottata in ogni singola azienda deve essere progettata in relazione alle caratteristiche del prodotto utilizzato (liquame o digestato) ed al sistema di irrigazione adottato (a goccia o per aspersione in bassa pressione).

Particolare attenzione va dedicata al trasporto del digestato o del liquame filtrato, in quanto l'operazione può contaminare il prodotto, ed in alcuni casi causare l'aggregazione dei solidi, causando complicazioni nelle fasi successive, specialmente utilizzando il sistema a goccia.

Per ottenere risultati agronomici ed ambientali soddisfacenti, la gestione della fertirrigazione deve essere accorta, e svolta in maniera appropriata per poter esplicitare al massimo il potenziale delle attrezzature utilizzate per l'operazione.

Gli appezzamenti coinvolti possono variare in blocchi da 2 a 10 ha per la fertirrigazione a goccia, oppure possono estendersi fino a 60 ha per la fertirrigazione con pivot. Nel dimensionamento di un sistema di separazione del digestato, la priorità deve essere quella di assicurare la necessaria rimozione dei solidi a causa delle possibili ostruzioni al sistema di irrigazione. Analizzando le caratteristiche dei sistemi di separazione testati nel progetto, è stato possibile notare le seguenti considerazioni:

- La fertirrigazione a goccia necessita di una maggiore filtrazione, in quanto i gocciolatori permettono il passaggio di particelle inferiori ai 200 µm.
- Il pivot, tramite ugelli di 2 mm, permette una filtrazione a maglie più larghe, fino a 500 µm.

Utilizzando queste modalità di separazione, è stato osservato che rimane un alto contenuto di solidi nella frazione liquida, ma sempre con particelle di dimensio-

ni inferiori a quelle che potrebbero causare ostruzioni per gocciolatori e ugelli. Un altro aspetto da considerare per un'efficiente fertirrigazione è quello di mantenere un'adeguata diluizione compatibilmente con le tecniche di coltivazione. Il rapporto di diluizione può variare dal 3 al 10% per la fertirrigazione a goccia e dal 5 fino al 20% per la fertirrigazione con pivot.

Nei terreni dimostrativi, le pratiche adottate hanno evidenziato indicazioni gestionali in relazione a:

- Il miglioramento dei tempi di irrigazione, specialmente per piccoli appezzamenti
- La distribuzione puntuale di acqua e nutrienti durante il periodo vegetativo
- L'effettivo miglioramento nell'uso del digestato e il minor utilizzo di concime minerale
- La possibilità di distribuire digestato per un lungo periodo di tempo

D'altro canto, alcuni aspetti possono essere considerati punti deboli come:

- La necessità di risorse umane dedicate
- La necessità di provvedere ad un'automatizzazione delle operazioni per rendere la tecnica più efficiente

È comunque evidente come una gestione virtuosa del digestato unitamente ad una corretta gestione delle risorse idriche, in merito alla riduzione di emissioni di ammoniaca, può contribuire allo sviluppo delle condizioni agronomiche tipiche della Pianura Padana.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ERSAF, 2011. Valutazione Ambientale Strategica del Programma d'Azione regionale per la tutela e risanamento delle acque dall'inquinamento causato da nitrati di origine agricola per le aziende lo calizzate in zona vulnerabile.

Regione Lombardia, 2015. L'Agricoltura lombarda conta – 2014.

# 7

## L' ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA) DELLA FERTIRRIGAZIONE NEL BACINO DEL MEDITERRANEO

JACOPO BACENETTI  
GIORGIO PROVOLO  
EVA HERRERO  
DOLORES QUÍLEZ  
GIACOMO RUFFINI  
GIAMBATTISTA MERIGO



### 7.1 INTRODUZIONE E METODOLOGIA

L'analisi del ciclo di vita (LCA) è stata utilizzata per stimare l'impatto ambientale della produzione di mais seguendo lo standard ISO 14040/44 con metodologia (ISO 14040, 2006) e le linee guida EPD sviluppate per i seminativi (Environdec, 2014).

#### 7.1.1 OBIETTIVO DELL'ANALISI E SCELTA DELL'UNITÀ FUNZIONALE

L'obiettivo di questa analisi è quello di valutare l'impatto ambientale della coltivazione di mais considerando le tecniche irrigue e fertirrigue. A questo scopo, sono state svolte delle prove sperimentali in Italia (in Lombardia, nelle province di Cremona e Mantova) e nel nord-est della Spagna (in Aragona, nelle province di Cinco Villas e La Litera).

L'unità funzionale (FU) utilizzata come unità di riferimento in un'analisi LCA (ISO 14040, 2006), consiste nella resa produttiva di un sistema. Benché possano essere utilizzate diverse unità funzionali, come ad esempio la dimensione degli appezzamenti, l'unità funzionale basata sulla massa prodotta, è ampiamente la più utilizzata per analisi LCA nei sistemi agricoli (Fedele et al., 2014; Notarnicola et al., 2015).

In questo studio, sono state scelte due differenti FU:

- 1 tonnellata di sostanza secca di insilato di mais per gli scenari italiani esaminati, dove la coltivazione è principalmente dedicata alla produzione di mais insilato.
- 1 tonnellata di granella di mais (con tenore di umidità commerciale) per gli scenari spagnoli esaminati, dove la coltivazione è principalmente dedicata alla produzione di granella.

Foto 7.1. Sistema di irrigazione con Pivot utilizzato per la fertirrigazione con la frazione liquida del digestato in Lombardia (Italia).

## 7.1.2 DESCRIZIONE DELLE TECNICHE DI COLTIVAZIONE

Sono stati individuati degli scenari standardizzati rappresentativi delle pratiche agricole comuni in Aragona (Spagna) e in Lombardia (Italia) che non corrispondono a nessun campo dimostrativo specifico. Sono state testate in entrambe le aree due diverse tecniche fertirrigue, quella con pivot (Figura 7.1) e quella a goccia (Figura 7.2) e sono stati analizzati sette scenari (Tabella 7.1):

- Quattro scenari in Italia: uno scenario di riferimento con irrigazione a pivot (IT-PR) comparato ad uno scenario fertirriguo con irrigazione più

fertirrigazione con pivot (IT-PF); uno scenario di riferimento con irrigazione a goccia (IT-DR) comparato ad uno scenario fertirriguo con irrigazione più fertirrigazione a goccia (IT-DF).

- Tre scenari in Spagna: uno di riferimento (ES-R) e due diversi scenari fertirrigui nei quali l'irrigazione è avvenuta in uno con pivot (ES-PF) e nell'altro con sistema a goccia (ES-DF). In questi tre scenari, l'acqua è stata gestita collettivamente da un consorzio irriguo.

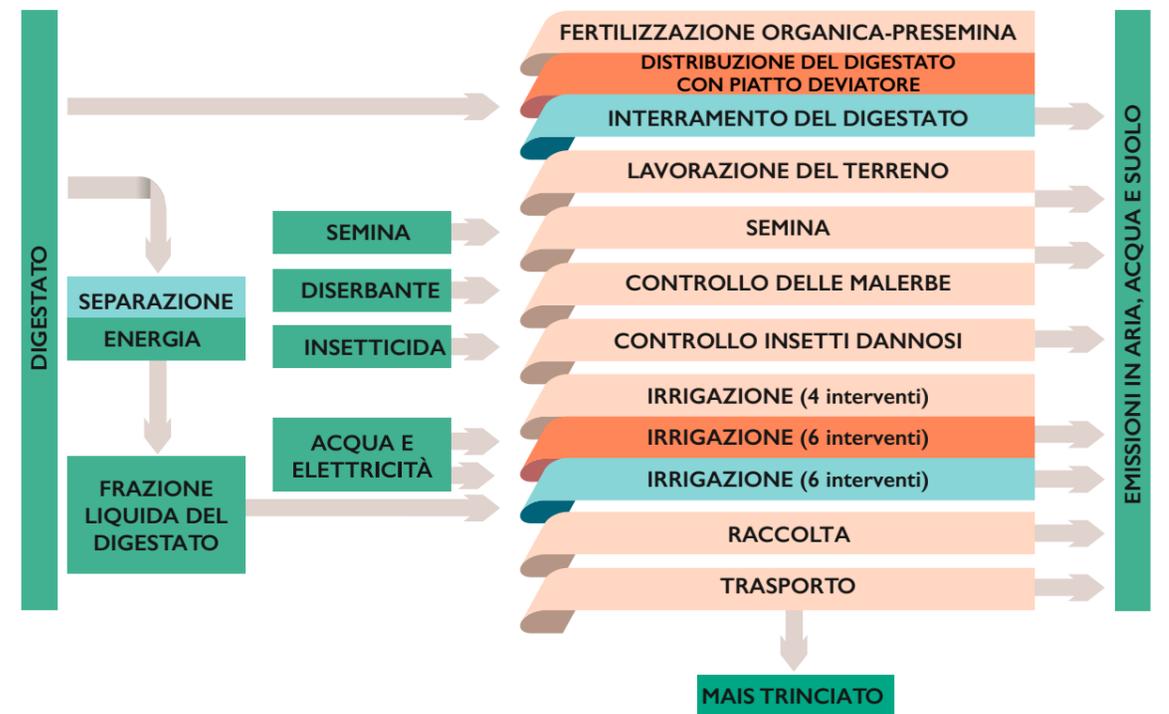
Tabella 7.1. Scenari agricoli considerati nell'analisi LCA del progetto LIFE ARIMEDA.

Paese	Concimazione pre-semina	Concimazione in copertura	Sistema di irrigazione	Fertirrigazione	Scenario
Italia	Digestato/distribuzione superficiale	nessuna	Pivot	No	IT-PR
	Digestato/iniezione	Frazione liquida Digestato/ fertirrigazione	Pivot	Si	IT-PF
	Digestato/distribuzione superficiale	nessuna	Irrigazione a goccia	No	IT-DR
	Digestato/iniezione	Frazione liquida Digestato/ fertirrigazione	Irrigazione a goccia	Si	IT-DF
Spagna	Liquame suino/ distribuzione superficiale	Distribuzione superficiale concime minerale	Sistema di irrigazione centralizzato	No	ES-R
	No concimazione N, solo P	Frazione liquida di liquame suino	Sistema di irrigazione centralizzato con Pivot	Si	ES-PF
	No concimazione N, solo P	Frazione liquida di liquame suino	Centralizzato con ali gocciolanti interrato	Si	ES-DF

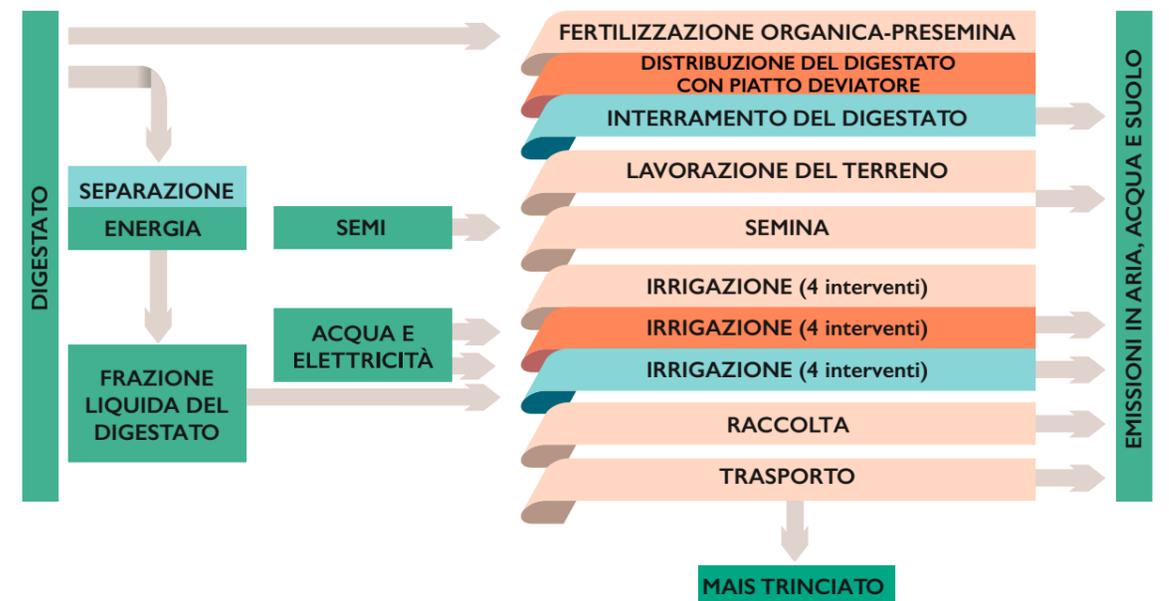
## 7.1.3 CONFINI DEL SISTEMA

È stato adottato il sistema di analisi "dalla culla al cancello". I confini del sistema includono tutte le operazioni svolte, dalla distribuzione pre-semina dei fertilizzanti organici alla lavorazione del terreno fino alla raccolta e trasporto delle biomasse: mais trinciato in Italia (Figura 7.1) e granella di mais in Spagna (Figura 7.2). Sono state incluse le seguenti attività: estrazione di materie prime (es. combustibili fossili), produzione dei fattori di produzione agricoli (es. sementi, concimi, pesticidi e macchinari agricoli), produzione di energia (es. elettricità per le irrigazioni), utilizzo di fattori di produzione agricoli (emissione dei concimi, dei pesticidi, del carburante e usura degli pneumatici), oltre che manutenzione, smaltimento e fornitura delle attrezzature agricole.

### PIVOT

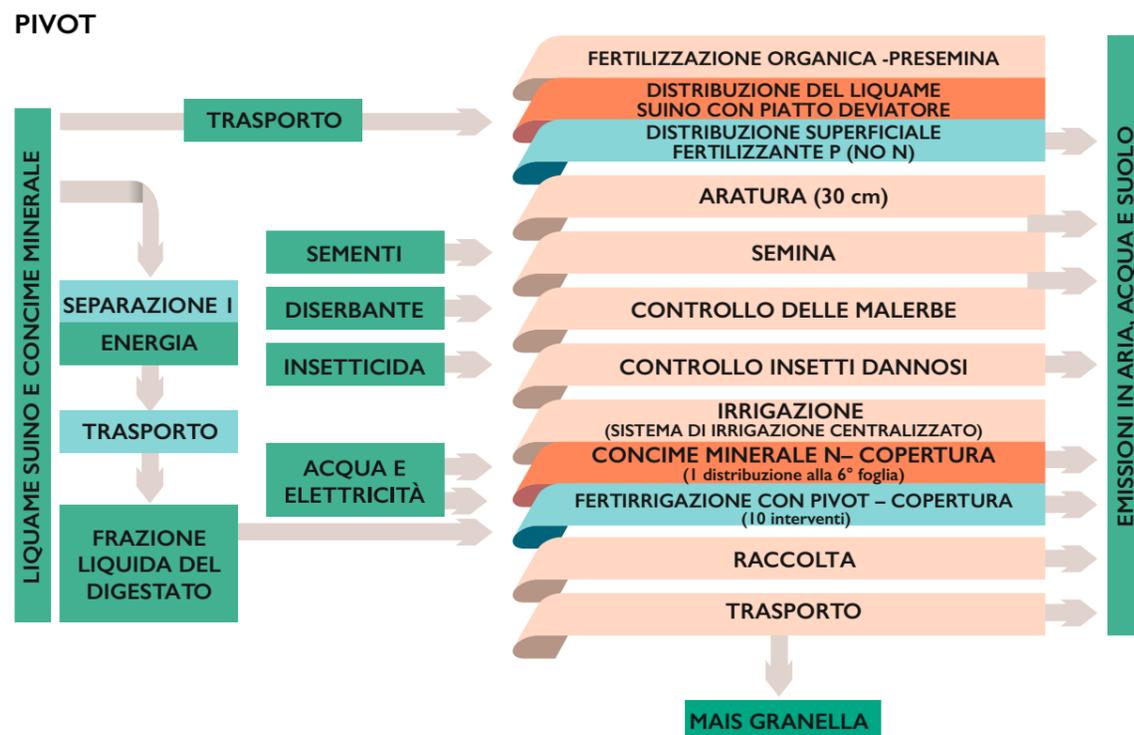


### IRRIGAZIONE A GOCCIA



- Inputs/outputs comuni ai due scenari
- Operazioni in comune
- Operazioni specifiche per gli scenari di riferimento
- Operazioni specifiche per lo scenario della fertirrigazione

Figura 7.1. Confini del sistema per le due tecniche di coltivazione in Italia.



- Inputs/outputs comuni ai due scenari
- Operazioni in comune
- Operazioni specifiche per gli scenari di riferimento
- Operazioni specifiche per lo scenario della fertirrigazione

Figura 7.2. Confini del Sistema per le due tecniche di coltivazione in Spagna.

In merito al trattamento dei fertilizzanti organici (digestato in Italia e liquame suino in Spagna), sono stati considerati oltre al consumo di elettricità, i materiali necessari per l'assemblaggio dei prototipi di separazione. Infine non sono stati considerati impatti per i fertilizzanti organici utilizzati, in quanto prodotti di scarto dell'attività zootecnica.

Considerando che l'obiettivo dell'analisi LCA è un confronto (per valutare la variazione dell'impatto delle diverse tecniche – irrigazione vs. fertirrigazione), l'impatto della costruzione dei pivot e dei sistemi irrigui a goccia non è stato considerato. Questa esclusione influisce leggermente sui risultati in termini assoluti, ma siccome l'utilizzo dei pivot e dei sistemi di irrigazione a goccia è il medesimo sia negli scenari di riferimento che negli scenari fertirrigui, ciò non influenza le relative comparazioni e le considerazioni generali.

È stato assunto che nelle due regioni oggetto di studio, i cereali vengano coltivati da molti anni (>30 anni). Conseguentemente, si è supposto che il contenuto di carbonio nel suolo sia in equilibrio, e perciò non sono stati considerati cambiamenti nel contenuto di carbonio nel suolo (Environdec, 2014).

## 7.1.4 RACCOLTA DATI

L'inventario dei dati dell'analisi del ciclo di vita (LCAI) è stato realizzato utilizzando sia dati primari che secondari. I dati primari sono stati raccolti direttamente tramite sondaggi, rilievi in campo ed interviste agli agricoltori, mentre i dati secondari sono stati stimati utilizzando modelli di emissioni o ricavati dalla letteratura e/o database.

I dati primari inerenti le tecniche di coltivazione, le operazioni colturali ed il valore dei diversi fattori di produzione (es. sementi, carburante, concimi, pesticidi, elettricità) sono stati rilevati durante lo svolgimento delle prove sperimentali. Le informazioni in merito ai macchinari (trattrici agricole, macchine operatrici e macchine per la raccolta) come la massa, la potenza, le ore di lavoro e la capacità di lavoro sono state fornite dagli agricoltori.

Riguardo alle emissioni legate alla fertilizzazione, le emissioni di  $NH_3$  sono state misurate tramite campionatori passivi (CEH ALPHA® samplers) e valutate tramite l'utilizzo del software WindTrax, come riportato nel Capitolo 4. Per gli scenari Italiani, le emissioni considerate sono del 3%, 5% e 12%, mentre quelle per gli scenari Spagnoli sono del 3%, 8% e 25% del totale dell'N applicato rispettivamente per la fertirrigazione a goccia, con pivot e scenari di riferimento.

Le emissioni degli altri composti azotati ( $N_2O$ ,  $NO_3^-$ ) sono state valutate in accordo con quanto proposto dal modello di Brentrup et al. (2000). Questo modello si basa sull'equilibrio dell'azoto tra (i) l'apporto derivante dall'applicazione di fertilizzanti, dalla quota resa disponibile dalla mineralizzazione dei residui colturali e dalla deposizione atmosferica e (ii) l'asportazione in base al contenuto di azoto nella biomassa raccolta. La lisciviazione di  $NO_3^-$  è stata valutata considerando le caratteristiche del suolo, le precipitazioni e l'azoto disponibile nel suolo dopo la volatilizzazione dell'ammoniaca, la denitrificazione e l'asportazione dei raccolti.

Le emissioni di fosfato sono state valutate seguendo Prahsun (2006) e Nemecek and Kági (2007); più dettagliatamente, le due differenti emissioni di fosfato in acqua considerate sono:

- Lisciviazione in acque di falda calcolate usando un fattore di  $0.070 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{anno}^{-1}$
- Scorrimento in acque superficiali valutato considerando  $0.175 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{anno}^{-1}$  come fattore di emissione.

In seguito alla scarsità di dati in merito alle emissioni di fosfato in acque superficiali dovute all'erosione di suolo, queste non sono state incluse.

Le emissioni relative all'applicazione di pesticidi sono state considerate in accordo con le regole di categoria di prodotto (Product Category Rules –PCR) per i seminativi (Environdec, 2014) (rilasciate al 100% nel terreno).

I dati di base per la produzione delle sementi, carburanti, concimi, pesticidi, trattrici e macchinari agricoli sono stati ricavati da Ecoinvent® Database v.3.6.

## 7.1.5 IMPATTO DEL CICLO DI VITA (LCIA)

Gli impatti ambientali sono stati stimati utilizzando il metodo integrato raccomandato dall' International Reference Life Cycle Data System (ILCD) (Wolf et al., 2012). Sono stati considerati i seguenti impatti: cambiamento climatico (CC), riduzione dello strato di ozono (OD), emissione di particolato (PM), tossicità umana con effetti cancerogeni (HTc), tossicità umana senza effetti cancerogeni (HTnoc), formazione di ozono fotochimico (POF), acidificazione terrestre (TA), eutrofizzazione terrestre (TE), eutrofizzazione delle acque dolci (FE), eutrofizzazione marina (ME), ecotossicità delle acque dolci (FEx), consumo di risorse non rinnovabili (MFRD).

## 7.2 RISULTATI

### 7.2.1 L'ANALISI LCA DELLA FERTIRRIGAZIONE CON DIGESTATO IN ITALIA

L'analisi dei contributi per gli scenari italiani è riportata nella Tabella 7.2. Le differenze negli impatti tra gli scenari di riferimento e gli scenari fertirrigui sono presentate nella Figura 7.3.

L'analisi dei contributi mostra risultati simili tra tutti gli scenari valutati anche quando gli scenari sono tra loro diversi. In particolare, la principale differenza riguarda la presenza dei separatori solido-liquido, nelle fertirrigazioni con pivot (IT-PF) e negli scenari con sistemi ad ali gocciolanti (IT-DF). La costruzione dei separatori influisce principalmente sulla tossicità umana con effetti cancerogeni (HTc) con il 16-19% dell'impatto totale, sull'ecotossicità delle acque dolci (FEx) con una percentuale dal 3 al 13% dell'impatto totale, e sul consumo di risorse non rinnovabili con un valore da 6 a 8% sul totale dell'impatto.

Inoltre, riguardo l'ecotossicità delle acque dolci (FEx), nei sistemi con l'utilizzo di pivot (IT-PR and IT-PF), le emissioni dovute alla deriva dei pesticidi rappresentano di gran lunga la maggior parte dell'impatto, registrando valori tra 81 e 78%, mentre nell'irrigazione a goccia (IT-DR and IT-DF), i maggiori contributi alla categoria di impatto FEx sono relazionati ad irrigazione/fertirrigazione (elettricità, pompe e separatori). Di fatto, nell'irrigazione a goccia, la costruzione delle pompe usate per i sistemi ad ali gocciolanti gioca un ruolo rilevante nella categoria di impatto FEx (43-35%) e nella tossicità umana con effetti cancerogeni (approssimativamente 9%).

Tabella 7.2. Impatti ambientali assoluti per gli scenari italiani (espressi per 1 t di biomassa).

Categoria di Impatto	Unità	IT-PR	IT-PF	IT-DR	IT-DF
Cambiamento Climatico (CC)	kg CO <sub>2</sub> eq	201,0	171,9	219,6	194,1
Riduzione strato di Ozono (OD)	kg CFC-11 eq	9,11 x 10 <sup>-6</sup>	9,44 x 10 <sup>-6</sup>	1,10 x 10 <sup>-5</sup>	1,14 x 10 <sup>-5</sup>
Tossicità umana, senza effetti cancerogeni (HT-noc)	CTUh	7,43 x 10 <sup>-5</sup>	7,55 x 10 <sup>-5</sup>	5,88 x 10 <sup>-5</sup>	5,91 x 10 <sup>-5</sup>
Tossicità umana, con effetti cancerogeni (HT-c)	CTUh	2,40 x 10 <sup>-6</sup>	2,88 x 10 <sup>-6</sup>	3,15 x 10 <sup>-6</sup>	3,90 x 10 <sup>-6</sup>
Emissione di particolato (PM)	kg PM <sub>2,5</sub>	0,297	0,111	0,299	0,081
Formazione di ozono fotochimico (POF)	kg NMVOC eq	0,492	0,494	0,477	0,477
Acidificazione (TA)	molc H <sup>+</sup> eq	12,49	4,04	12,53	2,56
Eutrofizzazione Terrestre (TE)	molc N eq	55,42	17,62	55,40	10,82
Eutrofizzazione delle acque dolci (FE)	g P eq	42,12	42,74	49,95	50,94
Eutrofizzazione Marina (ME)	kg N eq	10,96	5,98	10,95	6,38
Ecotossicità delle acque dolci (FEx)	CTUe	3626	3811	1152	1409
Consumo di risorse non rinnovabili(MFRD)	g Sb eq	1,50	1,72	1,54	1,80

CFC: Clorofluorocarburi; CTUh: Unità di tossicità comparative per l'uomo; PM<sub>2.5</sub>: particolato (<2.5 µm); NMVOC: Composti organici volatili non metanigeni; CTUe: Unità di tossicità comparativa per l'ecotossicità acquatica

Le analisi dei contributi delle diverse operazioni mostrano che:

- La meccanizzazione delle operazioni colturali è responsabile per la maggior parte della categoria di impatto ambientale del consumo dello strato di ozono (OD). L'impatto dei pivot (IT-PR, IT-PF) contribuisce approssimativamente per il 74%, mentre l'impatto è inferiore nell'irrigazione a goccia con il 43% e 41% rispettivamente per IT-DR e IT-DF. Le operazioni colturali sono anche le principali responsabili per la tossicità umana senza effetti cancerogeni (oltre il 90% negli scenari con pivot e 81-83% negli scenari con ali gocciolanti), formazione di ozono fotochimico (approssimativamente il 90% nei pivot, e 76-78% con sistema a goccia), e il consumo di risorse non rinnovabili (86-83% negli scenari con pivot e 79-73% negli scenari con sistema a goccia). Infine, le operazioni colturali sono rilevanti anche per la categoria tossicità umana con effetti cancerogeni (69-56% con pivot e 42-33% con ali gocciolanti).

- Il consumo di elettricità, in generale, esercita impatti maggiori nell'irrigazione a goccia (sia IT-DR che IT-DF) rispetto all'irrigazione con pivot. Negli scenari con pivot (IT-PF e IT-PR), esso non eccede mai il 15% in nessuna delle categorie considerate, ad eccezione della riduzione dello strato di ozono (approssimativamente 20% in entrambi gli scenari), mentre nell'irrigazione a goccia (IT-DR e IT-DF), il consumo di energia è la principale causa che determina la riduzione dello strato di ozono (56-58%) ed è rilevante nella tossicità umana con effetti cancerogeni (47-40%), nell'eutrofizzazione delle acque dolci (approssimativamente 25% per entrambi gli scenari), nell'ecotossicità delle acque dolci (33-29%) e cambiamento climatico (22-23%).
- Per tutti gli scenari, le emissioni di composti di N e P sono i principali fattori responsabili per il cambiamento climatico (approssimativamente 60-70%), maggiormente dovuto all'emissione di protossido di azoto; invece, le emissioni di ammoniaca sono le principali responsabili dell'emissione di particolato (da 60 a 90%); acidificazione terrestre (80-96%); eutrofizzazione terrestre (83-96%); ed eutrofizzazione delle acque dolci (78-65%). Benché queste emissioni siano principalmente responsabili per la formazione di particolato, acidificazione terrestre ed eutrofizzazione delle acque dolci in entrambi gli scenari, sia di riferimento, sia fertirrigui, la riduzione delle emissioni di ammoniaca legate all'adozione della fertirrigazione può essere ottenuta con un loro minor contributo relativo. Infine, l'eutrofizzazione marina (non meno del 95%) è principalmente associata con la lisciviazione dei nitrati.

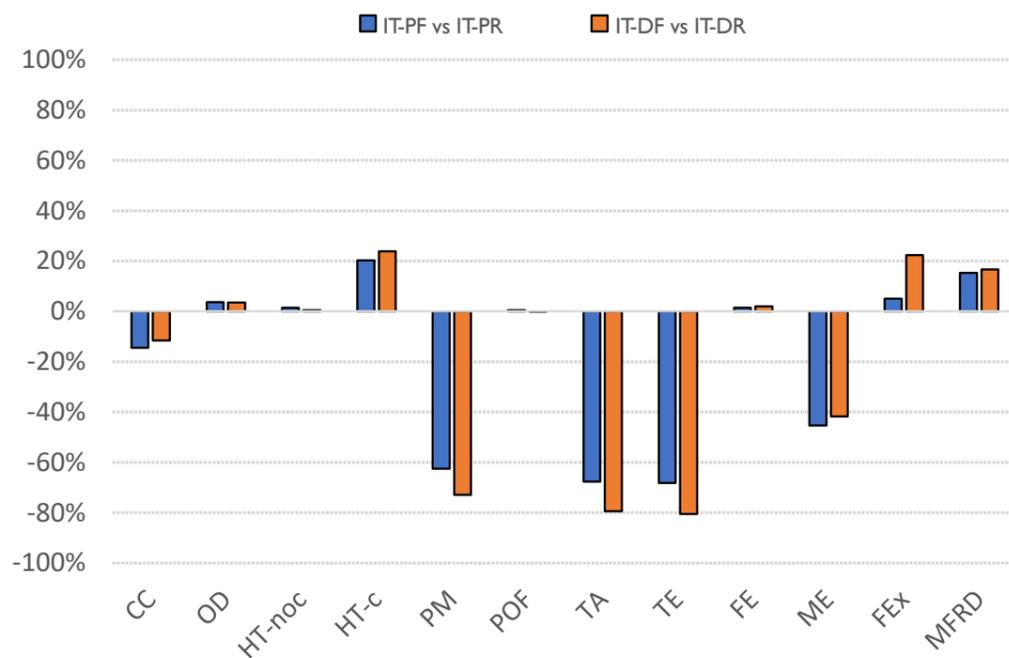


Figura 7.3. Differenze degli impatti tra gli scenari fertirrigui e scenari di riferimento utilizzando digestato, in Italia.

Confrontando gli scenari di riferimento con i corrispettivi scenari di fertirrigazione, i risultati del confronto non sono univoci: non c'è uno scenario migliore di tutti gli altri per tutte le categorie di impatto considerate (Figura 7.3). Si possono comunque evidenziare gli effetti della fertirrigazione nelle varie categorie di impatto. Per i sistemi con pivot, lo scenario con fertirrigazione (IT-PF) ha una performance ambientale migliore rispetto

allo scenario (IT-PR) per 5 delle 12 categorie di impatto valutate. Le riduzioni degli impatti sono maggiori per le categorie di impatto più legate all'emissione di ammoniaca (formazione di particolato 62.5%; acidificazione terrestre, 67.7%; ed eutrofizzazione terrestre, 68.8%). Per le rimanenti 7 categorie di impatto, si riscontrano incrementi di impatto da 0,5 a 20%, dove gli incrementi più alti sugli impatti si verificano per quei casi dove il ruolo della separazione unitamente all'elettricità per la fertirrigazione sono più rilevanti (tossicità umana con effetti cancerogeni e consumo di risorse non rinnovabili). Conclusioni simili si evidenziano confrontando IT-DR e IT-DP ad eccezione dell'ecotossicità nelle acque dolci, dove l'incremento dell'impatto relativo all'utilizzo del separatore richiesto per la fertirrigazione è più alto. Tuttavia, si può notare che si tratta di un valore relativo e gli incrementi degli impatti assoluti dei due scenari sono simili.

## 7.2.2 L'ANALISI DEL CICLO DI VITA DELLA FERTIRRIGAZIONE CON LIQUAME SUINO IN SPAGNA

Gli scenari spagnoli sono confrontati nella Figura 7.4. Il contributo delle analisi mostra risultati simili a quelli degli scenari italiani. In particolare, l'emissione di composti di N e P è il principale fattore responsabile in tutti gli scenari per quanto riguarda la formazione di particolato, l'acidificazione terrestre, l'eutrofizzazione terrestre, l'eutrofizzazione delle acque dolci (dovuta all'emissione di ammoniaca), l'eutrofizzazione marina (dovuta alla lisciviazione di nitrati) e al cambiamento climatico (dovuto al protossido di azoto). Il contributo



Foto 7.2. Sistema di irrigazione a goccia utilizzato per la fertirrigazione con la frazione liquida del liquame suino in Cinco Villas (Aragona, Spagna).

delle emissioni di ammoniaca è più alto negli scenari di controllo e decresce nei due scenari fertirrigui come risultato dell'applicazione della tecnica della fertirrigazione. Le azioni degli impatti relativi alla costruzione dei separatori eccedono del 10% per tre categorie di impatto nel caso dell'irrigazione con pivot (tossicità umana con effetti cancerogeni, ecotossicità delle acque dolci e consumo di risorse non rinnovabili) e per cinque (categorie relative alla tossicità, PM e MFRD) nel caso di irrigazione a goccia.

Il contributo del separatore, relativamente ai materiali consumati per la sua costruzione, è più alto in ES-DF, dove il sistema a goccia viene utilizzato sia per l'irrigazione che per la fertirrigazione. Questo contributo più alto è dovuto alla necessità di avere due separatori che lavorano in sequenza per permettere la fertirrigazione a goccia.

Entrambi gli scenari fertirrigui permettono una migliore gestione e regolazione del quantitativo di azoto applicato e di conseguenza una minore necessità di utilizzo di concimi minerali azotati. Ciò si traduce in benefici nelle categorie di impatto del cambiamento climatico, tossicità umana con effetti cancerogeni, ecotossicità delle acque dolci, e consumo di risorse non rinnovabili, che sono quelle categorie di impatto dove gli impatti legati al consumo di N sono più alti (rispettivamente il 13.7%, 14.6%, 30.4% e 14.9%).

Riguardo i confronti tra i differenti scenari, si può sottolineare che:

- per 8 delle 12 categorie di impatto considerate, lo scenario di controllo (ES-R) mostra un impatto più elevato. La riduzione dell'impatto ottenuto grazie alla fertirrigazione si attesta tra il 2-10% per formazione di ozono fotochimico e per il cambiamento climatico. Tra il 68-89% per quegli impatti fortemente legati alle emissioni di ammoniaca (quindi formazione di particolato, acidificazione terrestre ed eutrofizzazione terrestre). In merito al cambiamento climatico, la riduzione dell'impatto (approssimativamente 10% per i due scenari fertirrigui) è legata alla minore emissione di protossido di azoto. Per le categorie della formazione di particolato, acidificazione ed eutrofizzazione terrestre, tra i due scenari fertirrigui, le più alte riduzioni di impatto sono ottenute tramite il sistema a goccia (ES-DF) grazie ad una più alta riduzione delle emissioni di ammoniaca rispetto al pivot.
- per le restanti 4 categorie di impatto (tossicità umana con effetti cancerogeni, eutrofizzazione delle acque dolci, ecotossicità delle acque dolci e consumo di risorse non rinnovabili), gli scenari fertirrigui mostrano livelli più elevati rispetto agli scenari di controllo, quindi un più alto livello di impatto per queste 4 categorie. L'incremento degli impatti in questi scenari fertirrigui rispetto agli scenari controllo è considerevole (>70%) per la tossicità umana con effetti cancerogeni, eutrofizzazione delle acque dolci e consumo di risorse non rinnovabili (principalmente dovuto al consumo di metallo per la produzione dei separatori e dei sistemi di iniezione per la fertirrigazione). Gli incrementi sono inferiori (approssimativamente del 6.5%) per l'eutrofizzazione delle acque dolci.
- tra i due scenari fertirrigui, il sistema a goccia permette di ottenere dei risultati migliori per le seguenti categorie di impatto: cambiamento climatico, riduzione dello strato di ozono, tossicità umana senza effetti cancerogeni, formazione di particolato, acidificazione terrestre ed eutrofizzazione terrestre, dove il controllo (ES-R) è lo scenario peggiore. Al contrario, eccetto l'eutrofizzazione marina, il sistema a goccia dimostra più alti livelli di impatto rispetto al pivot per le rimanenti categorie (tossicità umana con effetti cancerogeni, eutrofizzazione delle acque dolci, ecotossicità delle acque dolci e consumo di risorse non rinnovabili), dove la fertirrigazione è lo scenario peggiore.

Il confronto tra lo scenario di controllo e quello fertirriguo sottolinea dei compromessi tra le varie categorie di impatto analizzate. Le soluzioni fertirrigue migliorano considerevolmente le performance ambientali grazie alle ridotte emissioni di ammoniaca e alla sostituzione del concime minerale, tuttavia generano degli aumenti da non sottovalutare nella tossicità umana con effetti cancerogeni, ecotossicità delle acque dolci e consumo di risorse non rinnovabili.

Tabella 7.3. Impatti ambientali assoluti per gli scenari spagnoli (espressi per 1 t di granella di mais con tenore umidità commerciale, 14%).

Categorie di impatto	Unità	ES-R	ES-P	ES-D
Cambiamento Climatico (CC)	kg CO <sub>2</sub> eq	235,2	211,1	210,2
Riduzione strato di Ozono (OD)	kg CFC-11	2,24 x 10 <sup>-05</sup>	1,71 x 10 <sup>-05</sup>	1,58 x 10 <sup>-05</sup>
Tossicità umana, senza effetti cancerogeni (HT-noc)	CTUh	1,05 x 10 <sup>-04</sup>	9,46 x 10 <sup>-05</sup>	9,32 x 10 <sup>-05</sup>
Tossicità umana, con effetti cancerogeni (HT-c)	CTUh	5,99 x 10 <sup>-06</sup>	1,07 x 10 <sup>-05</sup>	1,30 x 10 <sup>-05</sup>
Emissione di particolato (PM)	kg PM2,5	0,590	0,203	0,131
Formazione di ozono fotochimico (POF)	kg NMVOC eq	0,609	0,601	0,557
Acidificazione (TA)	molc H <sup>+</sup>	21,98	6,21	2,88
Eutrofizzazione Terrestre (TE)	molc N eq	96,52	25,61	10,80
Eutrofizzazione delle acque dolci (FE)	g P eq	97,56	103,60	103,96
Eutrofizzazione Marina (ME)	kg N eq	2,56	1,37	2,06
Ecotossicità delle acque dolci (FEx)	CTUe	2366	4195	4199
Consumo di risorse non rinnovabili(MFRD)	g Sb eq	3,627	6,433	6,697

CFC: Clorofluorocarburi; CTUh: Unità di tossicità comparativa per l'uomo; PM2.5: particolato (<2.5 µm); NMVOC: Composti organici volatili non metanigeni; CTUe: Unità di tossicità comparativa per l'ecotossicità acquatica.

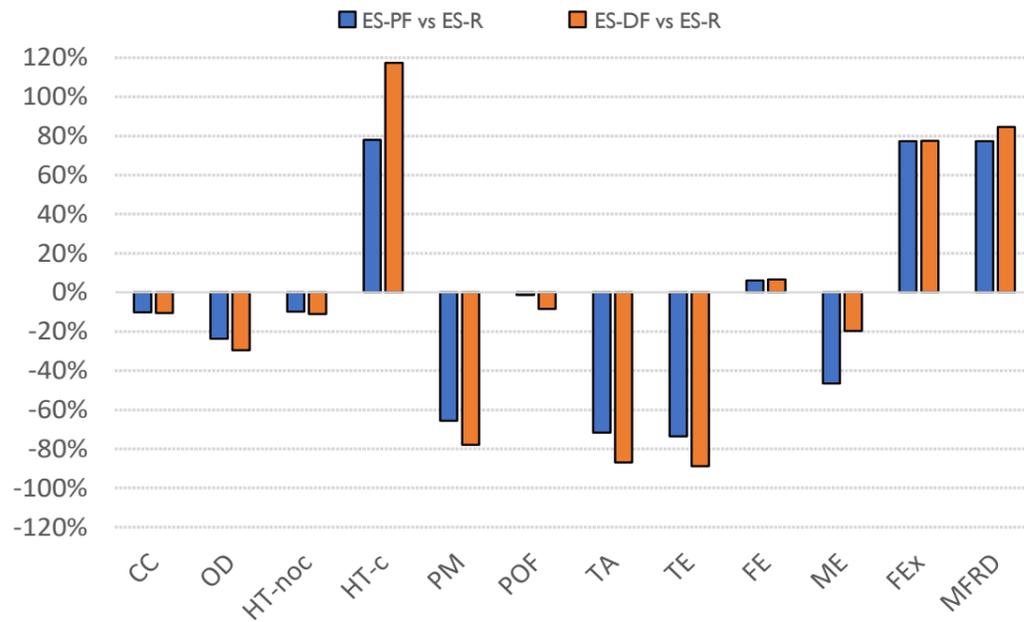


Figura 7.4. Differenze degli impatti tra gli scenari fertirrigui e gli scenari di controllo utilizzando liquame suino, in Spagna.

## 7.4 CONCLUSIONI

Le emissioni di ammoniaca sono profondamente influenzate dalle tecniche di distribuzione del digestato e del liquame suino; di conseguenza, l'acidificazione, l'eutrofizzazione terrestre e le emissioni di particolato sono le categorie di impatto che esplicitano le più grandi differenze tra i due scenari.

Come previsto, la riduzione delle perdite di ammoniaca comporta una considerevole riduzione dell'impatto ambientale ad essa associato. Benché il cambiamento climatico (impronta di carbonio) sia l'indicatore di impatto più conosciuto, le riduzioni della formazione di particolato, l'acidificazione dei suoli ed alcune delle diverse tipologie di eutrofizzazione, sono degne di nota per contesti come la pianura padana in Lombardia (Italia) e la valle dell'Ebro in Aragona (Spagna).

I risultati di questa LCA possono essere utili non solo per i tecnici, allevatori e le rispettive associazioni, al fine di identificare le tecniche fertirrigue più performanti, ma anche per gli enti pubblici e le regioni coinvolte nell'identificare gli strumenti di sussidio della PAC. Sono infatti necessarie valutazioni dettagliate sulle prestazioni ambientali delle diverse tecniche fertirrigue, per indirizzare l'applicazione dei fertilizzanti organici verso una gestione più sostenibile.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 5, 349–357.

Fedele, A., Mazzi, A., Niero, M., Zuliani, F., Scipioni, A., 2014. Can the Life Cycle Assessment methodology be adopted to support a single farm on its environmental impacts forecast evaluation between conventional and organic production? An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 69, 49-59.

Environdec, 2020. Product category rules (PCR). Arable and vegetable crops. PCR 2020:07. Version 1.0. Valid until: 2024-12-07.

Nemecek, T., Kägi, T., 2007. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final reportecoinvent v2.0 No. 15a. Agroscope FAL Reckenholz and FAT Taenikon. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, Switzerland.

Notarnicola, B., Salomone, R., Petti, L., Renzulli, P. A., Roma, R., Cerutti, A. K. (Eds.). 2015. Life cycle assessment in the agri-food sector: case studies, methodological issues and best practices. Springer. ISBN: 978-3-319-11940-3

Prahsun, V., 2006. Erfassung der PO4-Austrage für die Okobilanzierung SALCA Phosphor. Agroscope Reckenholz – Tanikon ART, 1-20.

Wolf M.A., Pant R., Chomkamsri K., Sala S., Pennington D., 2012. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – Towards more sustainable production and consumption for a resource-efficient Europe. JRC Reference Report, EUR 24982 EN. European Commission – Joint Research Centre. Luxembourg. Publications Office of the European Union.

# 8

## ANALISI ECONOMICA DELLA FERTIRRIGAZIONE IN DIVERSI SCENARI

### 8.1 INTRODUZIONE

Non esiste un costo di mercato, né di riferimento per quantificare il valore economico del digestato e del liquame come fertilizzante per le colture, né per i prodotti (frazione solida e frazione liquida) ottenuti dopo un processo di separazione solido-liquido (Leip et al. 2019). Il valore di questi prodotti nel sistema agricolo dipende dalla casistica a livello locale, dalla domanda e dall'offerta, dalla presenza di aziende specializzate nella gestione di questi sottoprodotti come fertilizzanti, dai prezzi di mercato dei fertilizzanti sintetici e da altri fattori. Anche il rapporto tra zootecnia e allevatori agricoli e il modello di gestione ha un'influenza decisiva sull'analisi economica. Mentre in regioni come l'Aragona la specializzazione del settore agricolo e zootecnico si è evoluta verso modelli di tipo industrializzato favorendo uno scollamento tra le due attività, la proliferazione di impianti di digestione anaerobica in regioni come la Lombardia ha promosso un modello misto che combina impianti di digestione anaerobica con grandi aree agricole legate all'applicazione del digestato prodotto come fertilizzante delle colture.

Il valore del digestato e del liquame è solitamente stimato comparativamente, quando applicato a dosi agronomiche, in base alla sua capacità di sostituire i fertilizzanti minerali in termini di unità di fertilizzante. Generalmente si tiene conto solo del contenuto di N, meno frequentemente si considerano anche i contenuti di P e K e raramente il contenuto di altri micronutrienti o il contributo della sostanza organica alla fertilità del suolo. Questi tipi di benefici sono difficili da tradurre in termini economici, in quanto comportano analisi complesse ed effetti indiretti sulla qualità del suolo difficili da quantificare, ma che si ripercuotono sulla produttività delle colture.

L'analisi dei costi della fertirrigazione delle colture estensive (Foto 8.1), utilizzando la frazione liquida (FL) di liquame o digestato può essere suddivisa in tre processi: separazione solido-liquido in azienda, trasporto della FL (tramite tubazioni o con carribotte-autocisterne) e fertirrigazione degli appezzamenti. Nel caso di campi lontani dagli allevamenti o dagli impianti di digestione anaerobica, oltre al trasporto, sarà necessario implementare strutture di stoccaggio della FL in campo, con capacità tali da consentire una buona gestione.

Foto 8.1. Fertirrigazione con pivot. Campo dimostrativo del Progetto LIFE ARIMEDA (La Melusa, ES).



© Life Arimeda

**ARTURO DAUDÉN**  
**GIORGIO PROVOLO**  
**ANDREA GUIDETTI**  
**RAMÓN GEA**  
**DOLORES QUÍLEZ**  
**EVA HERRERO**

La situazione più favorevole, dal punto di vista economico, si ha quando un'azienda agricola ha i propri appezzamenti adiacenti al centro aziendale, poiché si evitano sia il trasporto che gli stoccaggi intermedi.

Il costo della fertirrigazione dipende da diversi fattori tutti determinanti, ovvero la concentrazione di N del prodotto, la superficie coltivata, il tipo di impianto di irrigazione e la distanza tra l'azienda e l'appezzamento (Tabella 8.1).

L'analisi economica è stata svolta in specifici casi di studio e si è focalizzata sull'effetto che i diversi fattori possono avere sulla variabilità dei costi della fertirrigazione. Questa analisi dei costi si concentra sulle tecniche dimostrate durante i 3 anni del progetto ARIMEDA. In Aragona è stata valutata la fertirrigazione con FL di liquame suino trasportato in autocisterna e in Italia con digestato proveniente da impianti di digestione anaerobica ed iniettato direttamente nelle reti irrigue aziendali.

Tabella 8.1. Fattori che influenzano il costo della fertirrigazione e loro effetti.

FATTORE	EFFETTO ECONOMICO
<b>Concentrazione di N di liquame e digestato</b>	Questo è un fattore determinante, in quanto l'unità di riferimento nell'analisi economica è il costo di applicazione al campo di 1 kg N. Una maggiore concentrazione significherebbe un minor volume di FL da gestire e quindi minori costi di separazione, trasporto e fertirrigazione.
<b>Superficie coltivata</b>	L'effetto scala deriva dalla superficie coltivata gestita da un unico punto di iniezione (fertirrigazione). Maggiore è la superficie, minore è l'impatto dei costi di investimento per lo stoccaggio e l'impianto di iniezione della FL.
<b>Distanza tra l'azienda e gli appezzamenti</b>	I costi di trasporto hanno un peso relativo considerevole nel costo totale dei kg N gestiti sotto forma di FL, oltre ad altri impatti come quelli derivanti dalle emissioni di CO <sub>2</sub> . La distanza e la configurazione dell'impianto di irrigazione determineranno la possibilità di iniezione diretta dallo stoccaggio in azienda o la necessità di trasporto. Quest'ultimo aumenterà notevolmente i costi di gestione e le ore di lavoro.
<b>Coltura</b>	Le colture con un maggiore fabbisogno di N, come il mais, o la possibilità di effettuare doppie colture, comportano costi di investimento relativi inferiori.
<b>Tipologia dell'impianto d'irrigazione</b>	Il tipo di irrigazione, irrigazione a pioggia (pivot) o irrigazione a goccia, incide notevolmente sui costi di separazione in azienda, poiché i costi di separazione sono maggiori quanto maggiore è la riduzione della dimensione delle particelle solide che il sistema di irrigazione ammette, per evitare ostruzioni negli ugelli o gocciolatori. Le dimensioni considerate delle particelle sono 250-500 µm per l'irrigazione a pioggia/pivot e 100-200 µm per i sistemi a goccia.

## 8.2 FERTIRRIGAZIONE CON LIQUAME SUINO IN ARAGONA

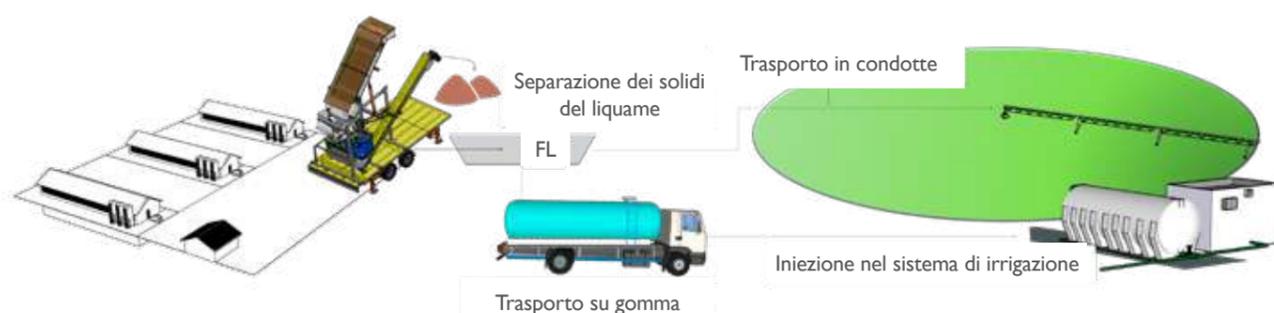


Figura 8.1. Schema dei sistemi di fertirrigazione con liquame di suino in Aragona.

## 8.2.1 SEPARAZIONE SOLIDO-LIQUIDO

Vengono proposti due casi studio per ottenere frazioni liquide adatte alla fertirrigazione con pivot e irrigazione a goccia. Lo studio si basa sui sistemi di separazione utilizzati nel progetto LIFE ARIMEDA (Figura 8.1). Per la fertirrigazione con pivot è necessaria solo una prima fase di separazione meccanica per eliminare le particelle di dimensioni superiori a 250 µm, nell'irrigazione a goccia è necessario un ulteriore processo di separazione per ridurre la dimensione delle 1<sup>a</sup> + particelle nella FL da 250 µm a 100 µm. La Tabella 8.2 mostra i singoli costi di ciascuna fase di separazione e il costo totale per ciascun sistema di fertirrigazione, mentre la Figura 8.2 mostra la disaggregazione dei costi della separazione:

Tabella 8.2. Analisi dei costi dei sistemi di separazione solido/liquido per il liquame suino.

	PIVOT	GOCCIA	Unità di misura
	1 <sup>a</sup> separazione	1 <sup>a</sup> + 2 <sup>a</sup> separazione	
<b>DATI INIZIALI</b>	250 µm	100 µm	
Dimensione delle particelle	250 µm	100 µm	
Volume di liquame	15.000	15.000	m <sup>3</sup> /anno
Concentrazione di N nella FL	2,5	2,5	kg Nt/m <sup>3</sup>
Portata di separazione	10	10	m <sup>3</sup> /h
Tempo di lavoro	1.500	1.500	h/anno
Potenza separatore	12,25	21,35	kW
Costo del personale	15	15	€/h
Costo energia	0,15	0,15	€/kWh
Ammortamento impianto	10	10	anni
Ammortamento strutture	25	25	anni
Costi annuali di manutenzione	4%	4%	% costo impianto
Impegno richiesto	0,5	1,0	h/giorno
<b>COSTI DI INVESTIMENTO (fissi)</b>			
<b>Costi di investimento</b>			
Impianto di separazione	40.000	72.000	€
Stoccaggio FL	8.000	16.000	€
<b>Totale</b>	<b>48.000</b>	<b>88.000</b>	<b>€</b>
<b>Ammortamento annuale</b>			
Impianto di separazione	4.000	7.200	€/anno
Stoccaggio FL	320	640	€/anno
<b>Totale</b>	<b>4.320</b>	<b>7.840</b>	<b>€/anno</b>
<b>COSTI OPERATIVI (variabili)</b>			
<b>Manutenzione</b>	1.600	2.880	€/anno
Costo del lavoro	1.406	3.038	€/anno
Costi energetici	2.756	5.209	€/anno
<b>Totale</b>	<b>5.763</b>	<b>11.128</b>	<b>€/anno</b>
<b>COSTO TOTALE</b>			
<b>Costo annuale</b>	<b>10.083</b>	<b>18.968</b>	<b>€/anno</b>
<b>Per m<sup>3</sup> di separato</b>	<b>0,67</b>	<b>1,26</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>
<b>Per Kg N nella FL</b>	<b>0,28</b>	<b>0,51</b>	<b>€/kg N</b>

- **CASO 1:** 250  $\mu\text{m}$  – FL adeguata all'uso in pivot o irrigazione a pioggia
- **CASO 2:** 100  $\mu\text{m}$  – FL adeguata all'uso in irrigazione a goccia

Il volume di FL considerato per questa analisi è 15.000  $\text{m}^3/\text{anno}$  con una concentrazione di azoto di 2,5  $\text{kg}/\text{m}^3$ , che fornirebbe 37.500 kg N, unità di fertilizzanti sufficienti per una superficie agricola di 140 ha di mais applicando una dose di 280 kg N/ ha. Questi valori sono solo indicativi e sarebbe necessario effettuare uno studio dettagliato delle effettive esigenze di fertilizzazione di ogni scenario in base alle produzioni previste, al tipo di coltura, agli apporti di altre fonti come il suolo, l'acqua di irrigazione o le eventuali leguminose in precessione colturale.

In questa analisi è stato considerato l'utilizzo di sistemi di separazione meccanica, senza l'utilizzo di additivi chimici (coagulanti e/o flocculanti) con sistemi simili a quelli utilizzati nei campi dimostrativi del progetto LIFE ARIMEDA. I prototipi di separazione consistevano in sistemi di separazione con vaglio inclinato seguito da una vite elicoidale (per la 1<sup>a</sup> separazione) e vibrovagli (per la 2<sup>a</sup> separazione) che consentivano una separazione adeguata alle esigenze dei sistemi di irrigazione utilizzati nelle prove.

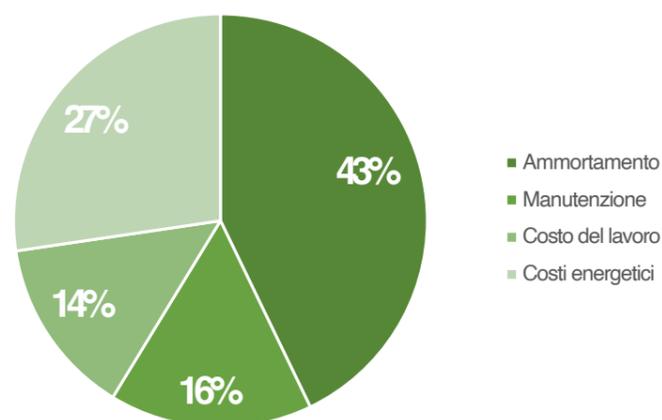


Figura 8.2. Distribuzione del costo del processo di separazione solido/liquido del liquame suino per la fertirrigazione mediante sistemi di separazione meccanica (senza additivi chimici).

Nel caso di studio proposto, la concentrazione di N nel liquame influenza il costo della separazione, (quanto maggiore è la concentrazione, minore è il volume di liquame da movimentare), sia nell'ammortamento dell'investimento iniziale che nei costi operativi. La Figura 8.3 mostra che i valori possono variare tra 0,15 e 0,71 €/kg N per la fertirrigazione a pivot e tra 0,26 e 1,30 €/kg N per la fertirrigazione a goccia, considerando un range di concentrazione di N compreso tra 1,0 e 5,0  $\text{kg N}/\text{m}^3$ .

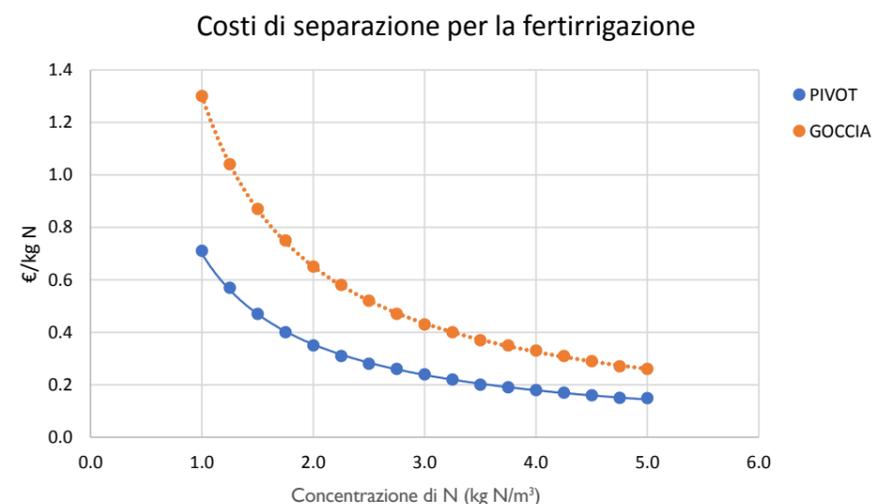


Figura 8.3. Costo della separazione solido/liquido del liquame per l'uso in fertirrigazione.

## 8.2.2 TRASPORTO

Per analizzare i costi di trasporto in autocisterna negli scenari in cui l'iniezione non può essere effettuata direttamente dallo stoccaggio dell'allevamento, sono stati considerati i seguenti dati:

- Servizio di trasporto con una autocisterna da 20  $\text{m}^3$ : 70 €/h
- Tempo di carico: 5 min
- Tempo di scarico: 5 min
- Velocità media: uscita dall'azienda, strada ed entrata in campo: 60 km/h

In questo studio, la distanza di trasporto e la concentrazione di N della FL hanno influenzato significativamente i costi. Concentrazioni di N molto basse ( $<1,8 \text{ kg N}/\text{m}^3$ ) penalizzano notevolmente i costi di trasporto e le differenze di costo, dovute alla distanza percorsa, si riducono all'aumentare della concentrazione di N (Figura 8.4).

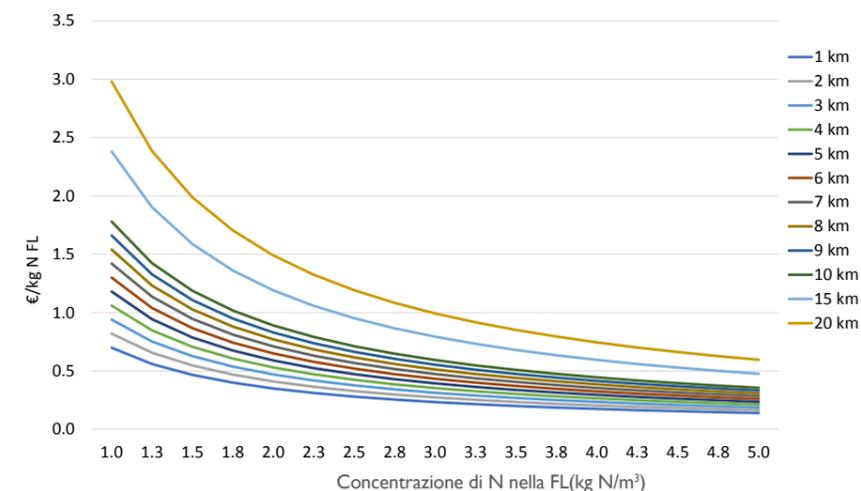


Figura 8.4. Costi di trasporto con autocisterna della FL del liquame (€/kg N) a seconda della distanza tra campi e azienda agricola (km).

## 8.2.3 APPLICAZIONE DELLA FERTIRRIGAZIONE IN CAMPO

Per analizzare in dettaglio il costo di iniezione della FL nel sistema irriguo e sulla base dell'esperienza del progetto LIFE ARIMEDA, sono stati considerati 3 possibili scenari: fertirrigazione con pivot in appezzamenti di 10 e 50 ha e fertirrigazione a goccia in appezzamenti di 10 ha (Tabella 8.3).

Tabella 8.3. Analisi dei costi di iniezione della frazione liquida nel sistema di irrigazione con pivot e ala gocciolante.

	PIVOT	PIVOT	GOCCIA	UNITÀ DI MISURA		
DATI INIZIALI	Superficie	10	50	10	ha	
	Dose N	250	250	250	kg N/anno	
	Concentrazione di N in FL	2,5	2,5	2,5	kg N/m <sup>3</sup>	
	Portata FL iniettata	10	30	10	m <sup>3</sup> /h	
	Volume FL iniettato	1.000	5.000	1.000	m <sup>3</sup>	
	Tempo di lavoro	100	167	100	h/anno	
	Potenza pompa d'iniezione	2,20	7,75	2,20	kW	
	Costo del personale	15	15	15	€/h	
	Costo energia	0,15	0,15	0,15	€/kWh	
	Ammortamento impianto	10	10	10	anni	
	Ammortamento strutture	25	25	25	anni	
	Costi annuali di manutenzione	4%	4%	4%	% costo impianto	
	Impegno richiesto	1	1	1	h/giorno	
	COSTI INVESTIMENTO (fissi)	<b>Costi di investimento</b>				
		Sistema di iniezione	5.700	11.700	6.200	€
Stoccaggio FL		8.000	16.000	8.000	€	
<b>Totale</b>		<b>13.700</b>	<b>27.700</b>	<b>14.200</b>	<b>€</b>	
<b>Ammortamento annuale</b>						
Sistema di iniezione	570	1.170	620	€/anno		
Stoccaggio FL	320	640	320	€/anno		
<b>Totale</b>	<b>890</b>	<b>1.810</b>	<b>940</b>	<b>€/anno</b>		
COSTI OPERATIVI (variabili)	<b>Manutenzione</b>	228	468	523	€/anno	
	Costo del lavoro	188	313	188	€/anno	
	Costi energetici	33	194	33	€/anno	
	<b>Totale</b>	<b>449</b>	<b>975</b>	<b>744</b>	<b>€/anno</b>	
COSTO TOTALE	<b>Costo annuale</b>	<b>1.339</b>	<b>2.785</b>	<b>1.684</b>	<b>€/anno</b>	
	<b>Per m<sup>3</sup> di separato</b>	<b>1,34</b>	<b>0,56</b>	<b>1,68</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	
	<b>Per Kg N nella FL</b>	<b>0,54</b>	<b>0,22</b>	<b>0,67</b>	<b>€/kg N</b>	

Nel costo della fertirrigazione in campo, l'area dell'appezzamento e la concentrazione di N nella FL sono le variabili che determinano il costo. Ad esempio, per una concentrazione media di 2,5 kg N/m<sup>3</sup> nella FL, il costo dell'iniezione può variare da 0,18 €/m<sup>3</sup> con pivot da 50 ha a 0,54 €/m<sup>3</sup> in appezzamenti di 10 ha. L'effetto della concentrazione di N sui costi di iniezione è molto maggiore negli appezzamenti di grandi dimensioni rispetto a quelli più piccoli, principalmente a causa degli investimenti in attrezzature e stoccaggio che dipendono direttamente dal volume della frazione liquida da gestire (Figura 8.5).

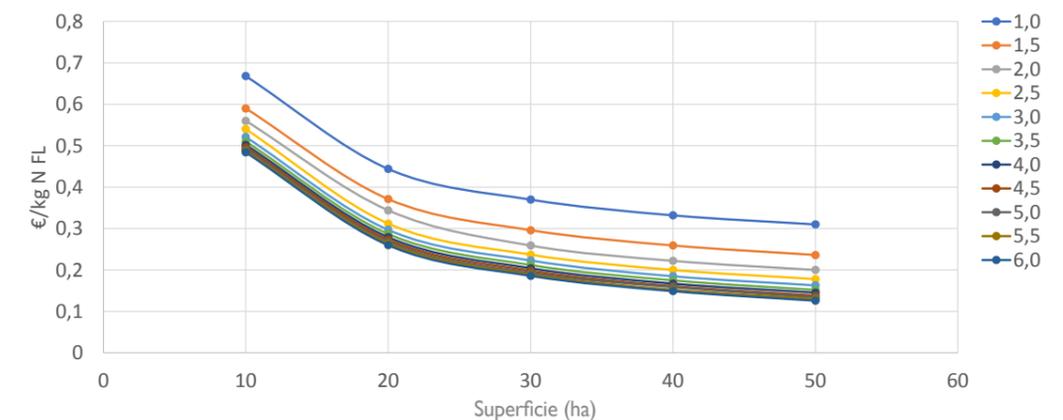


Figura 8.5. Costo della fertirrigazione con pivot in funzione della superficie dell'appezzamento e della concentrazione di N nella FL del liquame.

## 8.2.4 ANALISI DEI COSTI DELLA FERTIRRIGAZIONE - COSTO TOTALE

Applicando i dati riportati nelle sezioni precedenti, nelle tabelle 8.4 e 8.5 sono dettagliati i costi per l'utilizzo della fertirrigazione nei diversi scenari agricoli in base al costo del trasporto con una cisterna da 20 m<sup>3</sup> e alla concentrazione di N della FL del liquame.

I risultati ottenuti evidenziano che i costi di applicazione della fertirrigazione nell'irrigazione a goccia sono praticamente doppi rispetto a quelli della fertirrigazione nei sistemi con pivot. Ciò è fondamentalmente dovuto ai maggiori costi di separazione che richiedono un investimento superiore in attrezzature e capacità di stoccaggio e maggiori costi di esercizio. Le modifiche ai sistemi di irrigazione già presenti in azienda richiedono investimenti a basso costo oltre agli impianti di iniezione e alle strutture di stoccaggio, poiché si limitano alla sostituzione degli ugelli a bassa pressione (pivot) e all'installazione di filtri aggiuntivi nel caso dell'irrigazione a goccia.

Tabella 8.4. Analisi dei costi (€/kg N e €/ha) della fertirrigazione con pivot su un campo di 30 ha. Dose: 250 kg N/ha.

Concentrazione di N in FL (kg N/m <sup>3</sup> )	Distanza azienda-campo (km)			
	0 (no trasporto)	3	5	10
<b>COSTI PER UNITÀ FERTILIZZANTE (€/kg N)</b>				
1,0	1,08	2,02	2,26	2,86
1,5	0,77	1,39	1,55	1,95
2,0	0,61	1,08	1,20	1,50
2,5	0,52	0,89	0,99	1,23
3,0	0,46	0,78	0,86	1,06
3,5	0,41	0,68	0,75	0,92
4,0	0,38	0,62	0,68	0,83
4,5	0,36	0,57	0,62	0,75
5,0	0,40	0,53	0,58	0,70
<b>COSTI PER UNITÀ DI SUPERFICIE (€/ha)</b>				
1,0	270	505	565	715
1,5	192	348	388	488
2,0	152	270	300	375
2,5	129	223	247	307
3,0	116	194	214	264
3,5	103	170	187	230
4,0	96	155	170	207
4,5	90	142	155	188
5,0	86	133	145	175

Se l'allevatore si assumesse i costi per la separazione e il trasporto e l'agricoltore fosse disposto a pagarne fino al 75%, per avere un risparmio del 25% sul costo della concimazione minerale, la fertirrigazione a pivot sarebbe economicamente fattibile, quando non si renda necessario il trasporto in cisterna, oppure con trasporti fino a 5 km se la concentrazione di N nella FL è  $\geq 1,5$  kg N/m<sup>3</sup> o fino a 10 km se la concentrazione di N è  $\geq 2,0$  kg N/m<sup>3</sup> (costo utilizzato dei concimi minerali: € 1/kg N). Nel caso della fertirrigazione a goccia, la fattibilità sarebbe raggiunta, senza trasporto con concentrazione di N nel LF  $\geq 1,5$  kg N/m<sup>3</sup>, con trasporto fino a 5 km se la concentrazione è 2,5 kg N/m<sup>3</sup> e fino a 10 km con concentrazioni  $\geq 3,0$  kg N/m<sup>3</sup>

Tabella 8.5. Analisi dei costi (€/kg N e €/ha) della fertirrigazione con irrigazione a goccia su un campo di 10 ha. Dose: 250 kg N/ha.

Concentrazione di N in FL (kg N/m <sup>3</sup> )	Distanza azienda-campo (km)			
	0 (no trasporto)	3	5	10
<b>COSTI PER UNITÀ FERTILIZZANTE (€/kg N)</b>				
1,0	2,11	3,05	3,29	3,89
1,5	1,60	2,23	2,39	2,79
2,0	1,35	1,82	1,94	2,24
2,5	1,19	1,57	1,66	1,90
3,0	1,09	1,40	1,48	1,68
3,5	1,02	1,29	1,36	1,53
4,0	0,97	1,21	1,27	1,42
4,5	0,92	1,13	1,18	1,32
5,0	0,89	1,08	1,13	1,25
<b>COSTI PER UNITÀ DI SUPERFICIE (€/ha)</b>				
1,0	528	763	823	973
1,5	400	557	597	697
2,0	338	455	485	560
2,5	298	392	416	476
3,0	273	351	371	421
3,5	255	322	339	382
4,0	243	301	316	354
4,5	230	282	296	329
5,0	223	270	282	312

## 8.3 FERTIRRIGAZIONE CON DIGESTATO IN LOMBARDIA

Nell'ambito del progetto, l'analisi dei costi effettuata in Lombardia per l'applicazione della fertirrigazione con la frazione liquida del digestato presenta due peculiarità rispetto agli scenari proposti in Aragona:

1. Nel modello misto azienda agricola con impianto a biogas – appezzamenti agricoli, il trasporto considerato è sempre tramite tubazione, iniettando la frazione liquida direttamente dal suo stoccaggio nell'impianto di digestione anaerobica o nell'azienda, nella rete irrigua.
2. I sistemi di irrigazione a goccia sono superficiali. Vengono installati e rimossi prima e dopo ogni campagna per poter svolgere i necessari lavori agricoli sul terreno.

Sono stati analizzati due casi di studio che possono fungere da riferimento per valutare la variabilità e le fasce di costo nell'attuazione della fertirrigazione con digestato, nelle colture estensive con irrigazione a goccia e pivot.

**CASO STUDIO 1:** Analisi dei costi della fertirrigazione con la frazione liquida del digestato in un impianto di irrigazione a goccia.

Per l'analisi sono state utilizzate le seguenti informazioni:

- Frazione liquida del digestato, concentrazione di N: 5 kg/m<sup>3</sup>
- Dose applicata: 200 kg N/ha
- Volume gestito: 40 m<sup>3</sup> /ha
- Costo del consumo di energia elettrica: 0,4183 €/m<sup>3</sup>, o 16,73€ /ha (sulla base di un consumo medio di 2,35 kWh/m<sup>3</sup>)
- Costo del lavoro: 13,56 €/ha (basato su 13,56 €/h e 1,00 h/ha)
- Costi operativi (inclusi i reagenti): 0,50 €/m<sup>3</sup> o 20,00 €/ha
- Portata di iniezione: 3 m<sup>3</sup>/h.

Con le informazioni di cui sopra, l'analisi mostra che il costo della fertirrigazione varia da 136 €/ha con superfici agricole gestite di 100 ha, a 912 €/ha per appezzamenti di 10 ha (Figura 8.6). Questo costo elevato per gli appezzamenti di piccole dimensioni è direttamente correlato all'ammortamento del costo di investimento dei sistemi di separazione solido/liquido.

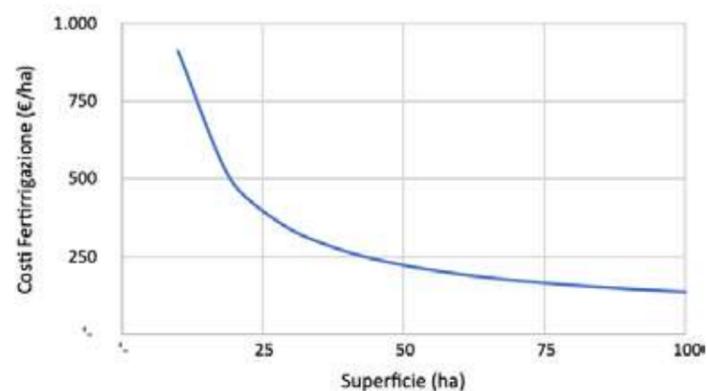


Figura 8.6. Analisi dei costi della fertirrigazione a goccia con la FL del digestato in funzione della superficie agricola gestita.

**CASO STUDIO 2:** Analisi dei costi della fertirrigazione con la frazione liquida del digestato con pivot.

Per l'analisi sono state utilizzate le seguenti informazioni:

- Frazione liquida del digestato, concentrazione di N: 5 kg/m<sup>3</sup>
- Dose applicata: 200 kg N/ha
- Volume gestito: 40 m<sup>3</sup> /ha
- Costo del consumo di energia elettrica: 0,4183 €/m<sup>3</sup>, o 16,73€ /ha (sulla base di un consumo medio di 2,35 kWh/m<sup>3</sup>)
- Costo del lavoro: 9,49 €/ha (basato su 13,56 €/h e 0,70 h/ha)
- Costi operativi (inclusi i reagenti): 0,50 €/m<sup>3</sup> - 20,00 €/ha
- Portata di iniezione: 5 m<sup>3</sup>/h.

L'analisi evidenzia che il costo della fertirrigazione varia da 99 €/ha per superfici agricole gestite di 150 ha, a 577 €/ha per appezzamenti di 10 ha (Figura 8.7). Questo costo elevato per gli appezzamenti di piccole dimensioni è direttamente correlato all'ammortamento dei sistemi di separazione solido/liquido. Per il pivot il

costo ad ettaro su grandi superfici (circa 100 ha) è simile a quello dell'irrigazione a goccia, ma l'effetto di scala della superficie è meno importante nei pivot; ad esempio, per una superficie di 30 ha, il costo supera appena i 300 €/ha.

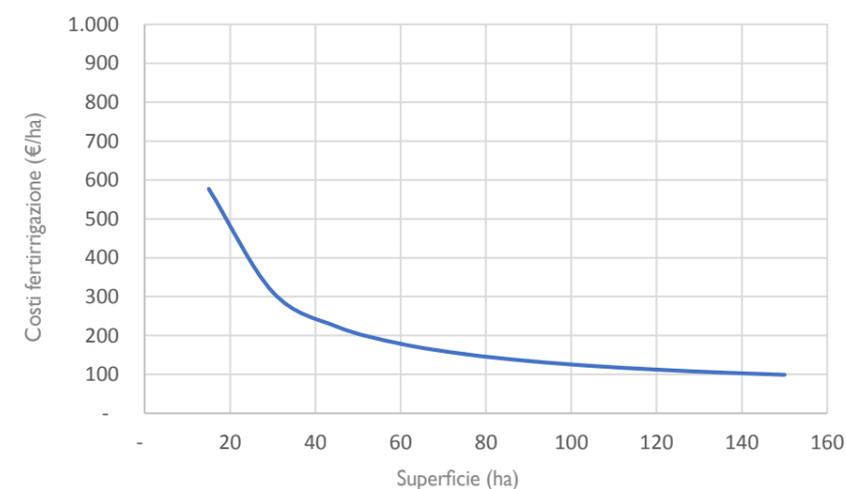


Figura 8.7. Analisi dei costi della fertirrigazione con pivot con la FL del digestato, in funzione della superficie agricola gestita.

L'analisi della distribuzione dei costi in ciascuno dei sistemi di fertirrigazione evidenzia il ruolo di primo piano che l'ammortamento dei sistemi di separazione solido/liquido ha nell'analisi, in particolare nei sistemi di irrigazione a goccia (Figura 8.8).



Foto 8.2. Dettaglio dell'irrigazione a goccia in un campo dimostrativo del progetto LIFE ARIMEDA (Lombardia, IT).

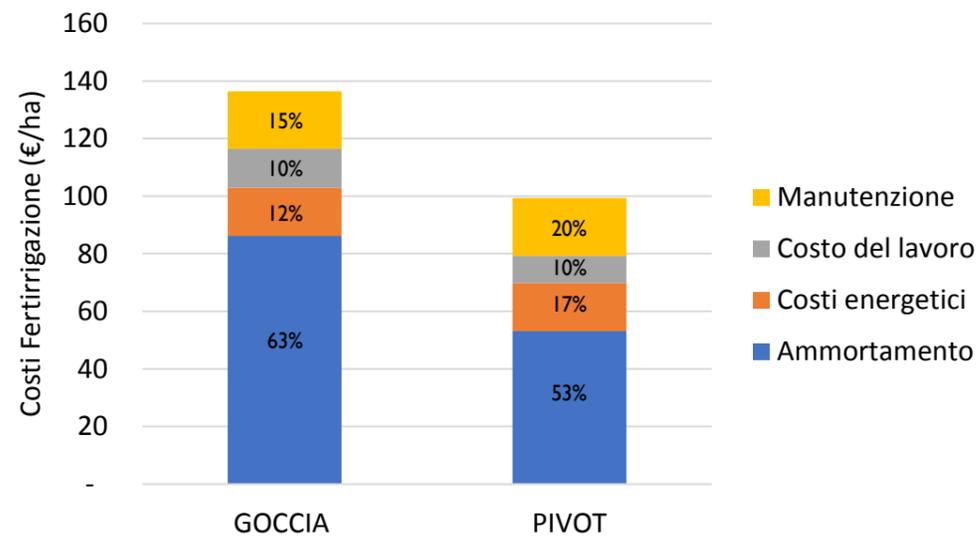


Figura 8.8. Ripartizione dei costi in caso di utilizzo della fertirrigazione con la FL del digestato per gli impianti di irrigazione a goccia e a pivot.

Il costo dell'applicazione del digestato risulta di 0,50 €/kg N per il pivot e di 0,68 €/kg/N per l'irrigazione a goccia, quando la dose applicata è di 200 kg N/ha con una concentrazione di azoto nel digestato di 5 kg/m<sup>3</sup> e la superficie in fertirrigazione è 150 ha (pivot) o 100 ha (goccia). Una riduzione della superficie fertilizzata aumenta l'incidenza dei costi di investimento. Il costo di 0,75 €/ha (75% del costo del fertilizzante minerale) si raggiunge quando la superficie è di circa 80 ha per i pivot e 90 ha per i sistemi di irrigazione a goccia. Da notare come i costi di distribuzione siano generalmente inferiori rispetto ad un sistema di applicazione tradizionale (distribuzione con carbotte).

## 8.4 VALORE ECONOMICO DELLA FERTIRRIGAZIONE

Il prezzo dei fertilizzanti azotati sintetici dipende fortemente dal prezzo dell'energia, in particolare del gas naturale. Questa dipendenza è dovuta all'elevato consumo energetico del processo Haber-Bosch utilizzato nella loro produzione. L'attuale situazione del mercato dei fertilizzanti sintetici e minerali, in cui il costo dell'energia è in forte aumento, costituisce un'opportunità favorevole per i fertilizzanti di origine organica, come il digestato o il liquame. La creazione di un mercato stabile che consenta l'utilizzo di fertilizzanti organici con tecnologie efficienti può rappresentare un importante risparmio per gli agricoltori. Inoltre, tale sistema di gestione è in linea con la strategia dell'economia circolare e con gli obiettivi di riduzione delle emissioni di ammoniaca e gas serra fissati dall'Unione Europea nelle politiche ambientali e agricole (PAC) sviluppate negli ultimi anni.

È importante notare che l'iniezione diretta nel sistema irriguo, come è stato implementato e analizzato in Lombardia, eliminando il trasporto su strada, consente una gestione molto più efficiente e con maggiori potenzialità di scalabilità. Il modello dell'appezzamento in un'azienda agricola, con questa configurazione rappresenta uno scenario molto favorevole per l'applicazione di questa tecnica.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Leip, A., Ledgard, S., Uwizeye, A., Palhares, J. C., Aller, M. F., Amon, B. and Wang, Y. 2019. The value of manure-Manure as co-product in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 241, 293-304.

# 9

## PERCEZIONE SOCIALE DELL'IMPATTO DELL'ATTIVITÀ AGRICOLA LEGATA ALLA GESTIONE DEL LIQUAME E DEL DIGESTATO E ALL'INTRODUZIONE DI PRATICHE SOSTENIBILI COME LA FERTIRRIGAZIONE

EVA HERRERO  
ALEXIA SANZ  
DOLORES QUÍLEZ  
VIVIANA GUIDO  
IGNACIO CLAVERÍA  
ARTURO DAUDÉN  
GIORGIO PROVOLO  
FLAVIO SOMMARIYA

### 9.1 INTRODUZIONE

Nel settore agricolo, l'adozione di tecnologie e buone pratiche, come la fertirrigazione, che contribuiscano alla mitigazione delle emissioni di ammoniaca derivanti dall'utilizzo di fertilizzanti organici (tra cui gli effluenti zootecnici e i digestati), può generare importanti benefici nella filiera di produzione degli alimenti. Tuttavia, questo obiettivo può essere raggiunto con successo solo se gli agricoltori acquisiscono consapevolezza dei benefici che derivano dall'applicazione di queste tecnologie, sforzandosi di adottarle su larga scala. La sostenibilità ambientale dei sistemi di produzione non è di per sé un incentivo sufficiente e i margini di profitto delle produzioni zootecniche e agricole devono essere tenuti in considerazione nel proporre tecniche di gestione alternative a quelle abituali. Le soluzioni, i metodi e gli approcci sviluppati dal progetto LIFE ARIMEDA si sono dimostrati adatti ad essere introdotti nelle aziende. Tuttavia, gli agricoltori spesso mostrano resistenza al cambiamento e all'adozione di innovazioni nelle loro pratiche di gestione. L'accettazione di nuove tecniche e il loro uso richiede tempi lunghi, come nel caso delle alternative alla gestione degli effluenti zootecnici. Una soluzione a questo problema potrebbe essere l'attuazione di specifiche campagne di informazione e formazione in combinazione con strumenti politici e incentivi economici per promuovere l'Foto e la produzione di aziende agricole rispettose del clima e dell'ambiente (Foto 9.1 e 9.2).

Per trasferire con successo pratiche e tecniche sostenibili per la gestione del liquame e del digestato, come la fertirrigazione, è fondamentale conoscere la percezione del settore direttamente coinvolto in queste attività e capire come gli agricoltori (potenziali utilizzatori di questa pratica) identificano le principali agevolazioni e ostacoli per la sua attuazione, nonché in che misura percepiscono che questa tecnica possa essere interessante e attrattiva per la loro attività.

Nell'ambito del progetto LIFE ARIMEDA, è stata predisposta un'indagine, con il supporto e la collaborazione dell'Università di Saragozza, in cui viene valutata la percezione degli agricoltori nelle regioni di Aragona e Lombardia utilizzando 48 indicatori, 24 agevolazioni e 24 ostacoli all'attuazione della fertirrigazione rispettivamente con la frazione liquida del liquame e del digestato (Tabella 9.1). Gli indicatori sono stati valutati su una scala da 0 a 5 dalla minore alla maggiore importanza dell'indicatore secondo la percezione dell'intervistato. I 48 indicatori sono stati raggruppati secondo 5 criteri: 1. economico, 2. politico, strategico e legislativo, 3. sociale, 4. tecnologico e 5. ambientale.

Gli indicatori sono stati delineati in collaborazione con i tecnici del settore e il questionario risultante è stato somministrato in Aragona attraverso i Consorzi di irrigazione di Bardenas (Cinco Villas) e Canal de Aragón e Cataluña (La Litera) e in Lombardia attraverso l'Associazione Regionale Allevatori Lombardia (ARAL). L'analisi della percezione sociale è stata condotta a partire dalle risposte fornite al questionario, a cui hanno risposto 39 intervistati, 25 in Aragona e 14 in Italia.

Tabella 9.1. Agevolazioni e Ostacoli inclusi nell'indagine realizzata nell'ambito del progetto LIFE ARIMEDA.

Ambito	AGEVOLAZIONI: Aspetti favorevoli che semplificano e possono promuovere l'utilizzo di tecniche di fertirrigazione con liquami
Economico	A1 Riducono i costi di fertilizzazione e aumentano il margine di profitto per l'agricoltore
	A2 Il modello misto agro-zootecnico presenta vantaggi economici (costi ed efficienze)
	A3 Un sistema misto agro-zootecnico consente la creazione di nuovi modelli di servizio (opportunità per nuove imprese)
	A4 Sostegno pubblico insufficiente: fondi finanziari insufficienti per realizzare un'offerta per la sostituzione dei fertilizzanti minerali
	A5 Aiutano lo sviluppo del settore favorendo l'innovazione
Politico/ Strategico/ Legislativo	A6 Sono un supporto ad una strategia regionale di transizione verso un modello socio-economico e ambientale sostenibile
	A7 La fertirrigazione è di interesse strategico nelle aree ad alto carico zootecnico
	A8 Il settore condivide l'interesse strategico dell'Europa nel ridurre il consumo di fertilizzanti minerali
Sociale	A9 Migliorano la percezione sociale del settore agricolo e zootecnico come attività nelle aree agricole
	A10 Contribuiscono all'innovazione e al cambiamento verso pratiche sostenibili di gestione dei liquami
	A11 Sono interessanti perché sono misure che rispondono alle aspettative e alle richieste sociali sul tema ambientale
	A12 Interessano perché contribuisce a far adempiere al settore gli obblighi e le prescrizioni della normativa vigente
	A13 Il sistema misto agro-zootecnico consente la creazione di nuovi e più qualificati posti di lavoro legati a nuove imprese
	A14 Sono un'opportunità per sostituire il fertilizzante minerale in copertura con liquame
	A15 Si ottiene una frazione solida ricca di fosforo e sostanza organica facilmente recuperabile
Tecnologico	A16 Le perdite di azoto nell'atmosfera diminuiscono e il valore fertilizzante del liquame aumenta
	A17 Si estendono i tempi di applicazione al campo aumentando la loro competitività nel mercato come prodotto fertilizzante
	A18 Facilitano la gestione del liquame in areali in cui gli appezzamenti sono adiacenti all'azienda agricola
Ambientale	A19 Riducono gli odori generati nel corso della gestione del liquame e nella sua applicazione al campo
	A20 Diminuiscono le emissioni di ammoniaca in atmosfera dannose per la salute (rispetto alle consuete pratiche di concimazione con liquame)
	A21 Non aumentano il rischio di dilavamento dei nitrati nelle acque superficiali
	A22 Consentono di ridurre la quantità di fertilizzante minerale che viene applicato tramite gli impianti di irrigazione, sostituendolo con liquami e riducendo gli impatti associati ad un eccesso di fertilizzazione
	A23 Migliorano il riciclo dei nutrienti nelle filiere produttive (riutilizzo efficiente dei liquami a livello locale e regionale)
	A24 Contribuiscono alla riduzione del trasporto su strada quando gli appezzamenti sono adiacenti all'azienda agricola

Ambito	OSTACOLI: Aspetti che intralciano l'utilizzo della fertirrigazione con liquami
Economico	O1 Necessitano di un investimento preventivo in attrezzature: separatori, sistemi di stoccaggio e iniezione
	O2 Il sistema di separazione e fertirrigazione necessita di interventi di controllo e manutenzione
	O3 Per applicare la fertirrigazione negli impianti a goccia di solito è necessario investire nell'impianto di irrigazione poiché è un sistema poco diffuso nelle colture estensive
	O4 Esiste una concorrenza diretta tra i fertilizzanti organici e il mercato della produzione e commercializzazione di fertilizzanti minerali
	O5 C'è disconnessione tra agricoltura e allevamento con una grande crescita di allevamenti nel territorio
	O6 Mancano aziende con capacità di Ricerca-Sviluppo-Innovazione nel settore
Politico/ Strategico/ Legislativo	O7 Mancanza di una strategia regionale per la transizione verso un modello agricolo e zootecnico sostenibile a causa di politiche di corto raggio prive di una visione territoriale strategica
	O8 Esistono posizioni e interessi polarizzati tra l'intensificazione e la specializzazione degli allevamenti e lo sviluppo di strategie sostenibili nel settore agricolo e zootecnico
	O9 Esiste una diversa regolamentazione nell'uso dei fertilizzanti organici e sintetici che discrimina la concimazione con liquame rispetto alla fertilizzazione minerale
	O10 Il settore non conosce a fondo la normativa sull'utilizzo del liquame
Sociale	O11 Non c'è interesse da parte del settore a conoscere le normative per introdurre nuove tecniche innovative nella gestione dei liquami e del letame. La motivazione principale sono le implicazioni nella riscossione della PAC
	O12 Gli impatti sociali della gestione dei liquami non vengono presi in considerazione quando si effettuano investimenti e innovazioni nel settore agro-zootecnico
	O13 La società percepisce maggiori rischi nell'uso del liquame come fertilizzante rispetto all'uso di fertilizzanti minerali
	O14 Mancanza di professionalizzazione del settore
Tecnologico	O15 Progressi insufficienti nelle tecnologie per il recupero dei liquami come fertilizzanti
	O16 La fertirrigazione con liquame può richiedere trasporti e stoccaggi aggiuntivi nell'azienda agricola o nell'appezzamento
	O17 La fertirrigazione con liquame negli impianti a goccia ha come ulteriore difficoltà la corretta gestione dell'irrigazione nelle colture estensive
	O18 Manca la conoscenza del contenuto di nutrienti del liquame (valore fertilizzante)
	O19 È difficile controllare le dosi applicate in fertirrigazione
Ambientale	O20 Per attuare la fertirrigazione è necessario personale tecnico (separazione, piano fertilizzante e logistica)
	O21 Mancanza di visione delle risorse ambientali come opportunità
	O22 Mancanza di conoscenza dei potenziali rischi biosanitari derivanti dall'uso del liquame in fertirrigazione
	O23 Mancanza di conoscenza dell'effetto ambientale di inquinanti emergenti come antibiotici e prodotti sanitari utilizzati in allevamento
	O24 Rischio di impatto sulla qualità del suolo e dell'acqua

## 9.2 L'INDAGINE IN ARAGONA (SPAGNA)

In Aragona, l'indagine è stata svolta principalmente in due aree rurali dove l'agricoltura irrigua e l'allevamento intensivo svolgono un ruolo molto importante nell'economia locale, Cinco Villas e La Litera.

Il profilo medio dell'intervistato è un maschio tra i 24 ei 67 anni (media 50 anni), con studi secondari o universitari e la cui attività principale è l'agricoltura. Tra gli intervistati, predominano gli agricoltori che gestiscono superfici agricole comprese tra 0 e 200 ettari (Figura 9.1) e la maggior parte di essi usa il liquame come fertilizzante organico, applicandolo regolarmente o saltuariamente nei propri campi.

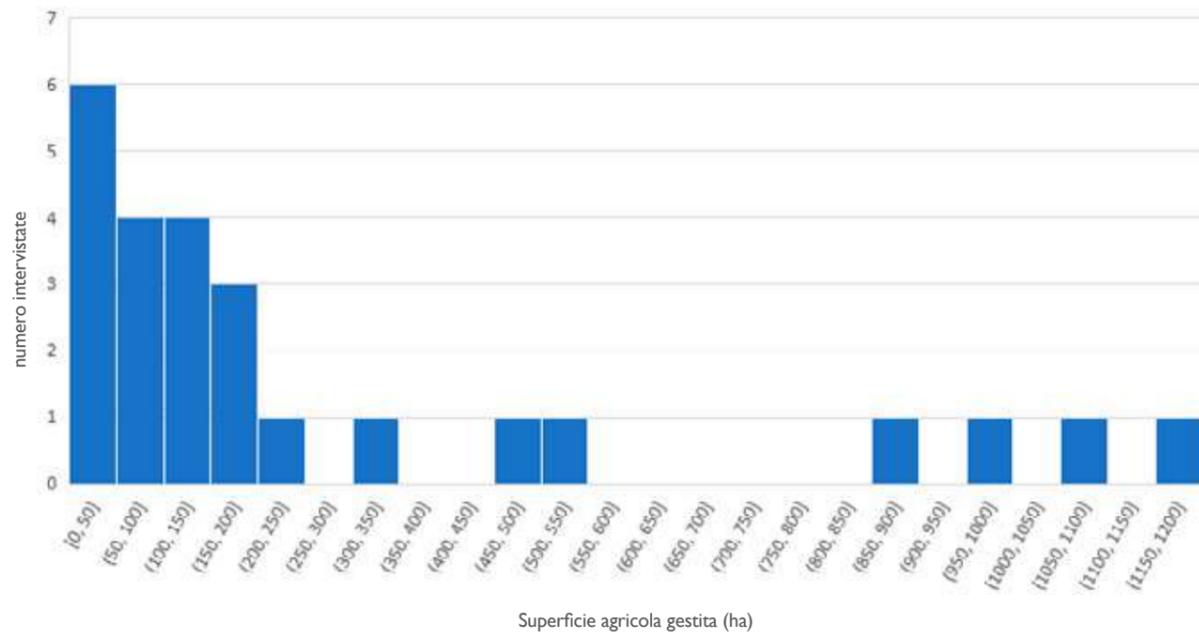


Figura 9.1. Distribuzione del numero di intervistati in Aragona, in base alle dimensioni della superficie agricola che gestiscono come agricoltori.

È stato osservato che nel caso di La Litera l'uso della fertirrigazione sia con concime minerale che con liquame è più diffuso che nell'area di Cinco Villas e l'83% degli intervistati aveva impianti di irrigazione con pivot o ranger.

Dai risultati delle indagini sono state tratte le seguenti conclusioni in merito agli indicatori proposti come possibili agevolazioni nell'adozione della fertirrigazione con la frazione liquida del liquame (Figura 9.2):

1. I tre aspetti più apprezzati sono: i vantaggi economici del modello misto agro-zootecnico, l'interesse strategico della fertirrigazione in aree ad alta concentrazione zootecnica e l'uso più efficiente dei nutrienti nel liquame a livello locale e regionale, il riciclo delle risorse disponibili all'interno della filiera produttiva. Sono valutate molto positivamente anche la riduzione del trasporto su gomma quando gli appezzamenti sono adiacenti all'azienda agricola, nonché la riduzione dei costi di concimazione e l'allungamento dei tempi di distribuzione in campo.

2. Gli aspetti considerati poco interessanti sono quelli relativi all'allineamento alle strategie delle politiche europee, all'applicazione di buone pratiche per contribuire a migliorare la percezione sociale dell'attività agricola e zootecnica e alla riduzione degli odori.
3. Gli indicatori sociali sono quelli che hanno il minor peso in termini generali quando fungono da catalizzatori per l'uso di pratiche agricole sostenibili come la fertirrigazione.



Figura 9.2. Valutazione (0-5) degli aspetti che potrebbero favorire l'applicazione della fertirrigazione con la frazione liquida del liquame in Aragona (Spagna). I codici corrispondono agli indicatori elencati nella tabella 9.1.

Per quanto riguarda i principali ostacoli nell'uso della fertirrigazione nelle condizioni studiate dal progetto LIFE ARIMEDA è risultato che (Figura 9.3):

1. Gli intervistati ritengono che i principali ostacoli risiedano negli investimenti necessari per i separatori solido/liquido e i sistemi di iniezione o anche nel sistema di irrigazione stesso quando si utilizza la goccia, soprattutto nelle piccole aziende agricole.
2. Anche la scarsa presenza di aziende con capacità di innovazione nel settore, i costi di esercizio e manutenzione degli impianti e le esigenze di trasporto quando l'appezzamento non è adiacente all'azienda agricola sono percepiti come aspetti importanti da tenere in considerazione.
3. Il sistema di irrigazione a goccia è quello identificato come il più difficile da applicare in Aragona al momento.
4. Negli aspetti sociali, gli agricoltori percepiscono come un ostacolo il fatto che la società considera a maggior rischio l'uso del liquame come fertilizzante rispetto all'uso di fertilizzanti minerali, che si riflette anche in ambito legislativo con l'esistenza di una regolamentazione differenziata per l'uso delle due tipologie di fertilizzanti.
5. Gli ostacoli che destano meno preoccupazione sono la difficoltà di controllare i tassi di applicazione e il rischio di impatto sulla qualità dei suoli e delle acque, nonché la mancanza di conoscenza dei potenziali rischi biosanitari e la concorrenza nel mercato tra i fertilizzanti organici e inorganici.

### OSTACOLI



Figura 9.3. Valutazione (0-5) degli ostacoli nell'utilizzo delle tecniche di fertirrigazione con la frazione liquida del liquame in Aragona (Spagna). I codici corrispondono agli indicatori elencati nella tabella 9.1.

Lo studio condotto in Aragona ha mostrato che tecniche come la fertirrigazione sono percepite dagli agricoltori come un'opportunità, come affermato dall'80% degli intervistati in questa regione. Tuttavia, è stato ripetutamente sottolineato il fatto che la mancanza di una regolamentazione chiara nell'uso di queste pratiche, le restrizioni all'uso di fertilizzanti organici che impediscono di sfruttare tutti i vantaggi della fertirrigazione e l'assenza di una strategia ferma da parte delle Amministrazioni che ne promuova l'implementazione, sono fattori condizionanti molto importanti di cui tenere conto nell'analisi delle potenzialità applicative nelle aree di studio. Solo il 20% considera la fertirrigazione una necessità e non è comunque percepita come un rischio dagli agricoltori.



Foto 9.1. Visita in campo e giornata di trasferimento presso l'azienda agricola La Melusa a Tamarite de Litera (Aragona, Spagna).

## 9.3 L'INDAGINE IN LOMBARDIA (ITALIA)

In Lombardia l'indagine è stata svolta tramite l'Associazione Regionale Allevatori Lombardia (ARAL). In questa regione è diffuso il modello agro-zootecnico-energetico (digestione anaerobica).

Il profilo medio dell'intervistato è costituito da uomini di età compresa tra 27 e 61 anni, la media di 46 anni, con studi secondari o universitari e la cui attività è svolta principalmente come agricoltore e allevatore. Tra gli intervistati, predominano gli imprenditori che gestiscono superfici agricole comprese tra 155 e 205 ettari (Figura 9.4), superiori quindi a quelle gestite dagli agricoltori aragonesi, per i quali l'uso di liquami o digestato come fertilizzante organico è la pratica abituale. L'uso della fertirrigazione è meno diffuso e molto poco utilizzato con la frazione liquida del digestato.

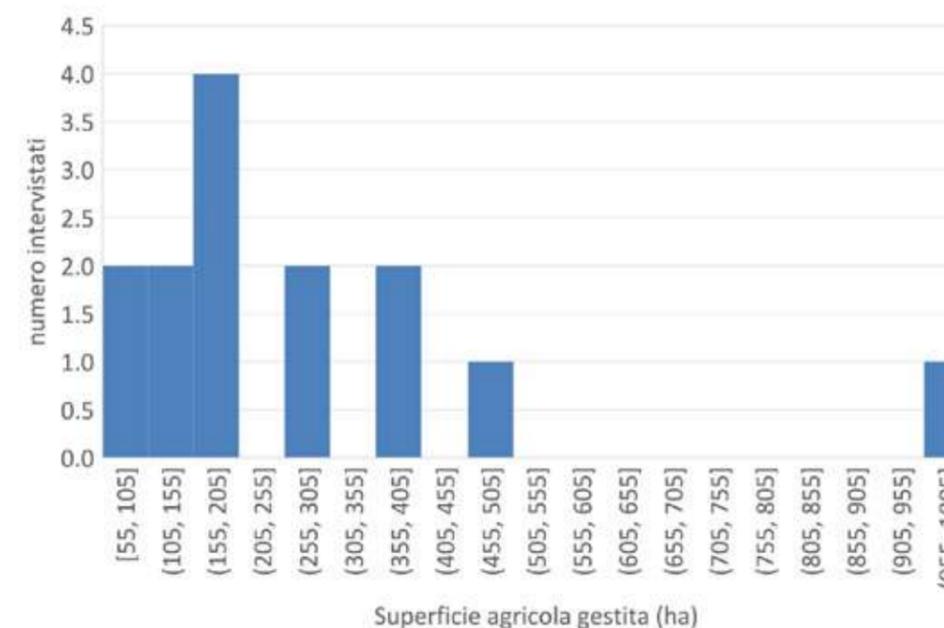


Figura 9.4. Distribuzione del numero degli intervistati in base alla superficie agricola che gestiscono come agricoltori in Lombardia.

Dai risultati delle indagini sono state tratte le seguenti conclusioni circa i possibili aspetti che possono contribuire a promuovere in Lombardia l'uso della fertirrigazione con la frazione liquida del digestato (Figura 9.5):

1. Come nel caso dell'Aragona, i vantaggi economici del modello misto agro-zootecnico sono il principale incentivo per l'implementazione di tecniche come la fertirrigazione.
2. La facilità di gestione e distribuzione del digestato, che consente la sostituzione del fertilizzante minerale anche in copertura, è il secondo aspetto che gli intervistati hanno valutato più positivamente.
3. Gli indicatori di natura sociale sono quelli meno considerati in termini generali come strumenti utili per promuovere ed estendere l'uso della fertirrigazione.

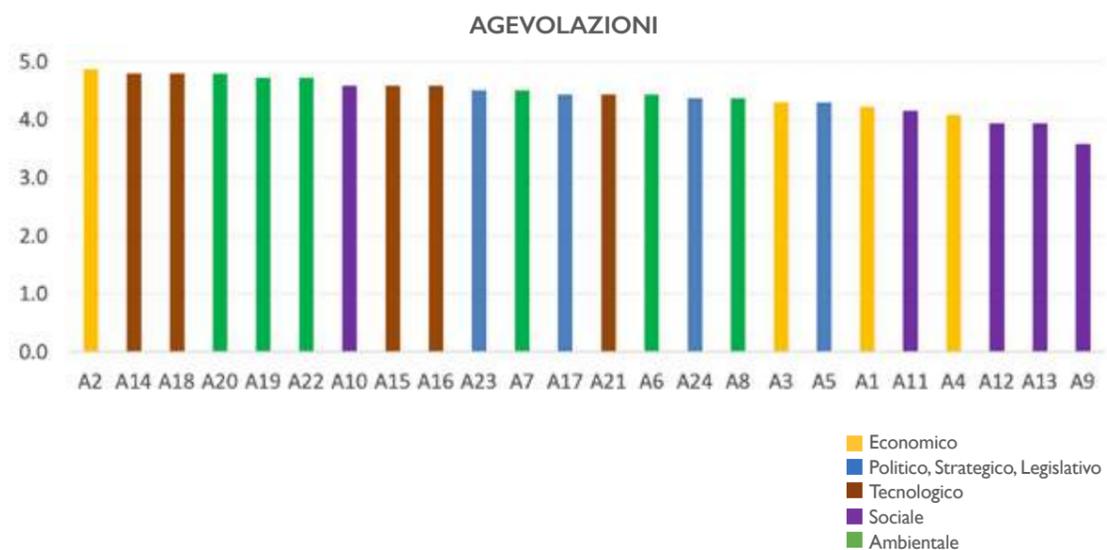


Figura 9.5. Valutazione (0-5) degli agevolazioni che favoriscono l'applicazione della fertirrigazione con la frazione liquida del digestato in Lombardia (Italia). I codici corrispondono agli indicatori elencati nella tabella 9.1.

Per quanto riguarda gli aspetti che ostacolano l'utilizzo delle tecniche di fertirrigazione con la frazione liquida del digestato (Figura 9.6):

1. Le operazioni di separazione e manutenzione degli impianti di fertirrigazione vengono individuate come il principale ostacolo al loro utilizzo, seguite dalla scarsa professionalizzazione del settore, dalla scarsa conoscenza del valore fertilizzante del digestato e dalle esigenze di personale tecnico per la pianificazione e la corretta esecuzione della fertirrigazione.
2. Gli indicatori legati alla percezione sociale sull'uso di fertilizzanti organici, le restrizioni normative o la concorrenza diretta con i fertilizzanti minerali sono percepiti in Italia come ostacoli più deboli rispetto al caso dell'Aragona. Sono variabili meno importanti nell'uso della fertirrigazione.
3. Gli aspetti ambientali dell'uso di questa pratica, come possibili rischi biosanitari, contaminanti emergenti come antibiotici e prodotti sanitari o il possibile impatto sulla qualità del suolo e dell'acqua, sono percepiti come questioni importanti da tenere in considerazione, anche se non sono le più decisive.



Foto 9.2. Visita in campo e giornata di trasferimento in Lombardia (Italia).

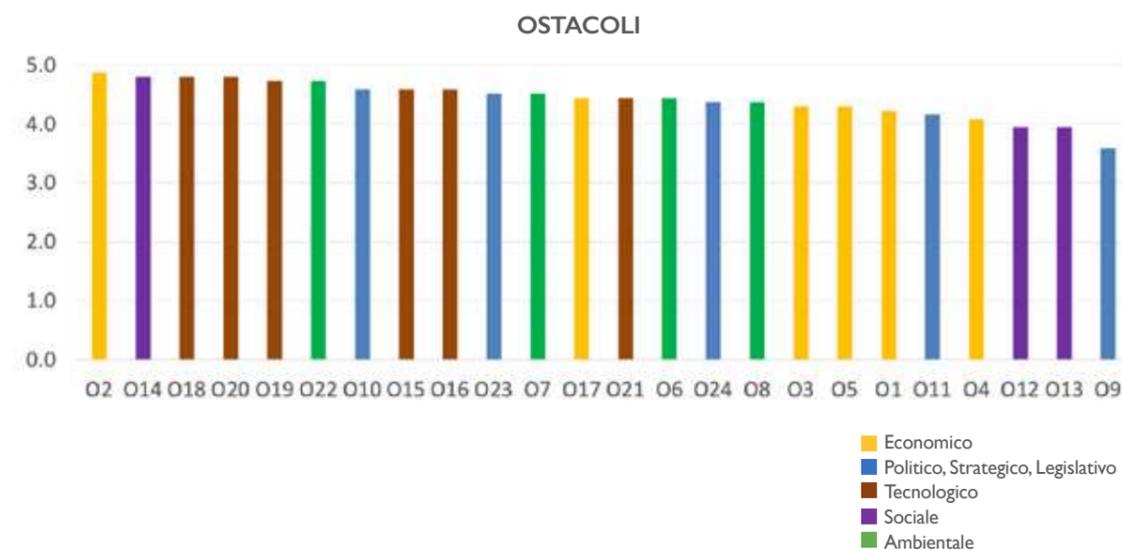


Figura 9.6. Valutazione (0-5) degli ostacoli nell'utilizzo delle tecniche di fertirrigazione con la frazione liquida del digestato in Lombardia (Italia). I codici corrispondono agli indicatori elencati nella tabella 9.1

Anche in Lombardia la tecnica della fertirrigazione è considerata, secondo questo studio, una chiara opportunità per il settore dal 79% degli intervistati, ed è individuata come un'esigenza dalla metà dei partecipanti. In questa regione, gli intervistati hanno anche espresso la loro insoddisfazione a causa della mancanza di misure normative che favoriscono e promuovono l'uso di fertilizzanti organici rispetto a quelli minerali.



### PROGETTO LIFE ARIMEDA

Riduzione delle emissioni di ammoniaca nell'agricoltura mediterranea attraverso tecniche innovative di fertirrigazione con liquami

Programma LIFE Ambiente ed uso efficiente delle risorse

DURATA: 01/09/2017 – 30/09/2021

COSTO DEL PROGETTO: 2.608.324 €

CONTRIBUTO EU: 1.522.293 € (59.11%)

Più informazioni su:

[www.lifearimeda.eu](http://www.lifearimeda.eu)

[lifearimeda@cita-aragon.es](mailto:lifearimeda@cita-aragon.es)

