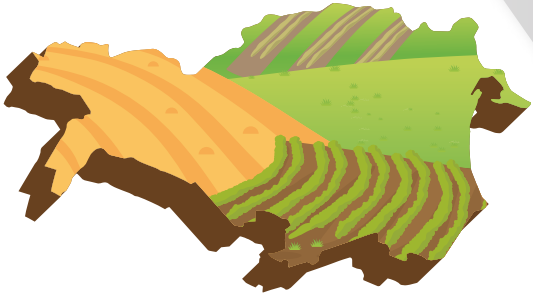
GRUPPO
OPERATIVO
NITRATI FERRARA



TECNICHE AGRONOMICHE
PER LA PREVENZIONE DELL'INQUINAMENTO
DA NITRATI E LA CONSERVAZIONE
DELLA SOSTANZA ORGANICA

Risultati dello studio sulle tecniche agronomiche per la prevenzione dell'inquinamento da Nitrati e la conservazione della sostanza organica

GRUPPO OPERATIVO: **Nitrati Ferrara**

Membri del GO: Azienda Agricola Sarto Graziano, Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra, Università di Ferrara, Fondazione CRPA Studi Ricerche, I.Ter, Horta s.r.l. e Areté s.r.l..

Azione e esercizio della cooperazione a cura della Fondazione per l'Agricoltura F.lli Navarra FONTE FINANZIAMENTO: PSR 2014-2020 REGIONE EMILIA-ROMAGNA Misura 16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura - % FINANZIAMENTO: 90% - COSTO TOTALE: 362.407,21 € - CONTRIBUTO RICHIESTO: 326.067,29 €

Programma di Sviluppo Rurale dell'Emilia-Romagna 2014-2020

UNIONE EUROPEA Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale

Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

GRUPPO OPERATIVO NITRATI FERRARA

Prefazione

Parlare oggi di difesa dell'ambiente e di sostenibilità ambientale è molto comune, ma i modi in cui tali affermazioni si possono tradurre in operazioni concrete molto spesso restano nella fantasia dei mezzi di comunicazione o in quella del cittadino comune.
Il Gruppo Operativo "Nitrati Ferrara" ha pertanto ritenuto di analizzare un aspetto che incide in tale tematica, affrontando l'aspetto della prevenzione della perdita di Nitrati nell'area della Provincia di Ferrara, dichiarata in toto vulnerabile.
Stimolata e supportata dagli studi pluriennali e molto approfonditi dell'Università di Ferrara, si sono voluti trasferire dalla ricerca alla pratica agronomica i risultati ottenuti in tali studi propedeutici.
Facendo dell'apporto di sostanza organica e di differenti tecniche di gestione agronomica del suolo la metodologia operativa, si sono studiate le ricadute sulla dinamica dei nitrati nel suolo ed il miglioramento della qualità agronomica del suolo stesso.
Riteniamo che i risultati raggiunti di seguito presentati siano significativi e tali da giustificare la continuazione su questa linea sperimentale.

Luigi Fenati
Presidente Fondazione per l'Agricoltura F.lli Navarra

Riassunto

La principale finalità del piano "Tecniche agronomiche per la prevenzione dell'inquinamento da nitrati e la conservazione della sostanza organica" del Gruppo Operativo "Nitrati Ferrara" è la messa a punto di protocolli agronomici di lavorazioni conservative (minime o sodo), comprensiva della loro valutazione di sostenibilità ambientale ed economica, che favoriscano il mantenimento e, nel medio termine, un incremento di sostanza organica nei terreni. Il risultato atteso è che tale incremento, unitamente al riequilibrio delle comunità batteriche, fungine e di metazoi che ne consegue, eserciti un effetto diretto e significativo sulla riduzione della vulnerabilità ai nitrati di origine agricola.

Per fare questo sono state messe a confronto le seguenti tesi: 1) lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm, 2) lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove, 3) minime lavorazioni utilizzando attrezzi combinati con dischi e ancore e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove e 4) non lavorazione con semina su sodo e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove.

Le prove sono state ripetute secondo lo stesso schema nell'Azienda Agricola della Fondazione Navarra, a Gualdo, nel comune di Ferrara e nell'Azienda Agricola Sarto Graziano, a Portomaggiore. Il primo è rappresentativo dei suoli tessitura franca argillosa limosa, tipici della parte centrale della provincia di Ferrara, mentre il secondo è rappresentativo dei piana deltizia esterna del fiume Po con terreni morfologicamente depressi e in passato paludosi, a tessitura franca argillosa limosa.

Sebbene sia noto in letteratura che l'accumulo della sostanza organica nei suoli è un processo lungo e che necessita di molti anni per evidenziare effetti, nell'arco dei tre anni di questa sperimentazione sono stati comunque evidenziati andamenti positivi nelle prove in campo. Per supportare tali risultati è stata effettuata una sperimentazione parallela di laboratorio dove, in condizioni controllate, è stata ulteriormente dimostrata l'ipotesi del progetto, ovvero che in presenza di sostanza organica non si verificano accumuli di nitrati, né in falda e nemmeno nei suoli. I risultati completi relativi a questi esperimenti non sono riportati in questa relazione ma nei relativi articoli su rivista internazionale elencati nel capitolo "3. Monitoraggio delle trasformazioni e del trasporto dell'azoto".

Da un punto di vista applicativo, gli stessi risultati portano l'attenzione su seguenti punti: 1) anche se il fine è prevenire perdite di nitrati in ambiente, vista dal prospetto agronomico, la rimozione degli stessi per denitrificazione è comunque una perdita, non auspicabile. La considerazione che si può fare sulla base dei risultati sperimentali è quindi che, per ridurre queste perdite, gli interventi di fertilizzazione devono essere effettuati in modo quanto più dilazionato possibile e 2) per aumentare la fertilità azotata secondo modalità che siano di garanzia per l'ambiente e, allo stesso tempo, per il mantenimento delle dotazione delle colture, si deve aumentare la frazione organica azotata, più lenta nel rilascio di azoto minerale e quindi meno esposta a

perdite.
Tornando all'ambiente, le evidenze raccolte aprono la discussione anche su una serie di altri temi che vanno dalla evidenza di concentrazioni di nitrati dell'acquifero freatico ferrarese generalmente basse, al tema emergente, tuttora poco noto, della possibile produzione di protossido di azoto, pericoloso gas a effetto serra che, soprattutto in concomitanza di alte velocità di denitrificazione, potrebbe essere liberto in atmosfera dai suoli agricoli. Riguardo al protossido di azoto, anche se ciò non era oggetto della sperimentazione, abbiamo effettuato, sempre in sistemi di laboratorio, alcune misure preliminari per verificare se la sua liberazione sia o meno un elemento di preoccupazione. I risultati ottenuti hanno mostrato attività di produzione e rilasci minimali, indicazione di un probabilmente basso, se non bassissimo, rischio di liberazione di questo gas serra da parte dei suoli agricoli ferraresi. Questi ultimi risultati sono preliminari e meritano ulteriori approfondimenti.
Una ulteriore evidenza di campo, non presentata in questa relazione ma oggetto dell'articolo dal titolo "Contrasting biogeochemical processes revealed by stable isotopes of H_2O, N, C and S in shallow aquifers underlying agricultural lowlands", pubblicato tre mesi fa su Science of the Total Environment, è risultato particolarmente informativo ai fini della interpretazione dei dati relativi all'acquifero freatico. Infatti, utilizzando l'analisi dei rapporti isotopici naturali di ossigeno, idrogeno, carbonio, azoto e zolfo è stato possibile determinare accuratamente le modalità e tempistiche di ricarica dell'acquifero freatico nei due siti di sperimentazione. In particolare, alla azienda Fondazione Navarra, dove l'acquifero si trova mediamente a più di due metri e mezzo sotto il piano campagna, il tempo di ricarica è risultato essere estremamente lungo, superiore alla durata di questo programma di sperimentazione. Dai risultati è quindi emersa ancora una volta la sito-specificità dei sistemi suolo-falda e la naturale lentezza dei processi di trasporto nei suoli di Ferrara, evidenziabili in tempi di alcuni anni.
Nell'insieme, i risultati del monitoraggio biogeochimico effettuato in campo e degli esperimenti di laboratorio, già pubblicati in numerosi articoli scientifici su riviste internazionali, sostengono l'ipotesi fatta, ovvero che le pratiche conservative che favoriscono l'accumulo di sostanza organica hanno contestualmente l'effetto di prevenzione dei fenomeni di percolazione di nitrati.
Dal punto di vista agronomico, le rese in granella delle diverse coltivazioni sono generalmente risultate buone, con alcune punte di eccellenza. Le maggiori rese per il frumento tenero sono state ottenute presso Fondazione Navarra, con valori variabili tra 7,7 e 9,2 t/ha all'umidità commerciale. In quest'azienda, mentre nel primo anno di prove (2017) si era ottenuto qualcosa di più nei trattamenti con lavorazioni convenzionali, nel terzo anno (2019) le produzioni si sono "pareggiate", con i valori inferiori per i trattamenti Aratura+compost e Minime+compost ove l'apporto del compost ha continuato a manifestare i propri effetti dando origine a qualche allettamento, seppure in misura non rilevante.
Al contrario, presso Graziano Sarto nel primo anno di prove le migliori rese di granella di frumento erano state ottenute nelle

parcelle gestite in regime conservativo, in particolare in quella con semina su sodo, a motivo della maggiore conservazione dell'acqua nel terreno che ha determinato minore stress idrico nel corso di una stagione primaverile particolarmente siccitosa. Nel terzo anno invece la produzione del trattamento di non lavorazione ha risentito di una semina ritardata di qualche settimana rispetto agli altri trattamenti.

Per la granella di mais nel 2018 le migliori rese sono state ottenute presso Graziano Sarto, posizionato in zona particolarmente vocata per questa coltura, con valori molto elevati per tutti i trattamenti seppure inferiori nella tesi a sodo seminata qualche giorno più tardi rispetto alle altre, in un'annata che è risultata particolarmente favorevole a questa coltivazione. Comunque buone anche le rese ottenute presso Fondazione Navarra, localizzata in zona meno vocata per questa coltura, con valori piuttosto simili per tutti i trattamenti ma superiori nelle tesi di agricoltura conservativa, sebbene la differenza non risulti statisticamente significativa.

Per quanto riguarda la sostenibilità economica, premettendo che i risultati sono caratterizzati da una elevata eterogeneità, riconducibile alle forte variabilità territoriale ed aziendale presente nella provincia di Ferrara, il margine di contribuzione medio ottenuto dalle due aziende nelle due annate in cui è stato seminato frumento tenero e stato di 138 €/ha.

Assumendo questo valore come riferimento ed ipotizzando l'applicazione di una delle altre tre tesi sulle superfici a frumento, i risultati ottenuti sarebbero stati i seguenti:

- Nel caso della tesi Aratura+compost rispetto al testimone → da - 346 €/ha a + 65 €/ha
- Nel caso della tesi Minima+compost rispetto al testimone → da - 169 €/ha a + 49 €/ha
- Nel caso della tesi Sodo+compost rispetto al testimone → da + 66 €/ha a + 279 €/ha

Per quanto riguarda il mais, analogamente, assumendo come tesi testimone l'aratura a 40 cm, il margine di contribuzione medio ottenuto dalle due aziende nell'annata in cui è stato seminato mais èstato di 389 €/ha.

Assumendo questo valore come riferimento ed ipotizzando l'applicazione di una delle altre tre tesi sulle superfici a mais, i risultati ottenuti sarebbero stati i seguenti:

- Nel caso della tesi aratura+compost rispetto al testimone → da - 227 €/ha a + 96 €/ha
- Nel caso della tesi minima+compost rispetto al testimone → da - 159 €/ha a + 250 €/ha
- Nel caso della tesi sodo+compost rispetto al testimone → da + 15 €/ha a + 212 €/ha

Abstract

The main goal of the project "Agronomic techniques for the prevention of nitrate pollution and the conservation of the organic matter" by the Operational Group "Nitrates Ferrara" is the setting up of agronomic protocols of conservation tillage, including the assessment of their environmental and economic sustainability, to favour the progressive recovery and increase in soil organic matter. The expected outcome is that this increase, together with the consequent rebalancing of the bacterial, fungal and metazoan communities, has a direct and significant effect on the reduction of vulnerability to nitrates from agricultural sources.

To do this, the following treatments were compared: 1) conventional ploughing (40 cm) 2) conventional ploughing with compost distribution at the beginning of the experimentation, 3) minimum tillage and compost distribution at the beginning of the experiment, and 4) sod seeding with compost distribution at the beginning of the experiment. The trial was repeated according to the same scheme in a plot within the farm of the F.lli Navarra Foundation, located in Gualdo, in the territory of the municipality of Ferrara and in one of the Graziano Sarto' farm, in Bando, in the municipality of Portomaggiore (FE). The former is representative of the silty-clayey loam texture, typical of the central part of the province of Ferrara, while the latter is representative of the outer delta plain of the river Po, with morphologically depressed soils, submerged in the past, silty-clayey loam texture.

Although it is known in the literature that the accumulation of organic matter in soils is a long process and that it takes many years to highlight effects, over the three years of this experimentation positive trends have been highlighted. To support these results, laboratory experiments were carried out in parallel, in which, under controlled conditions, the hypothesis of the project was further tested, namely that in the presence of labile organic matter there is no accumulation of nitrates, neither in groundwater nor in soils. The results of these experiments are not reported in this report but in the related articles on international journals, listed in the chapter " 3. Monitoring nitrogen transformations and transport". From an applicative point of view, the same results draw attention to the following points: 1) although the aim of the project is to prevent nitrate losses in the environment, from the agronomic point of view, nitrogen loss by denitrification is in any case a loss, thus not desirable. On the basis of the experimental results we can argue that, in order to reduce these losses, nitrogen fertilization must be carried out in a as much as possible fractionated manner and 2) to increase nitrogen fertility, according to protocols which protect environmental quality and at the same time maintain crops' requirements, organic nitrogen fraction has to be increased, since it gives a slower release of mineral nitrogen and therefore is less exposed to losses.

Going back to environmental issues, the evidence gathered opens up the discussion also on a series of other topics, ranging from the evidence of concentrations of nitrates which are generally low in aquifers

of the province of Ferrara, to the emerging, still little known, topic of the possible production of nitrous oxide, a dangerous greenhouse gas whose production might be an issue in presence of high denitrification rates in agricultural soils. With regard to nitrous oxide, even if this was not the subject of experimentation, we carried out preliminary measures in the lab, to verify whether its release can be an element of concern. The results obtained showed minimal production activities and releases, an indication of a probably low, if not very low risk of emission of this greenhouse gas from the agricultural soils in Ferrara. These last results are preliminary and deserve further study.

A further field evidence, not presented in this report but covered by the article entitled "Contrasting biogeochemical processes revealed by stable isotopes of H_2O, N, C and S in shallow aquifers underlying agricultural lowlands", published three months ago in Science of the Total Environment, was particularly informative for the purpose of interpreting data relating to the free aquifer. In fact, using the analysis of natural isotopic ratios of oxygen, hydrogen, carbon, nitrogen and sulfur, it was possible to accurately determine the pathways and timings of groundwater recharge in the two field sites. In particular, at F.lli Navarra's farm, where the aquifer is on average more than two and a half meters below ground level, the recharge time was extremely long, greater than the duration of this experimentation program. From the results, therefore, the site-specificity of the soil-groundwater systems and the very slow aquifer recharge rate in the soils of Ferrara emerged once again, which can be seen in times of a few years.

Overall, the results of field biogeochemical monitoring and laboratory experiments, already published in many scientific articles on international journals, support the initial hypothesis, that the conservation agriculture practices favour the conservation and, on a medium term, the accumulation of organic matter, having simultaneously the effect of preventing nitrate losses.

From the agronomic point of view, the grain yields of the different crops have generally been satisfactory, with some peaks of excellence. The highest yields for winter wheat were obtained at the F.lli Navarra's farm, with values varying between 7.7 and 9.2 t / ha, at commercial humidity. In this farm, while in the first year of tests (2017) something more had been achieved in treatments with conventional tillage, in the third year (2019) the productions were "balanced", with lower values for the Plowing + compost treatments and Minimum tillage + compost, where the contribution of the compost has continued to show its effects, giving rise to some wheat lodging, albeit not to a significant extent.

On the contrary, at Graziano Sarto's farm, in the first year of the trial the best yields for wheat grains had been obtained in the plots managed under conservation tillage, in particular in the sod seeding, due to the greater conservation of the water in the soil that led to less water stress during a particularly dry spring season. In the third year, the production of the sod seeding treatment suffered a delayed seeding of a few weeks compared to the other

treatments.

For maize, in 2018 the best yields were obtained at Graziano Sarto, in a context that was particularly favourable to this cultivation, with very high values for all treatments, although lower in the sod-seeding , due to a few days later seeding than the other treatments. However, the yields obtained at the Navarra Foundation were also good, located in an area less suited for this crop, with values that were rather similar for all treatments but higher in conservation tillage treatments, although the difference is not statistically significant.

With regard to economic sustainability, considering that the results are characterized by a high heterogeneity, due to the strong territorial and farming variability present in the province of Ferrara, the average revenue obtained by the two farms in the plowing treatment, in the two years in which winter wheat was sown, was € 138 / ha. Assuming this value as a reference and hypothesizing the application of one of the other three treatments, the results obtained are the following:

- In the case of the Ploughing + compost compared to the ploughing, from - € 346 / ha to + € 65 / ha
- In the case of the Minimum tillage + compost compared to the ploughing, from - € 169 / ha to + € 49 / ha
- In the case of the Sod seeding + compost compared to the ploughing + 66 € / ha to + 279 € / ha.

As for maize, similarly, assuming as a test the plowing at 40 cm, the average revenue of the two farms, in the year in which the maize was sown was € 389 / ha. Assuming this value as a reference and assuming the application of one of the other three treatments, the results obtained are the following:

- In the case of the ploughing + compost compared to the ploughing, from - € 227 / ha to + € 96 / ha
- In the case of the minimum + compost compared to the ploughing, from - € 159 / ha to + 250 €/ ha
- In the case of the Sod seeding + compost compared to the ploughing, from + € 15 / ha to + € 212 / ha.

Introduzione e scopo del lavoro

A cura di Marco Rivaroli, Fondazione per l'Agricoltura F.lli Navarra
Paolo Mantovi, Fondazione CRPA
Giuseppe Castaldelli, Università di Ferrara

Negli ultimi cinquant'anni, la gestione intensiva dei suoli e la banalizzazione degli ordinamenti produttivi in agricoltura hanno contribuito sinergicamente alla alterazione del bilancio del carbonio nei terreni, con una progressiva diminuzione del contenuto di sostanza organica. Contestualmente, in alcuni distretti della pianura padana, e tra questi la provincia di Ferrara, si è verificato un drastico calo del patrimonio zootecnico che ha ulteriormente incrementato il difetto di sostanza organica nei suoli a causa di mancate restituzioni di carbonio . Alcune conseguenze di questo processo di impoverimento sono ben note e vanno dalla perdita di fertilità intrinseca, compensata con un maggior impiego di fertilizzanti di sintesi, alla maggior difficoltà di effettuare le lavorazioni, soprattutto in terreni pesanti.
Altre conseguenze della perdita di sostanza organica sono meno note ma importanti, soprattutto per le ricadute sull'ambiente. Una di queste è la perdita di ritenzione idrica dei suoli che oltre ad influenzare direttamente l'utilizzo della risorsa idrica in agricoltura, è strettamente connessa alla sicurezza idraulica, in quanto favorisce la capacità di tamponare eventi piovosi estremi, trattenendo l'acqua, rilasciandola in tempi più lunghi e compatibili con le caratteristiche dei sistemi di scolo. Questo aspetto è particolarmente importante in un territorio ad elevato rischio idraulico come quello ferrarese.
Ancora meno nota nella pratica è la relazione tra in contenuto di sostanza organica e il rischio di perdite di nitrati dai suoli agricoli. Tale relazione ha una doppia natura: fisica-idrogeologica e microbiologica; il primo aspetto è intuitivo, il secondo meno. Infatti, è immeditato realizzare che all'aumentare del contenuto di sostanza organica di un suolo aumenti la ritenzione idrica e di conseguenza diminuiscano sia il ruscellamento che la percolazione e quindi anche il rischio di trasporto di nitrati. Al contrario, molto meno intuitiva è la relazione tra l'aumento del contenuto di sostanza organica e la rimozione dei nitrati in eccesso, tramite denitrificazione. Tale fenomeno è stato evidenziato in suoli a bassa permeabilità o, più in generale, in condizioni di saturazione e ristagno idrico, spesso determinato dalla presenta di una acquifero affiorante, che favoriscono l'insorgere di condizioni di mancanza di ossigeno. In tali condizioni la mineralizzazione della sostanza organica procede tramite processi respiratori anaerobici e in particolare, se sono disponibili nitrati, tramite denitrificazione, un processo batterico in cui l'azoto è trasformato dalla forma di nitrato (NO_3^-) a quella di azoto molecolare (N_2) che abbandona in sistema suolo o acqua, passando all'atmosfera. Il verificarsi della denitrificazione e della rimozione dei nitrati nei suoli dipende quindi da tre condizioni: la bassa permeabilità e/o il ristagno idrico, la presenza di nitrati e la disponibilità di sostanza organica, come dimostrato con studi sia in laboratorio che in campo. Su questa relazione tra le caratteristiche intrinseche dei suoli ferraresi e della bassa padana, e la necessità di ripristinare elevati contenuti di sostanza organica, si gioca una dei principali elementi di sostenibilità richiesti all'agricoltura moderna, ovvero la protezione delle acque superficiali e di falda dall'inquinamento da nitrati. Nata circa un decennio or sono come intuizione preliminare, questa ipotesi biogeochimica è stata successivamente dimostrata in campo e laboratorio ed i risultati sono stati pubblicati a livello internazionale. L'elenco degli articoli di riferimento è riportato in appendice. Per queste ragioni, l'adozione di tecniche di agricoltura conservativa per il mantenimento

e, nel medio termine, il progressivo incremento di sostanza organica, unitamente al riequilibrio delle comunità batteriche, fungine e di metazoi che ne consegue, hanno un effetto diretto sulla riduzione della vulnerabilità ai nitrati che è la finalità primaria del progetto. Si aggiungono ulteriori effetti positivi legati dell'adozione delle pratiche conservative che contribuiscono alla riduzione generale degli impatti dell'agricoltura sull'ambiente, incrementandone la sostenibilità. In particolare, il miglioramento della struttura e della lavorabilità dei suoli ed il conseguente risparmio energetico ed economico e riduzione della Carbon Footprint.

Il GO si è avvalso del contributo di due aziende agricole, l'Azienda Agricola Sarto Graziano e l'Azienda Agricola della Fondazione Navarra. La prima è localizzata nella parte sud orientale della Provincia di Ferrara, su suoli alluvionali del fiume Po. Per dimensioni e tipologia colturale è rappresentativa delle aziende di media dimensioni della provincia di Ferrara, dedita alla coltivazione di cereali e proteaginose su terreni di medio impasto. La seconda è localizzata nella parte centrale della Provincia di Ferrara, su terreni limo-argillosi. Per dimensioni e tipologia colturale è rappresentativa delle aziende di dimensioni medio-grandi della provincia di Ferrara, dedite alla coltivazione di cereali e proteaginose.

Entrambe le aziende si trovano nella "zona vulnerabile all'inquinamento da nitrati provenienti da fonti agricole" che corrisponde all'intero territorio della provincia di Ferrara (D. Leg. 152/2006, PTA dell'Emilia-Romagna) che copre una SAU complessiva di circa 180.000 ettari. Per questo, le aziende hanno deciso di costituire un gruppo operativo la cui finalità è di definire le tecniche agronomiche utili per la prevenzione dell'inquinamento da nitrati.

La sensibilità espressa dalle due aziende è condivisa da numerose aziende agricole ferraresi. Tale attenzione alla prevenzione all'inquinamento da nitrati si è accresciuta negli ultimi anni anche grazie alla divulgazione dei risultati di ricerche pluriennali del Dipartimento di Scienze della Vita e Biotecnologie dell'Università di Ferrara, iniziate con progetto europeo EU-Water (http://www.eu-water.eu/lin_ferrara/lin_ferrara.php) e portate avanti negli anni successivi *in primis* dalla Fondazione Navarra con il supporto e la collaborazione di tutte le Associazioni di categoria della provincia.

Il Piano di Innovazione Nitrati Nerrara si è inserito in tale percorso di trasferimento dei risultati della ricerca nella pratica, in quanto ha contribuito alla messa a punto e alla validazione di tecniche agronomiche, adottabili dalle aziende agricole ferraresi a vocazione cerealicola e la cui finalità principale è la prevenzione delle perdite di nitrati in un'area dichiarata in toto vulnerabile. Contestualmente, la ricerca ha valutatao anche le ricadute positive di tali pratiche agronomiche per l'incremento generale della sostenibilità in agricoltura.

Va sottolineato che non si tratta di percorsi agronomici del tutto 'pionieristici' in questo territorio, dove alcune aziende hanno già adottato in autonomia soluzioni che mirano al mantenimento/incremento della sostanza organica. Con questa sperimentazione si è inteso dare una validazione scientificamente supportata dell'effetto di queste pratiche nella prevenzione dell'inquinamento da nitrati.

Entrambe le aziende agricole partner del Gruppo Operativo Nitrati Ferrara, Fondazione Navarra e Graziano Sarto, hanno ospitato una prova agronomica dedicata al confronto tra diverse modalità di conduzione dei terreni, variando dalla lavorazione convenzionale fondata sull'aratura e sino alla pratica più conservativa della non lavorazione. Nel triennio di prove sono stati coltivati frumento tenero (2017), mais da granella (2018) e ancora frumento tenero (2019).

In particolare, in ciascuna delle due prove agronomiche sono stati confrontati quattro

trattamenti di gestione del terreno, di cui due di agricoltura convenzionale e due di agricoltura conservativa:

1) Lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm
2) Lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove
3) Minime Lavorazioni utilizzando attrezzi combinati con dischi e ancore e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove
4) Non lavorazione con semina su sodo (presso Graziano Sarto) e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove (presso Fondazione Navarra)

Questo ultimo trattamento, con semine su sodo, ha visto la distribuzione del compost solo presso Fondazione Navarra, dove si è potuto effettuare l'interramento del materiale organico in coincidenza di un necessario intervento di decompattamento a inizio prove (Foto 1, autunno 2016), dopo la raccolta della barbabietola da zucchero in precessione. La coltura in precessione presso Graziano Sarto è stata il mais da granella, sempre nel 2016. L'ipotesi fatta è che l'aumento della sostanza organica, per distribuzione di compost e facilitato dal regime conservativo, determini una diminuzione del rischio di percolazione di nitrati in falda. Il Piano Operativo per l'innovazione è stato condotto tramite la costituzione del Gruppo Operativo (GO) Nitrati Ferrara, costituito oltre che dalle due aziende agricole, da due enti di ricerca, la Fondazione CRPA di Reggio Emilia e l'Università di Ferrara e tre consulenti del settore agricolo, Coop. I.TER, Horta s.r.l. e Areté s.r.l. L'obiettivo principale del GO è stato definire e validare scientificamente protocolli operativi per minimizzare la vulnerabilità ai nitrati, tramite il mantenimento e l'incremento, nel medio termine, della sostanza organica dei terreni. Oltre alla finalità principale, la sperimentazione ha permesso di valutare anche dal punto di vista agronomico l'applicazione di pratiche di utilizzo di sostanza organica di origine esogena (compost), delle minime lavorazioni e di seminesu sodo per le principali colture estensive in provincia di Ferrara (cereali autunno-vernini e mais).

1. Studio e valutazione dei suoli

A cura di Carla Scotti, Antea De Monte - I.TER soc coop a.r.l – Bologna

Metodologia

All'avvio del progetto, presso entrambe le aziende partner, ovvero Fondazione Navarra e Graziano Sarto, è stata condotta un'indagine pedologica speditiva con trivella olandese al fine di scegliere, tra gli appezzamenti aziendali, quello maggiormente rappresentativo dei principali ambienti pedologici delle aree vulnerabili ai nitrati della pianura ferrarese, su cui eseguire le sperimentazioni. Ovviamente la selezione ha dovuto tenere conto anche della precessione colturale idonea per l'impostazione sperimentale. Per l'azienda Fondazione Navarra è stato selezionato l'appezzamento caratterizzato da suoli riconducibili alla Tipologia dei suoli Baura franco argilloso limosi in rappresentazione delle "Terre dei dossi abbandonati del Po" pur riscontrando la transizione con un ambiente di valle caratterizzato da depositi alluvionali fini. Per l'azienda di Graziano Sarto si è scelto l'appezzamento caratterizzato da omogeneità pedologica in cui è stata riconosciuta la presenza di suoli attribuibili alla tipologia Forcello argilloso limoso tipici delle "Terre argillose con orizzonti torbosi della pianura deltizia".
Al fine di conoscere in maggior dettaglio la variabilità pedologica presente in ciascun appezzamento oggetto di sperimentazione, si è eseguita la descrizione di ulteriori trivellate fino a 110 cm di profondità e lo studio di profili di suolo descrivendo i relativi caratteri fino a 140 cm di profondità. La descrizione ha fatto riferimento al "Manuale di Campagna" ed. Luglio 2002 del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.
Nei profili è stato eseguito un campionamento, per analisi di laboratorio routinarie, che ha interessato gli strati 0-15 cm e 15-40 cm e poi i vari strati pedologici sottostanti che sono stati riconosciuti e descritti.

Azienda	N° trivellate indagine selezione siti	N° trivellate caratterizzazione pedologica	N° profili pedologici
Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra	4	5	3
Azienda Agricola Graziano Sarto	4	10	1

I suoli del sito sperimentale Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra

Rispetto al Catalogo dei suoli della pianura emiliano-romagnola (edizione 2015) realizzata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, l'appezzamento ricade all'interno dell'unità cartografica BAU1 (consociazione dei suoli BAURA franco argillosi limosi).

Localizzazione sito sperimentale in funzione della Carta dei Suoli 1:50000

Il sito è localizzato nei pressi di Cona all'interno del comune di Ferrara (FE) e si trova nella pianura deltizia interna, in ambiente di argine naturale distale dell'apparato distributore. In particolare, è collocato in un ambiente di transizioni fra i dossi formati dai rami principali del Po attivi precedentemente alla rotta di Ficarolo (1152 d.C.), caratterizzato da depositi alluvionali di medio impasto e le valli caratterizzate da alluvioni fini. Le quote sono tipicamente tra i 2 e i 5 m su livello del mare e la pendenza è circa 0,1%.

Il suolo, attribuito a Baura franca argillosa limosa (BAU1) con grado di centralità 3, è molto profondo a tessitura franca argillosa limosa nella parte superiore formatosi su alluvioni di medio impasto tipiche delle "Terre dei dossi abbandonati della pianura deltizia". Gli strati inferiori, presenti tra i 50 e 90 cm, sono argilloso limoso e sono collegati a depositi fini. Nel complesso il suolo è da moderatamente a molto calcareo da debolmente a moderatamente alcalino. La disponibilità di ossigeno è moderata. Il substrato alluvionale deriva da due eventi deposizionali differenti: alluvioni a tessitura media sovrastanti a depositi fini. Per tale motivo l'area

Profilo pedologico rilevato presso Azienda Agricola Fondazione Navarra

sperimentale è stata impostata, in riferimento all'intero appezzamento, facendola ricadere principalmente dove prevalgono maggiori spessori dei depositi alluvionali a tessitura media.

Analisi fisico-chimiche riferite al profilo studiato

N° Orizzonte:	Profondità cm:	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	Calcare totale %	Calcare attivo%
1 orizzonte	0-15	11	54	35	7,69	10	3,9
1 orizzonte	15-30	9	57	34	7,72	8	5,1
2 orizzonte	30-45	6	60	34	7,54	9	5,1
3 orizzonte	45-70	11	55	34	7,85	15	7,4
4 orizzonte	70-105	11	46	43	7,87	2	0,5
5 orizzonte	105-130	6	49	45	7,86	3	1,1
6 orizzonte	130-150	11	55	34	7,94	11	4,9

N° Orizzonte:	Sostanza organica % (metodo an. elementare)	Potassio assimilabile (come K2O) mg/kg	Fosforo assimilabile (come P2O5) mg/Kg	Azoto totale ‰
1 orizzonte	2,2	285	53,3	1
1 orizzonte	2,7	277	57,9	1
2 orizzonte	2,1	244	56,7	0,8
3 orizzonte	0,4	173	44,9	0,2
4 orizzonte	2,2	293	49,2	0,9
5 orizzonte	0,8	360	44,2	0,1
6 orizzonte	0,7	154	41,3	0,2

I suoli del sito sperimentale Azienda Agricola Graziano Sarto

Rispetto al Catalogo dei suoli della pianura emiliano-romagnola (edizione 2015) realizzata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, l'appezzamento ricade all'interno dell'unità cartografica LFI1-FOR1 (Associazione dei suoli LA FIORANA franco limosi - FORCELLO argilloso limosi).

Localizzazione sito sperimentale in funzione della Carta dei Suoli 1:50000

Il sito è localizzato nei pressi di Portomaggiore (FE) e si trova nella piana deltizia esterna caratterizzata da unità morfologiche di transizione all'apparato deltizio interno, inattivo, del fiume Po. Tali aree sono riconducibili a terreni morfologicamente depressi e in passato paludosi, solcati dai numerosi canali di ordine secondario dell'apparato distributore i quali risaltano ancora nel paesaggio. Nell'epoca delle arature i campi, infatti, presentano tipiche variegature nel colore della terra. Le quote sono prossime al livello del mare, comprese tra +1 e -2 m, e la pendenza è circa 0.5%.
Il suolo, attribuito al FORCELLO argillosa limosa (FOR1) con grado di centralità 3, è molto profondo a tessitura franca argillosa limosa nella parte superiore e argillosa limosa in quella inferiore. È scarsamente calcareo nella parte superiore e molto calcareo nella parte inferiore, da debolmente a moderatamente alcalino. Oltre un metro è stata rilevata una falda d'acqua. Il substrato è costituito da sedimenti alluvionali calcarei, a tessitura fine. La disponibilità di ossigeno è imperfetta.

Profilo pedologico rilevato presso Azienda Agricola Graziano Sarto

Analisi fisico-chimiche riferite al profilo studiato

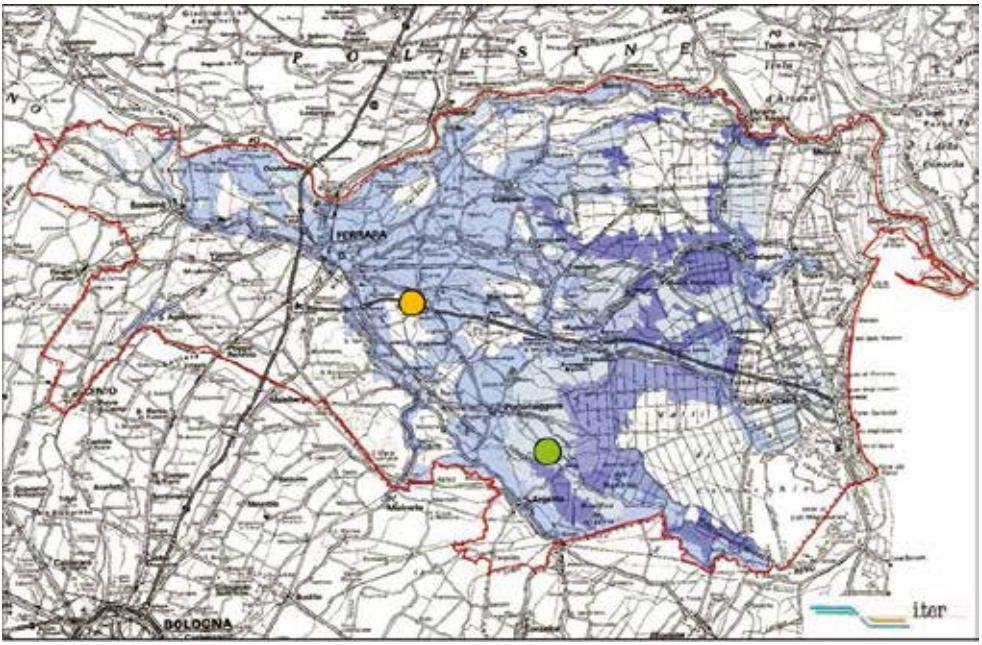
N° Orizzonte:	Profondità cm:	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	Calcare totale %	Calcare attivo %
1 orizzonte	0-15	14	52	34	7,71	4	1,1
2 orizzonte	15-40	9	57	34	7,78	4	1,3
3 orizzonte	40-70	7	49	44	7,93	4	1,3
4 orizzonte	70-85	9	49	42	7,72	4	1,5
5 orizzonte	85-150	9	47	44	8	12	7,1

N° Orizzonte:	Profondità cm:	Sostanza organica % (metodo an. elementare)	Potassio assimilabile (come K2O) mg/kg	Fosforo assimilabile (come P2O5) mg/Kg	Azoto totale ‰
1 orizzonte	0-15	4,3	483	125,8	2,5
2 orizzonte	15-40	4,5	437	102,9	2,4
3 orizzonte	40-70	3,9	484	82,9	2,1
4 orizzonte	70-85	1,4	456	20,5	1,1
5 orizzonte	85-150	0,9	316	30,4	0,6

Carta della rappresentatività dei siti sperimentali

In funzione della "Carta dei suoli della pianura emiliano-romagnola" in scala 1:50.000, edizione 2015, del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, è stata elaborata la Carta della rappresentatività dei siti all'interno del territorio di pianura di Ferrara accorpando le Unita Cartografiche caratterizzate da simile comportamento agronomico rispetto ai suoli rilevati nei siti sperimentali. Il sito dell'azienda Fondazione Navarra è rappresentativo delle "Terre dei dossi abbandonati della pianura deltizia" mentre il sito dell'azienda Agricola Graziano Sarto è rappresentativo delle "Terre argillose con orizzonti torbosi della pianura deltizia".
Il significato della parola "Terre", qui utilizzato, comprende tutti gli elementi che influenzano l'uso potenziale del territorio. Quindi il termine si riferisce alle principali caratteristiche della geologia, dei suoli, della morfologia, del clima, dell'idrologia, della vegetazione e della fauna. Sono inclusi nella definizione anche i risultati fisici delle attività umana svolte in passato, come ad esempio gli interventi di bonifica.

Carta della rappresentatività pedologica dei siti sperimentali



Legenda della Carta della rappresentatività dei siti sperimentali

	Sito Fondazione Per l'Agricoltura Fratelli Navarra
	Sito Azienda Agricola Graziano Sarto
	Terre argillose con orizzonti torbosi della pianura deltizia
	Terre dei dossi abbandonati della pianura deltizia
	Terre argillose con orizzonti torbosi della pianura deltizia associate ad altre Terre
	Terre dei dossi abbandonati della pianura deltizia associate ad altre Terre
	Altre Terre
	Confine provinciale

Principali considerazioni agronomiche

Terre dei dossi abbandonati della pianura deltizia

I suoli hanno caratteristiche fisiche condizionate dalla prevalenza della frazione limosa: l'esecuzione delle lavorazioni principali è agevole, sia per i ridotti tempi di attesa (circa 2-3 gg) necessari per entrare in campo, sia per le modeste potenze richieste; maggiore cautela è invece necessaria, a causa della tendenza a formare crosta superficiale, nelle operazioni di affinamento; offrono un elevato spessore, dotato di buona fertilità naturale ed elevata capacità in acqua disponibile per le piante, privo di restrizioni significative all'approfondimento e all'esplorazione radicale. Mostrano buone attitudini produttive nei confronti delle principali colture praticabili.

Terre argillose con orizzonti torbosi della pianura deltizia

I suoli hanno caratteristiche fisiche condizionate generalmente da un elevato contenuto in argille: sono tipicamente adesivi e plastici e richiedono notevole tempestività nell'esecuzione delle lavorazioni (maggiore ai 7 gg), che devono essere effettuate in condizioni di umidità buone. Inoltre, la possibile presenza, in profondità, di orizzonti torbosi e/o di orizzonti minerali ad elevato indice di plasticità condiziona negativamente la capacità portante, con conseguente elevato rischio di sprofondamento dei mezzi meccanici. L'elevato contenuto di argilla e di materia organica, d'altro canto, conferisce a questi suoli una buona fertilità naturale. Le difficoltà di drenaggio rendono necessaria l'adozione di una efficiente rete scolante per l'allontanamento delle acque in eccesso.

2. Le prove agronomiche di Nitrati Ferrara

A cura di Paolo Mantovi – Fondazione CRPA Studi Ricerche, Luca Davì - Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra, Graziano Sarto – Azienda Agricola Graziano Sarto

Entrambe le aziende agricole partner del Gruppo Operativo Nitrati Ferrara, Fondazione Navarra e Graziano Sarto, hanno ospitato una prova agronomica dedicata al confronto tra diverse modalità di conduzione dei terreni, variando dalla lavorazione convenzionale fondata sull'aratura e sino alla pratica più conservativa della non lavorazione.
In particolare, in ciascuna delle due prove agronomiche sono stati confrontati quattro trattamenti di gestione del terreno, di cui due di agricoltura convenzionale e due di agricoltura conservativa:

1) Lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm (sigla A)
2) Lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove (sigla A+c)
3) Minime Lavorazioni utilizzando attrezzi combinati con dischi e ancore e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove (sigla M+c)
4) Non lavorazione con semina su sodo (presso Graziano Sarto, sigla S) e distribuzione di ammendante organico (compost) all'inizio del ciclo triennale di prove (presso Fondazione Navarra, sigla S+c)

Questo ultimo trattamento, con semine su sodo, ha visto la distribuzione del compost solo presso Fondazione Navarra, dove si è potuto effettuare l'interramento del materiale organico in coincidenza di un necessario intervento di decompattamento a inizio prove, autunno 2016), dopo la raccolta della barbabietola da zucchero in precessione. La coltura in precessione presso Graziano Sarto è stata il mais da granella, sempre nel 2016.

Intervento di decompattamento (inizio prove autunno 2016)

Intervento di aratura con interramento dei residui colturali

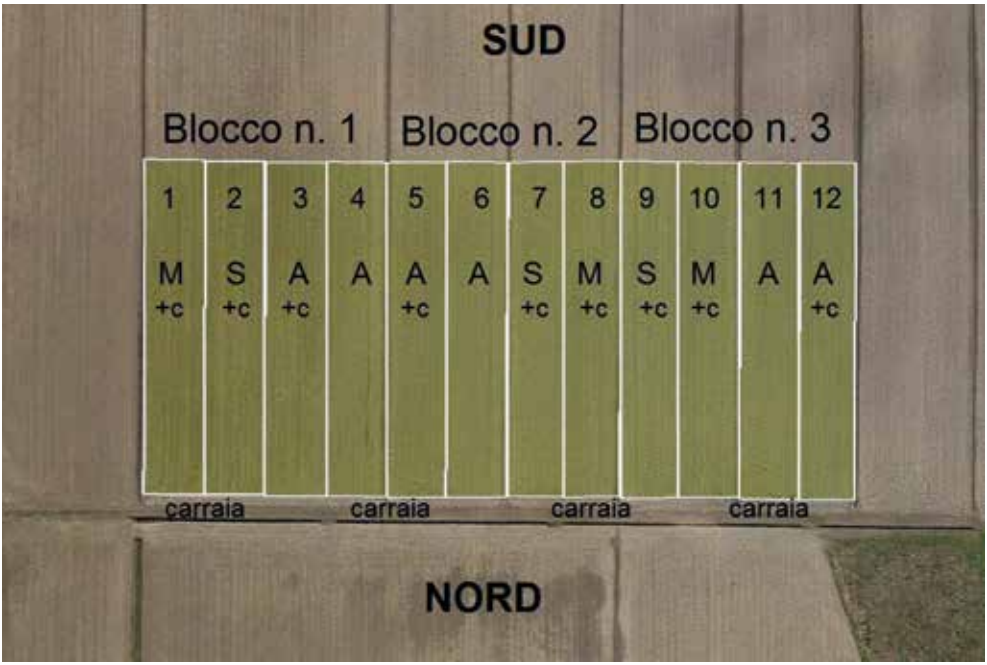
Minima lavorazione con interramento di compost

Semina su sodo di frumento tenero su residui di mais (Azienda Agricola Fondazione Navarra)

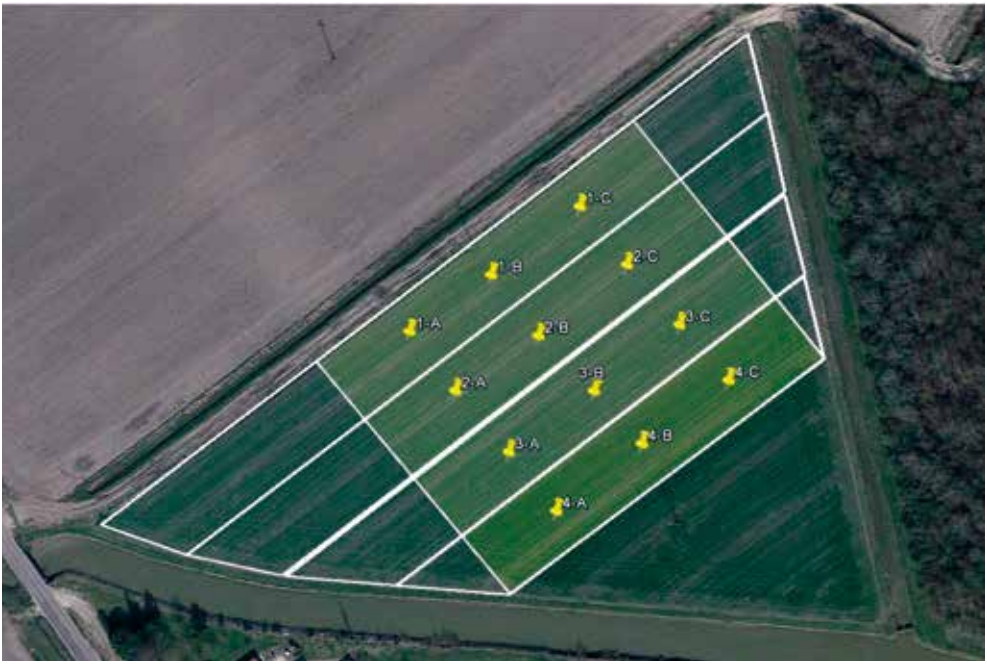
Semina su sodo di frumento tenero su residui di mais (Azienda Agricola Graziano Sarto)

Le due figure che seguono riportano i due schemi di campo rispettivamente per le prove condotte presso Fondazione Navarra e Graziano Sarto. Nel primo caso si è trattato di una prova a blocchi randomizzati con tre ripetizioni per ciascuno dei quattro trattamenti mentre nel secondo caso si è trattato di una prova dove ciascuno dei quattro trattamenti è stato effettuato in un parcellone in cui si sono ripetute per tre volte le misure. Si è trattato quindi di una prova di tipo sperimentale nel caso di Fondazione Navarra e di una prova di tipo dimostrativo presso Graziano Sarto.

Schema di campo della prova agronomica presso Azienda Agricola Fondazione Navarra



Schema di campo della prova agronomica presso Azienda Agricola Graziano Sarto



La successione delle colture nei tre anni di prove è stata la medesima nelle due aziende:

- 2016-2017 Frumento tenero

Varietà *Sobred* (Caussade Semences) presso Fondazione Navarra e *Bologna* (Società Italiana Sementi) presso Graziano Sarto

- 2018 Mais da granella

Varietà *P1535* (Classe FAO 600 di Pioneer Du Pont) presso Fondazione Navarra e *DKC5830* (Classe FAO 500 di Dekalb Monsanto) presso Graziano Sarto

- 2018-2019 Frumento tenero

Varietà *Giorgione* (Società Italiana Sementi) presso Fondazione Navarra e *Bologna* (Società Italiana Sementi) presso Graziano Sarto

Le tabelle che seguono riportano i quantitativi di azoto impiegati ai fini fertilizzanti nei tre anni sulle diverse coltivazioni e trattamenti a confronto.

Apporti di azoto nella prova agronomica di Fondazione Navarra (kg/ha)

Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost**	**Minima lavorazione + compost**	**Sodo + compost**
2017	**Frumento tenero**	171	178*	178*	178*
2018	**Mais granella**	267	267	267	267
2019	**Frumento tenero**	154	154	154	154

* considerando efficienza d'uso dell'azoto da compost pari al 40% il primo anno, moltiplicata per il coefficiente tempo 0,6 del frumento

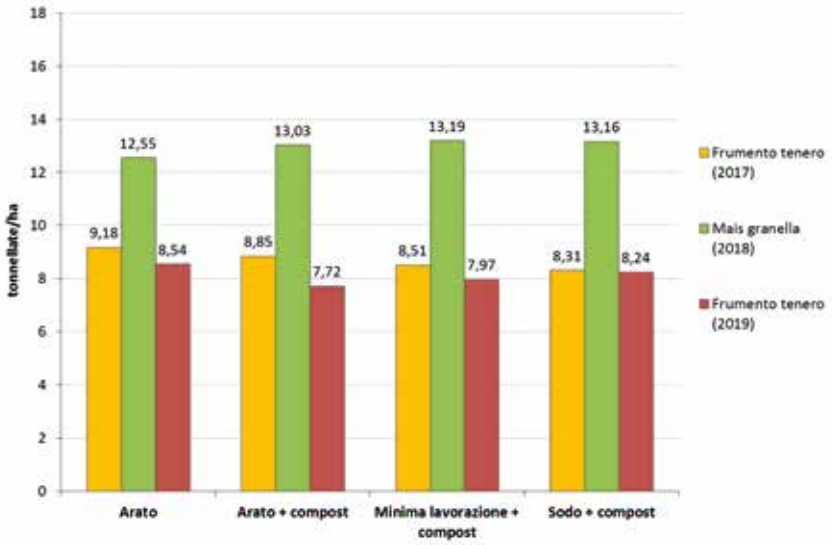
Apporti di azoto nella prova agronomica di Graziano Sarto (kg/ha)

Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost**	**Minima lavorazione + compost**	**Sodo**
2017	**Frumento tenero**	171	171*	171*	191
2018	**Mais granella**	275	275	275	130
2019	**Frumento tenero**	187	187	187	203

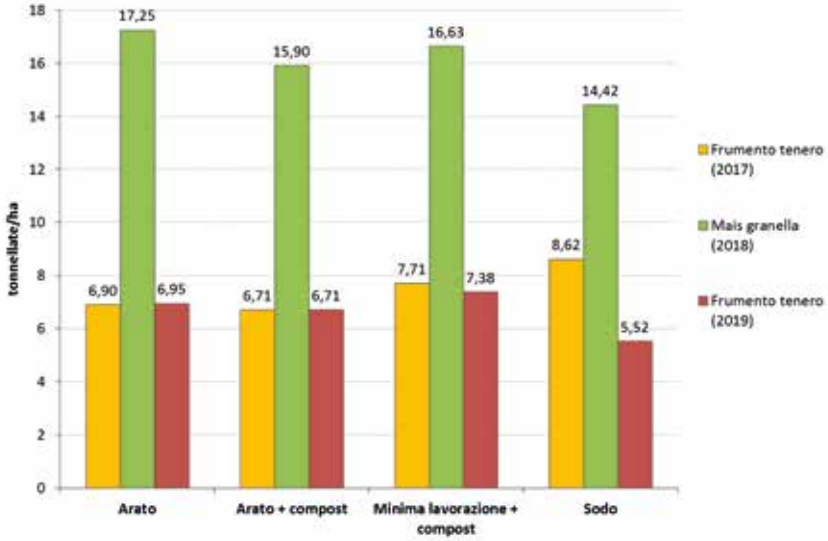
* considerando efficienza d'uso dell'azoto da compost pari al 40% il primo anno, moltiplicata per il coefficiente tempo 0,6 del frumento

I grafici che seguono riportano i risultati produttivi delle coltivazioni, in termini quantitativi, come rese di granella espresse con una umidità commerciale del 13% per la granella di frumento e del 14% per la granella di mais.

Rese in granella ottenute nella prova agronomica della Fondazione Navarra (t/ha ad umidità commerciale)



Rese in granella ottenute nella prova agronomica di Graziano Sarto (t/ha ad umidità commerciale)



Le rese in granella delle diverse coltivazioni sono generalmente risultate buone, con alcune punte di eccellenza.
Le maggiori rese per il frumento tenero sono state ottenute presso Fondazione Navarra, con valori variabili tra 7,7 e 9,2 t/ha all'umidità commerciale. In quest'azienda, mentre nel primo anno di prove (2017) si era ottenuto qualcosa di più nei trattamenti con lavorazioni convenzionali, nel terzo anno (2019) le produzioni si sono "pareggiate", con i valori inferiori per i trattamenti A+c e M+c ove l'apporto del compost ha continuato a manifestare i propri effetti dando origine a qualche allettamento, seppure in misura non rilevante.

Al contrario, presso Graziano Sarto nel primo anno di prove le migliori rese di granella di frumento erano state ottenute nelle parcelle gestite in regime conservativo, in particolare in quella con semina su sodo, a motivo della maggiore conservazione dell'acqua nel terreno che ha determinato minore stress idrico nel corso di una stagione primaverile particolarmente siccitosa. Nel terzo anno invece la produzione del trattamento di non lavorazione ha risentito di una semina ritardata di qualche settimana rispetto agli altri trattamenti.
Per la granella di mais nel 2018 le migliori rese sono state ottenute presso Graziano Sarto, posizionato in zona particolarmente vocata per questa coltura, con valori molto elevati per tutti i trattamenti seppure inferiori nella tesi a sodo seminata qualche giorno più tardi rispetto alle altre, in un'annata che è risultata particolarmente favorevole a questa coltivazione. Comunque buone anche le rese ottenute presso Fondazione Navarra, localizzata in zona meno vocata per questa coltura, con valori piuttosto simili per tutti i trattamenti ma superiori nelle tesi di agricoltura conservativa, sebbene la differenza non risulti statisticamente significativa.
I contenuti proteici delle granelle, riportati nelle tabelle seguenti, sono risultati nella norma e, tenuto conto delle rese ettariali, sono scaturite nelle asportazioni di azoto indicate tra parentesi.

Contenuto proteico delle granelle, prova agronomica della Fondazione Navarra (%SS)

Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost**	**Minima lavorazione + compost**	**Sodo + compost**
2017	**Frumento tenero**	13,31 (170)	13,17 (162)	12,54 (149)	13,76 (159)
2018	**Mais granella**	8,56 (148)	8,53 (153)	8,40 (152)	8,52 (154)
2019	**Frumento tenero**	15,12 (180)	15,81 (170)	14,90 (165)	14,75 (169)

Tra parentesi i valori delle asportazioni ettariali di azoto dovuti alle granelle

Contenuto proteico delle granelle, prova agronomica di Graziano Sarto (%SS)

Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost**	**Minima lavorazione + compost**	**Sodo**
2017	**Frumento tenero**	16,71 (160)	16,41 (153)	15,11 (162)	14,70 (176)
2018	**Mais granella**	8,41 (200)	8,94 (196)	8,27 (189)	7,95 (158)
2019	**Frumento tenero**	14,25 (138)	14,68 (137)	14,42 (148)	14,29 (110)

Tra parentesi i valori delle asportazioni ettariali di azoto dovuti alle granelle

Risulta pertanto possibile calcolare le differenze tra gli apporti di azoto efficiente e le asportazioni effettive, cioè quelle dovute alla raccolta delle granelle, che vengono riportate nelle due tabelle che seguono.

Differenze tra apporti di azoto efficiente e asportazioni nei prodotti vegetali, prova agronomica della Fondazione Navarra (kg/ha)

Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost**	**Minima lavorazione + compost**	**Sodo + compost**
2017	**Frumento tenero**	-7	9	29	19
2018	**Mais granella**	119	114	115	113
2019	**Frumento tenero**	-26	-16	-11	-15
	SOMME	86	107	133	117

Il segno meno significa che le asportazioni hanno superato gli apporti

Differenze tra apporti di azoto efficiente e asportazioni nei prodotti vegetali, prova agronomica di Graziano Sarto (kg/ha)

Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost**	**Minima lavorazione + compost**	**Sodo**
2017	**Frumento tenero**	-5	7	9	15
2018	**Mais granella**	75	79	86	-28
2019	**Frumento tenero**	49	50	39	93
	SOMME	119	136	134	80

Il segno meno significa che le asportazioni hanno superato gli apporti

Nel complesso delle prove condotte si è fatto in modo di rispettare i valori di Massima Applicazione Standard dell'azoto efficiente previsti per le coltivazioni di frumento (pari a 180 kg N/ha) e di mais (pari a 280 kg N/ha). Questo consente generalmente di avere un buon bilanciamento tra apporti e asportazioni per la coltura del frumento mentre per quanto riguarda il mais, anche con elevate produzioni di granella, se non si asportano i residui (stocchi, brattee e tutoli) si misurano sbilanci di azoto che però in buona parte si devono attribuire alla quota del nutriente assorbita dai residui, che quindi ritorna in circolo sotto forma organicata.

3. Monitoraggio delle trasformazioni e del trasporto dell'azoto

A cura di Fabio Vincenzi, Nicolò Colombani, Dario Di Giuseppe, Komi Edoh Eklu, Luigi Alessandrino e Giuseppe Castaldelli - Dipartimento di Scienze della Vita e Biotecnologie, Università degli Studi di Ferrara

L'attività è finalizzata a descrivere l'andamento temporale delle concentrazioni delle specie azotate e dei nitrati acquifero libero e nel suolo insaturo, al variare della disponibilità di sostanza organica del terreno e dei parametri gestionali come la lavorazione e la tipologia di terreno, la coltura, l'andamento della piovosità, ecc. La strumentazione di campo per il monitoraggio della qualità delle acque è stata organizzata secondo il seguente schema: in entrambe le aziende, in una parcella (replica) di ciascun trattamento (aratura convenzionale, aratura con compost, minima lavorazione con compost e nessuna lavorazione) è stata istallata una sonda Watermark per la misura della umidità del terreno e del potenziale idrico e in prossimità una termocoppia per la misura della temperatura del suolo e la compensazione del valore di umidità, per un totale di otto sonde (4 x 2 = 8). In ciascuna delle otto parcelle è stata istallata una batteria di 3 piezometri (2,5 cm di diametro interno), indicativamente da -2 a -4 m dal piano campagna, per monitorare il livello e la qualità delle acque sotterranee, per un totale di 24 piezometri (2 x 3 x 4 = 24**).** Inoltre, in ogni azienda è stato posizionato un pluviometro. L'allestimento dei campi sperimentali è stato effettuato da personale del Dipartimento di Scienze della Vita e Biotecnologie dell'Università di Ferrara. I piezometri sono stati campionati indicativamente ogni mese, in assenza di precipitazioni intense e ogni settimana a seguito di eventi meteorici importanti, per tutti i tre anni del progetto. Nei campioni prelevati, oltre alla descrizione delle

Monitoraggio dei piezometri e scaricamento dei parametri del suolo rilevati in continuo nei campi coltivati a grano

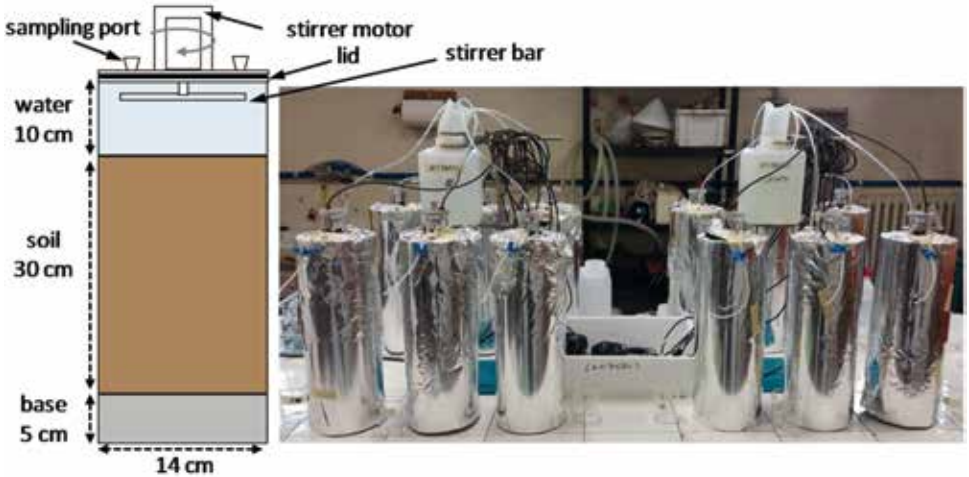
principali caratteristiche chimiche e fisiche, sono stati studiate la speciazione dell'azoto, la disponibilità di fosforo e di substrati carboniosi labili. In particolare, in ciascun campione sono stati dosati: ossigeno disciolto e pH, con elettrodi da campo, azoto ammoniacale, nitroso, nitrico e totale, fosforo assimilabile e totale, per via spettrofotometrica, acetato e formiato in alcuni campioni, tramite cromatografia ionica (Dionex ICS-1000), e carbonio organico totale (TOC) e carbonio inorganico totale (TIC) tramite analizzatore elementale (Shimadzu TOC-V-CSM). Nell'insieme sono stati effettuati più di ottocento prelievi e più di cinquemila dosaggi delle specie di azoto e fosforo e della sostanza organica oltre a migliaia di misure di campo. Con esperimenti di laboratorio è stato stimato il tasso di denitrificazione nelle varie condizioni di disponibilità di sostanza organica, differenziando la quota parte di processo che porta alla formazione di azoto molecolare e quella che porta alla formazione di protossido di azoto (N_2O), tramite spettrometria di massa MIMS e gas cromatografia ECD, rispettivamente per N_2 e N_2O.
In ciascuna replica dei quattro trattamenti di ciascuna della due aziende, sono state prelevate 3 carote di sedimento (3,5 cm diametro interno, profondità 1,2 m) per il controllo della disponibilità e mobilità dei nitrati nel suolo. Complessivamente sono state campionate 432 carote di sedimento.

Risultati

I risultati ottenuti hanno confermato le ipotesi di una riduzione del rischio di inquinamento da nitrati tramite la messa a punto di nuovi metodi di coltivazione basati su apporti ammendanti e tecniche di agricoltura conservativa.
L'andamento delle concentrazioni della sostanza organica è stato valutato sia a seguito di a) somministrazione di ammendante (compost) e sia tramite b) adozione di minime lavorazioni (decompattazione/discatura) o c) coltivazione su sodo. I siti oggetto della sperimentazione sono rappresentativi di buona parte della provincia di Ferrara, come illustrato nella relazione di I.TER.
Per comodità di trattazione e di lettura, abbiamo deciso di presentare solamente alcuni risultati riguardanti l'andamento nei suoli dei nitrati e della sostanza organica, misurata come carbonio organico totale. Una più dettagliata trattazione è riportata negli articoli pubblicati su riviste internazionali, di seguito elencati.

*1. **Effect of ebullition and groundwater temperature on estimated dinitrogen excess in contrasting agricultural environments** (2019.a) Mastrocicco, M., Soana, E., Colombani, N., Vincenzi, F., Castaldi, S., Castaldelli, G. Science of the Total Environment, 693, art. no. 133638.*
*2. **Contrasting biogeochemical processes revealed by stable isotopes of H2O, N, C and S in shallow aquifers underlying agricultural lowlands** (2019) Colombani, N., Mastrocicco, M., Castaldelli, G., Aravena, R. Science of the Total Environment, 691, pp. 1282-1296.*
*3. **Intense rainfalls trigger nitrite leaching in agricultural soils depleted in organic matter** (2019.b) Mastrocicco, M., Colombani, N., Soana, E., Vincenzi, F., Castaldelli, G. Science of the Total Environment, 665, pp. 80-90.*
*4. **Reactive nitrogen losses via denitrification assessed in saturated agricultural soils** (2019) Castaldelli, G., Colombani, N., Soana, E., Vincenzi, F., Fano, E.A., Mastrocicco, M. Geoderma, 337, pp. 91-98.*
*5. **Direct measurement of dissolved dinitrogen to refine reactive modelling of denitrification in agricultural soils** (2019.c) Mastrocicco, M., Colombani, N., Castaldelli, G. Science of the Total Environment, 647, pp. 134-140.*

Esperimento di laboratorio: misure della rimozione di nitrati per denitrificazione in carote nel terreno dei campi sperimentali



In particolare, negli articoli 1, 3, 4 e 5 sia in campo che in laboratorio è stata ulteriormente dimostrata l'ipotesi del progetto, ovvero che in presenza di sostanza organica non si verificano accumuli di nitrati, né in falda e nemmeno nei suoli. Questa evidenza risulta alquanto controversa, dato che rappresenta un controsenso rispetto al fine stesso della fertilizzazione. Di fatto, in accordo con studi pregressi, effettuati in suoli simili della provincia di Ferrara, le concentrazioni di nitrati sono rimaste generalmente basse e quelle di urea, ammonio e nitriti del tutto irrilevanti (dati non riportati in questa relazione). E' quindi un dato di fatto che in questi suoli l'azoto minerale è principalmente presente in forma di nitrati e che, in condizioni di saturazione idrica, i nitrati sono denitrificati ad azoto molecolare (N_2) che, in quanto gas passa all'atmosfera ed è perso irreversibilmente dal sistema suolo. Questa evidenza sperimentale riporta l'attenzione pratica su due punti di interesse applicativo:

1) sebbene questo meccanismo protegga le falde e in qualche modo le acque superficiali dall'inquinamento da nitrati, di fatto, si tratta di una perdita di azoto la cui funzione primaria in un campo agricolo è quella di fertilizzante. Quindi, per ridurre queste perdite nette, gli interventi di fertilizzazione devono essere effettuati in modo quanto più dilazionato possibile;

2) dato che esiste un limite operativo, oltre che economico, all'aumento del numero di interventi di fertilizzazione, tenendo conto di quanto detto sopra, la strategia più concreta per aumentare la dotazione azotata senza aumentare il rischio di perdite è quella di aumentare la frazione azotata organica, più lenta nel rilascio di azoto minerale assimilabile ma meno esposta a perdite.

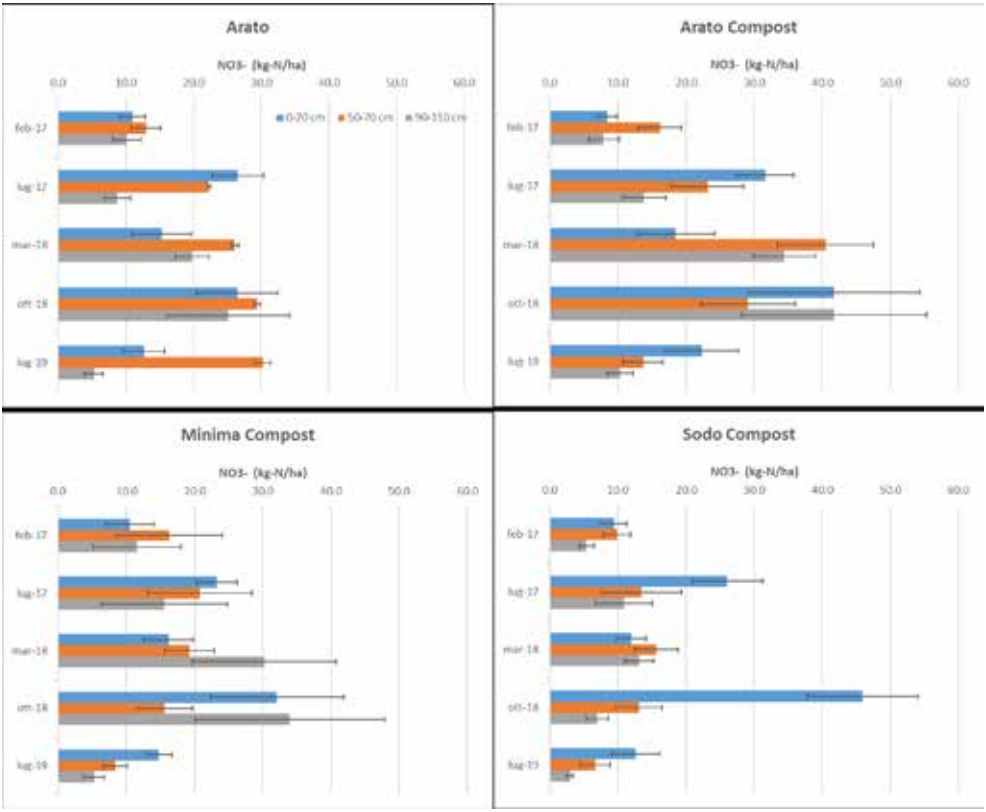
Le evidenze raccolte nel corso della sperimentazione hanno aperto la discussione anche su altri temi. Ad esempio, le concentrazioni di nitrati nell'acquifero libero sono risultate basse, cosa che è sicuramente positiva dal punto di vista della qualità ambientale. Altro tema emergente, in qualche modo connesso alla sperimentazione è il rischio di liberazione di protossido di azoto (N_2O), un pericoloso gas ad effetto serra. Il protossido di azoto

Monitoraggio dei piezometri e scaricamento dei parametri del suolo rilevati in continuo nei campi coltivati a mais

Prelievo di carote di suolo nei campi sperimentali

è un prodotto intermedio della denitrificazione e, quindi, in presenza di elevate attività di denitrificazione è ragionevole chiedersi se ed in quali quantità sia prodotto. Anche se non era oggetto di questo progetto, abbiamo effettuato alcune misure di verifica in laboratorio. I risultati ottenuti hanno mostrato rilasci minimali, indicando che, molto probabilmente, i suoli ferraresi, per le loro caratteristiche intrinseche, non liberano quantità significative di questo gas serra. Tali risultati preliminari meritano sicuramente ulteriori approfondimenti.
Degli articoli prodotti nel corso della sperimentazione, l'articolo 2, in particolare, è risultato particolarmente informativo ai fini della interpretazione dei dati relativi all'acquifero libero. Infatti, utilizzando un raffinato approccio di analisi, basato sulla interpretazione dei rapporti isotopici naturali di alcuni elementi (ossigeno, idrogeno, carbonio, azoto e zolfo) è stato possibile determinare accuratamente le modalità e tempistiche di ricarica dell'acquifero nei due siti di sperimentazione, l'azienda Fondazione Navarra, a Gualdo (Ferrara) e l'azienda Graziano Sarto, a Portomaggiore. In particolare, quanto evidenziato alla azienda Fondazione Navarra, dove l'acquifero si trova mediamente a più di due metri e mezzo sotto il piano campagna, è un tempo di ricarica estremamente lungo, superiore alla durata di questo programma di sperimentazione. Detto in altri termini, ancora una volta dai risultati è emersa la sito-specificità dei sistemi suolo-falda che anche in un territorio apparentemente omogeneo, come la provincia di Ferrara, sono talmente differenti gli uni dagli altri da non poter essere considerati con una metrica comune. Nelle parcelle sperimentali del campo della azienda Fondazione Navarra, il tempo di spostamento dell'acqua meteorica nel suolo è risultato essere così lungo che gli effetti dei trattamenti potranno influenzare ed essere monitorati nella falda freatica solamente dopo la fine della sperimentazione.
Riportiamo di seguito alcune evidenze riguardanti le concentrazioni dei nitrati e della sostanza organica nei suoli di entrambi i siti sperimentali.
Un quadro di insieme degli andamenti della disponibilità di nitrati in strati di suolo posto a varia profondità è dato nelle due figure. I grafici in esse riportati mostrano le concentrazioni di nitrati, espresse in kg di azoto in forma di ione nitrato per ettaro e per i singoli strati di suolo monitorati, a tre profondità, in superfice, da 0 a 20 cm, sotto la scarpa di lavorazione, da 50 a 70 cm, e in uno strato ancora più profondo, da 90 a 110 cm.
I grafici delle due figure mostrano anche l'evoluzione temporale delle concentrazioni, nelle cinque date in cui, dal 2017 al 2019, sono stati campionati i suoli nei due siti sperimentali. L'evoluzione temporale delle concentrazioni, quindi, è determinata dalla unica distribuzione iniziale di compost, antecedente al primo dei campionamenti, dalle successive altre distribuzioni, effettuate con concimi di sintesi e, soprattutto, degli assorbimenti di azoto da parte delle colture, grano e mais, oltre che delle possibili perdite, sia per percolazione verso la falda che per denitrificazione. Il numero delle variabili è quindi estremamente alto e ciò rende difficile l'interpretazione dei risultati, a meno di considerare ogni singolo strato in ogni preciso momento di prelievo. Tuttavia, anche da un quadro di insieme, come quello in grafico è possibile desumere delle regolarità. Ad esempio, in entrambi i siti e per tutta la durata della sperimentazione, si nota una tendenza con maggiori concentrazioni di nitrati nelle parcelle Arato e Arato+Compost. Alte concentrazioni sono state rilevate alla azienda Fondazione Navarra, nello strato più profondo della tesi Minima+Compost, a partire dal secondo anno della sperimentazione.
Come già detto, le concentrazioni di ammonio e nitriti non sono riportate in quanto sono

Concentrazioni di nitrati a diverse profondità 0-20 cm (blu), 50-70 cm (arancione) e 90-110 cm (grigio) nelle diverse parcelle sperimentali del sito della azienda Fondazione Navarra in varie campagne di misura. La barra d'errore corrisponde alla deviazione standard su 5 repliche

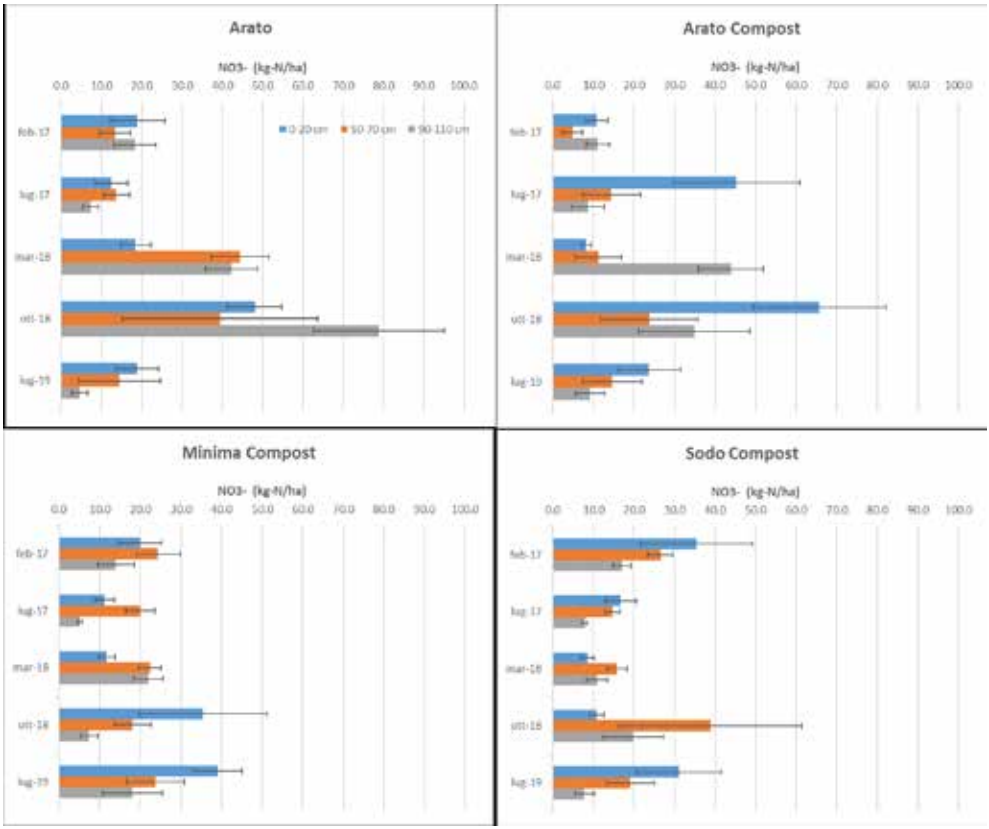


risultato costantemente molto basse, più di un ordine di grandezza inferiori rispetto a quelle dei nitrati.

La regolarità che è emersa in entrambi i siti quindi è la presenza di concentrazioni maggiori nelle tesi Arato ed Arato+Compost e soprattutto nello strato di suolo profondo (90-110 cm), ben al di sotto della rizosfera. Ciò è in linea con l'ipotesi iniziale che prevedeva minori concentrazioni nelle tesi Minima+Compost e Sodo+Compost. Per spiegare queste evidenze possono essere introdotte anche elementi fisici, quali l'aratura che sicuramente favorisce una maggior percolazione. Ciò è avvalorato anche dal fatto che le maggiori concentrazioni ricorrono nei due strati più profondi. Inoltre, l'aratura ed il conseguente maggiore arieggiamento del suolo, possono aver accelerato la mineralizzazione del compost, con due conseguenze sul destino dell'azoto: 1) una più veloce nitrificazione della frazione organica e ammoniacale a nitrati e 2) una più veloce rimozione della sostanza organica, e quindi una minore sua disponibilità per la denitrificazione e l'eventuale rimozione dell'eccesso di nitrati che, di fatto, tendono ad accumularsi negli strati più profondi.

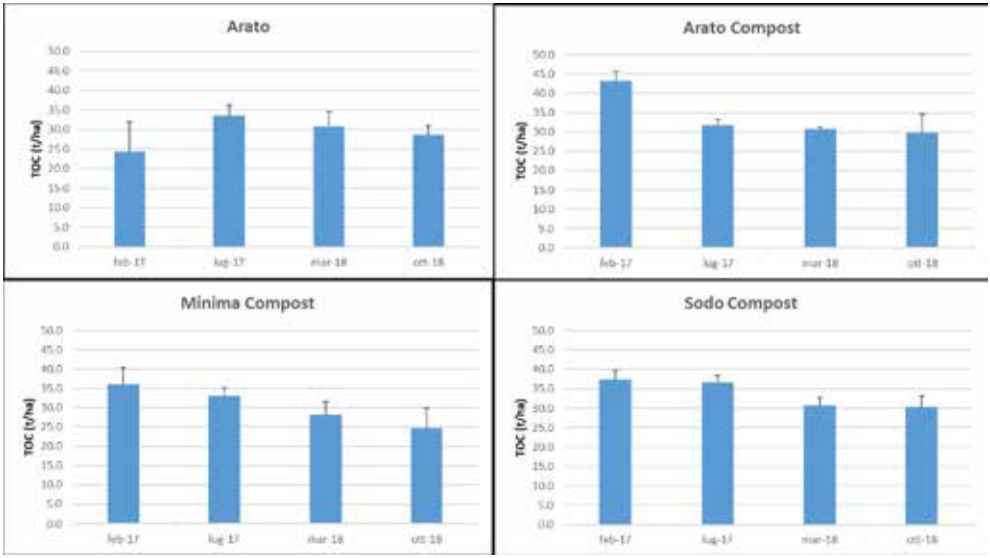
Questo secondo punto è in parte confermato dalle successive figure che presentano gli

Concentrazioni di nitrato a diverse profondità 0-20 cm (blu), 50-70 cm (arancione) e 90-110 cm (grigio) nelle diverse parcelle sperimentali del sito della azienda Graziano Sarto, in varie campagne di misura. La barra d'errore corrisponde alla deviazione standard su 5

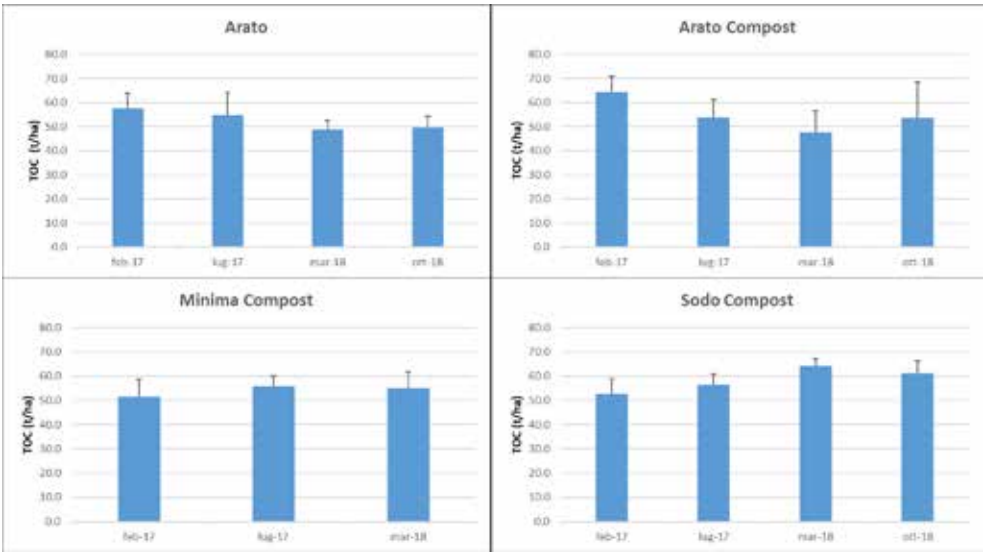


andamenti della sostanza organica, misurata come concentrazione del carbonio organico totale, di qui in avanti indicato con la sigla TOC. I valori del TOC presentati nei grafici arrivano alla fine del 2018, in quanto quelli relativi al 2019 non sono risultati disponibili entro i tempi della messa in stampa di questa pubblicazione a causa di un guasto all'analizzatore. Le analisi sono in corso e saranno completate entro i tempi del progetto.
In entrambi i siti rileviamo una tendenza più marcata al calo di sostanza organica nelle tesi che comportavano aratura, rispetto alla minima lavorazione o alla assenza di lavorazione. Le due figure successive mostrano tale calo nello strato superficiale (0-20 cm) delle varie tesi nei due siti. Le variazioni tra periodi risentono ovviamente oltre che della aggiunta iniziale di compost, anche dell'accumulo dei residui colturali, che nel caso del grano, nel primo e terso anno, è stata minore di quella determinata da mais, nel secondo anno.
In particolare, dal confronto tra l'azienda Fondazione Navarra e l'azienda Graziano Sarto si vede che in tutte le varie tesi, il terreno della azienda Fondazione Navarra è più povero di sostanza organica all'inizio della prova, con valori di TOC circa la metà rispetto alla

Carbonio organico totale nelle diverse parcelle sperimentali del sito della azienda Fondazione Navarra alla profondità di 0-20 cm. La barra d'errore corrisponde alla deviazione standard su 5 repliche

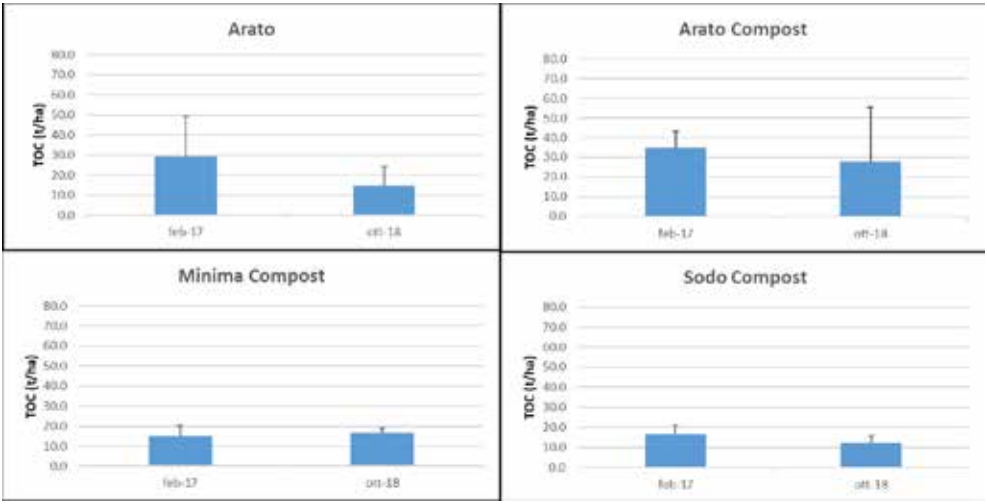


Carbonio organico totale nelle diverse parcelle sperimentali del sito della azienda Graziano Sarto, alla profondità di 0-20 cm. La barra d'errore corrisponde alla deviazione standard su 5 repliche



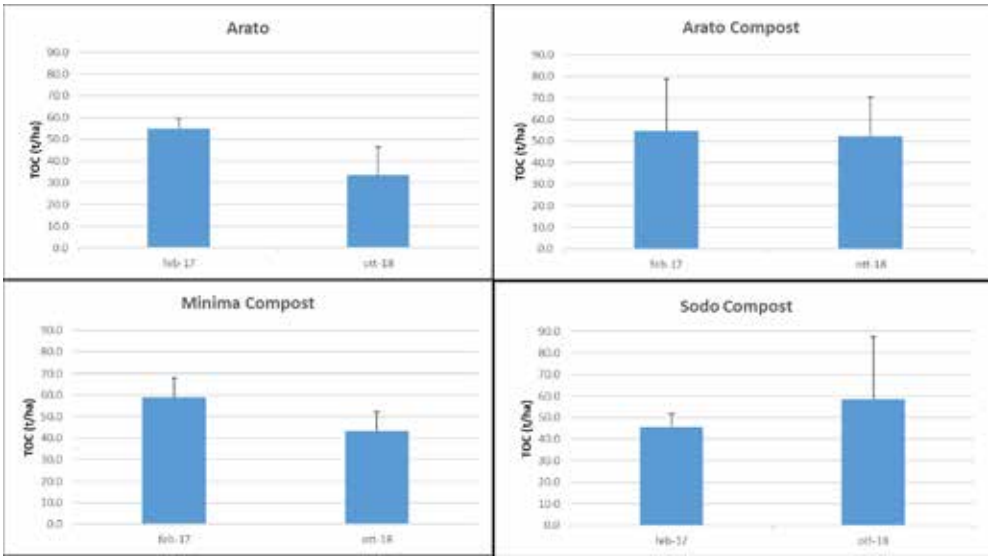
azienda Graziano Sarto. Inoltre, tutte le tesi all'azienda Fondazione Navarra mostrano una tendenza a consumare la sostanza organica più di quanto non accada nelle rispettive tesi all'azienda Graziano Sarto, dove nel sodo e minima lavorazione il carbonio organico mostra una tendenza ad aumentare, sebbene la tesi di non lavorazione con semina su sodo non avesse ricevuto alcuna aggiunta di compost.
La figura sottostante mostra il TOC nello strato sotto la scarpa di lavorazione (50-70 cm)

Carbonio organico totale nelle diverse parcelle sperimentali del sito della azienda Graziano Sarto, alla profondità di 50-70 cm. La barra d'errore corrisponde alla deviazione standard su 5 repliche



alla azienda Fondazione Navarra, all'inizio della sperimentazione, dopo la distribuzione del compost e alla fine del 2018. Il TOC decresce nell'Arato mentre nell'Arato+Compost il TOC risulta stabile ma con estrema variabilità spaziale (barra d'errore molto ampia). Nelle tesi Minima+Compost e Sodo+Compost il TOC mostra valori molto minori, stabili e in leggera decrescita, rispettivamente.
La figura che segue mostra il TOC nello strato sotto la scarpa di lavorazione (50-70 cm) all'azienda Graziano Sarto, all'inizio ed alla fine del 2018. Il TOC decresce nell'Arato mentre nell'Arato+Compost il TOC risulta più stabile ma con estrema variabilità spaziale (ampie barre d'errore). Nelle parcelle Minima+Compost il TOC decresce come nell'Arato e nel Sodo e i due valori, sebbene caratterizzati da una estrema variabilità spaziale (ampie barre d'errore), delineano una tendenza all'aumento, come evidenziato nello strato superficiale (0-20 cm) della stessa tesi.
Dall'analisi condotta risulta una tendenza di incremento del TOC nelle parcelle sperimentali Sodo+Compost del sito dell'azienda Graziano Sarto, in superficie (0-20 cm) e nello strato più profondo (5-70 cm), sebbene non statisticamente significativa a causa della elevata dispersione dei dati (elevate barre di errore). Nella stessa tesi alla azienda Fondazione Navarra la tendenza è di decrescita ma meno accentuata rispetto alle altre tre tesi. Questo andamento è in accordo con l'ipotesi fatta e con i profili verticali della concen-

Carbonio organico totale nelle diverse parcelle sperimentali del sito dell'azienda Graziano Sarto, alla profondità di 50-70 cm. La barra d'errore corrisponde alla deviazione standard su 5 repliche



trazione dei nitrati nel suolo, che nelle tesi Sodo+Compost e Minima+Compost hanno mostrato i valori più bassi.

Nell'insieme, queste evidenze, unitamente agli altri risultati della sperimentazione in campo e in laboratorio, pubblicati negli articoli indicati all'inizio di questo capitolo, provano l'ipotesi fatta, ovvero che le pratiche conservative che favoriscono l'accumulo di sostanza organica hanno contestualmente l'effetto di prevenzione dei fenomeni di percolazione di nitrati.

Sebbene sia noto in letteratura che l'accumulo della sostanza organica nei suoli è un processo lungo e che necessita di molti anni per evidenziare effetti, nell'arco di due anni di sperimentazione in campo sono stati evidenziati andamenti coerenti con le ipotesi. Ciò sostiene la bontà delle scelte agronomiche e sperimentali fatte e dei metodi di campionamento e di analisi scelti.

4. Valutazione sostenibilità economica

A cura di Cesare Meloni, Ludovico Gruppioni – Areté S.r.l., Bologna

Metodologia

L'analisi economica è stata effettuata tramite raccolta dati dalle aziende agricole del Gruppo Operativo relativamente a:

- Costi di produzione (variabili) per singola tesi (trattamento) a confronto;
- Ricavi attesi per la produzione di ogni singola tesi alla luce della qualità e tipologia del prodotto coltivato.

La raccolta dei dati è avvenuta direttamente in azienda tramite compilazione di un modello di raccolta dati primari, suddiviso per le quattro tesi replicate nelle due aziende oggetto di analisi (Fondazione Navarra e Graziano Sarto). Ogni scheda è stata successivamente elaborata e confrontata con i valori ed i risultati ottenuti dalle due aziende per quelle tipologie di colture in quel determinato anno con la tesi Aratura 40 cm. Successivamente è stata realizzata una simulazione economico-finanziaria per valutare i differenziali costi/ricavi a livello aggregato nel caso di adozione delle tecniche di cui al progetto nell'intero territorio provinciale (Ferrara).

Per il calcolo dei costi delle operazioni produttive si è tenuto conto delle attività realmente condotte nelle parcelle delle quattro tesi; il costo è stato stimato sulla base delle tariffe applicate dai contoterzisti per operazioni analoghe su base ettaro. Per i mezzi tecnici si è tenuto conto dei costi realmente sostenuti.

Per il calcolo dei ricavi è stata utilizzata la quotazione media annua della camera di commercio di Bologna per le due colture oggetto di studio (frumento tenero e mais) nei rispettivi anni di coltivazione. Per il frumento tenero è stato considerato come "annualità di riferimento" il periodo giugno – maggio dell'anno successivo, mentre per il mais il periodo settembre – agosto dell'anno successivo. Per quanto riguarda il frumento tenero il prezzo impiegato per il calcolo dei ricavi delle singole tesi ha tenuto conto della qualità della granella raccolta (contenuto proteico della stessa).

Risultati ottenuti

Nei 3 grafici che seguono sono stati riportati i margini di contribuzione delle due aziende per le quattro tesi e per ciascuna coltura nei tre anni oggetto di studio.

Le quattro tesi saranno sintetizzate con le sigle:

- S1: Aratura 40 cm
- S2: Aratura 40 cm + apporto compost
- S3: Minima lavorazione + apporto compost
- S4: Semina su sodo + apporto compost (apporto compost solo presso Fondazione Navarra)

Mentre le due aziende agricole esaminate:

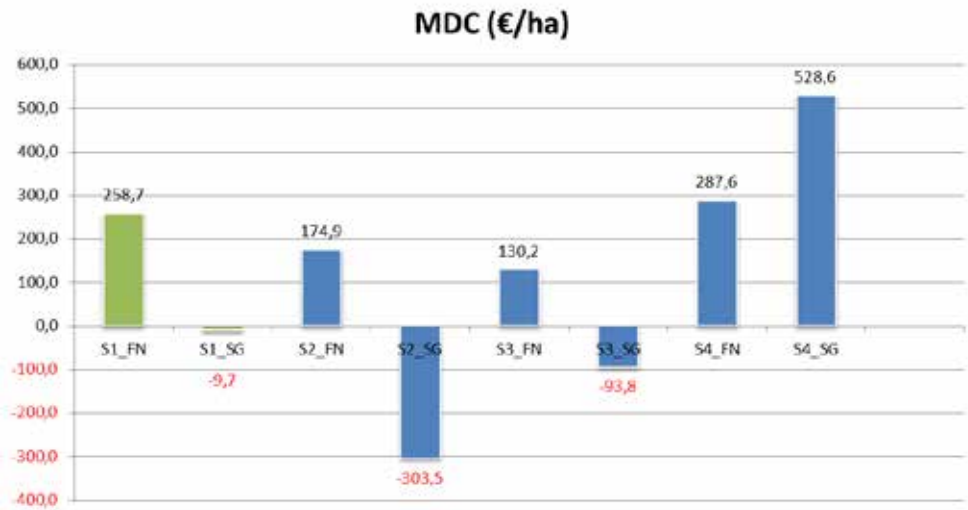
- Fondazione Navarra: FN
- Graziano Sarto: SG

La prima tesi (Aratura 40 cm) rappresenta il testimone per il confronto con le altre tre. I margini di contribuzione (MDC) ottenuti dalle due aziende per la tesi testimone (S1) sono riportati in verde nei grafici.

Campagna 2017/2018 – Frumento tenero

Nella prima campagna analizzata, la Fondazione Navarra ha realizzato un MDC maggiore dello stesso ottenuto nella prova testimone solo nella tesi S4 (Sodo + apporto compost): + 287,6 €/ha. Analogamente l'Azienda Agricola Graziano Sarto ha ottenuto un MDC maggiore del corrispettivo per la prova testimone solo nella tesi S4 (Sodo): + 528,6 €/ha.

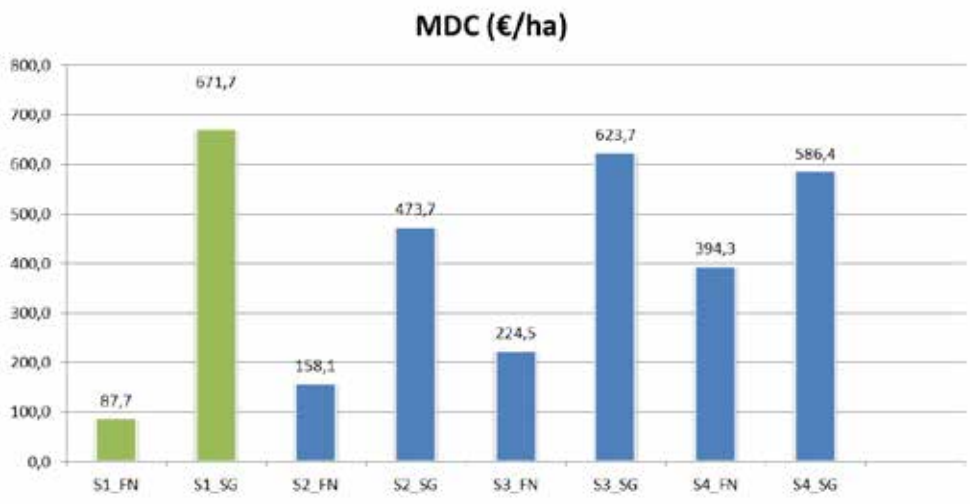
Margine di contribuzione (€/ha) – frumento tenero 2017/2018 (elaborazione Areté su dati rilevati)



Campagna 2018/2019 – Mais da granella

Nella seconda campagna analizzata, la Fondazione Navarra ha realizzato un MDC maggiore dello stesso ottenuto nella prova testimone (pari a + 87,7 €/ha) in tutte e tre le restanti tesi (risultato migliore ottenuto nella tesi di non lavorazione e semina su sodo S4, + 394,3 €/ha). Al contrario l'Azienda Agricola Graziano Sarto non ha fatto registrare un MDC maggiore del corrispettivo per la prova testimone (+ 671,7 €/ha) in nessuna delle restanti tre tesi (risultato più vicino al MDC della prova testimone è stato quello ottenuto nella tesi S3, Minima lavorazione + apporto compost, pari a + 623,7 €/ha).

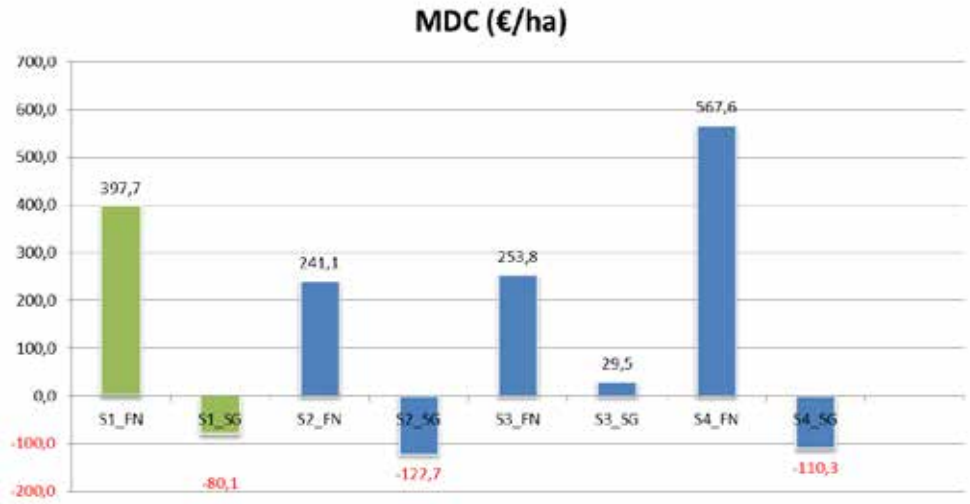
Margine di contribuzione (€/ha) – mais 2018/2019 (elaborazione Areté su dati rilevati)



Campagna 2019/2020 – Frumento tenero

Nella terza ed ultima annata esaminata la Fondazione Navarra ha realizzato un MDC maggiore di quello ottenuto nella prova testimone (+ 397,7 €/ha) solo nella tesi S4 (Sodo + apporto compost): + 567,6 €/ha, mentre l'Azienda Agricola Graziano Sarto ha fatto registrare un MDC maggiore del corrispettivo per la prova testimone (- 80,1 €/ha) solo nella tesi S3 (Minima lavorazione + apporto compost): + 29,5 €/ha.

Margine di contribuzione (€/ha) – frumento tenero 2019/2020 (elaborazione Areté su dati rilevati)



Simulazione provinciale

Premettendo l'elevata eterogeneità dei risultati ottenuti nelle due aziende oggetto di studio e la forte variabilità territoriale ed aziendale presente nella provincia di Ferrara, è stata realizzata una simulazione dell'ipotetico impatto dell'utilizzo delle diverse pratiche agronomiche proposte e attuate nel progetto, su tutto il territorio provinciale. Assumendo che tutta la provincia di Ferrara impieghi la tecnica agronomica della tesi testimone S1 (Aratura 40 cm) per una superficie a frumento tenero pari a 27.270 ha (media triennio 2016-2018, elaborazione Areté su dati Istat), moltiplicando l'intera superficie per il MDC medio ottenuto dalle due aziende nelle due annate in cui è stato seminato frumento tenero, il risultato ottenuto sarebbe stato il seguente: 3.766.080 €.
Assumendo questo valore come riferimento ed ipotizzando l'applicazione di una delle altre tre tesi su tutta la superficie provinciale a frumento, i risultati ottenuti sarebbero stati i seguenti:

- Nel caso della tesi S2 rispetto alla tesi S1 → da - 9.431.450 € a + 1.764.071 €
- Nel caso della tesi S3 rispetto alla tesi S1 → da - 4.621.248 € a + 1.338.933 €
- Nel caso della tesi S4 rispetto alla tesi S1 → da + 1.794.239 € a + 7.602.783 €

Per quanto riguarda il mais, analogamente, assumendo che tutta la provincia di Ferrara impieghi la tecnica agronomica della tesi testimone S1 (Aratura 40 cm) per una superficie a mais pari a 26.588 ha (media triennio 2016-2018, elaborazione Areté su dati Istat), moltiplicando l'intera superficie per il MDC medio ottenuto dalle due aziende nell'annata in cui è stato seminato mais, il risultato ottenuto sarebbe stato il seguente: 10.353.742 €.
Assumendo questo valore come riferimento ed ipotizzando l'applicazione di una delle altre tre tesi su tutta la superficie provinciale a mais, i risultati ottenuti sarebbero stati i seguenti:

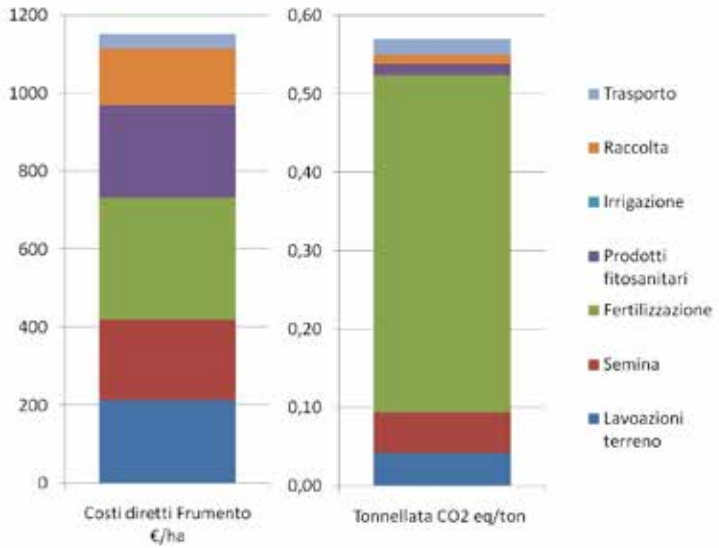
- Nel caso della tesi S2 rispetto alla tesi S1 → da - 6.042.887 € a + 2.563.522 €
- Nel caso della tesi S3 rispetto alla tesi S1 → da - 4.230.408 € a + 6.655.585 €
- Nel caso della tesi S4 rispetto alla tesi S1 → da + 399.989 € a + 5.636.775 €

5. Valutazione sostenibilità ambientale

A cura di Matteo Ruggeri, Pierluigi Meriggi – Horta srl, Piacenza

La valutazione del ciclo di vita del prodotto (LCA – Life Cycle Assessment), applicata al settore agricolo, permette di determinare gli impatti della coltivazione sull'ambiente con una metodologia in cui si quantificano le risorse utilizzate e le emissioni generate durante tutte le diverse fasi della coltivazione.
In dettaglio, l'approccio esamina e quantifica l'impatto delle lavorazioni, della semina, dei trattamenti, delle concimazioni, delle eventuali irrigazioni, della raccolta, ecc. senza tralasciare gli impatti e le risorse impiegate per produrre le materie prime (seme, concime, prodotti fitosanitari) utilizzate in campo durante la coltivazione. Il metodo non trascura neppure le conseguenze che gli stessi mezzi tecnici possono causare all'ecosistema agricolo in periodi successivi alla coltivazione.
Una coltivazione dovrebbe essere sostenibile sia dal punto di vista ambientale ma anche in termini economici e sociali. Numerosi studi di Horta, effettuati negli ultimi anni e inerenti la sostenibilità economica ed ambientale della coltivazione del frumento e del mais, hanno dimostrato come l'impatto economico delle diverse fasi di coltivazione non abbia lo stesso ordine di grandezza dell'impatto ambientale.
Come si vede nella figura che segue, i costi colturali sono ben ripartiti tra le diverse voci: le lavorazioni del terreno, la semina, la fertilizzazione (inteso come acquisto concimi e distribuzione), l'applicazione di prodotti fitosanitari, la raccolta e il trasporto del raccolto al primo centro di stoccaggio. La ripartizione degli impatti tra le diverse tipologie di attività colturali è invece differente in termini di sostenibilità ambientale. Gran parte degli impatti infatti derivano dalla fertilizzazione, mentre il contributo all'impatto complessivo della semina, dei prodotti fitosanitari, della raccolta e consegna sono decisamente inferiori.

Costi diretti medi ad ettaro e Carbon footprint in tonnellate di CO_2 equivalente per ogni tonnellata di frumento duro. Dati medi della stagione colturale 2017/2018 ottenuti da migliaia di agricoltori italiani
Fonte: Elaborazione Horta, LCE e Barilla, dati inerenti il progetto sostenibilità BSF (Barilla Sustainable Farming)



Studi come quello mostrato nella figura precedente dimostrano come l'impatto ambientale, inteso come Carbon Footprint, sia in gran parte (circa il 70%) attribuibile alle fertilizzazioni, in particolare quelle azotate.
Per il triennio di prove la valutazione di impatto ambientale effettuata da Horta si è però concentrata prevalentemente sulla stima delle emissioni in atmosfera piuttosto che lo studio delle perdite per lisciviazione e ruscellamento dei nutrienti.
La metodologia adottata, poiché segue l'approccio LCA, include nei conteggi gli impatti generati dalle aziende di fertilizzanti per produrre i concimi impiegati in campo, tutte le emissioni dirette e indirette di gas serra di tutte le operazioni colturali e le perdite che si generano in campo dopo l'applicazione dei concimi.
Sempre facendo riferimento al grafico della stessa figura si nota come oltre alla fertilizzazione le operazioni colturali che maggiormente influiscono sulle emissioni sono la semina e le lavorazioni del terreno. In altre parole i consumi di gasolio sono anch'essi un fattore non da trascurare.
Per il primo e terzo anno coltivati a frumento tenero e per il secondo coltivato a mais sono stati raccolti, in entrambe le località, tutti i dati colturali riguardanti la coltivazione, nonché la resa e i parametri qualitativi. Per tutte le situazioni sono stati calcolati numerosi indicatori di sostenibilità e di performance agronomica al fine di confrontare le diverse gestioni colturali e nutrizionali adottate.

Indicatori relativi allo studio del ciclo di vita dei prodotti (LCA Life Cycle Assessment):

1. **Carbon footprint**. L'indicatore (t di CO_2 equivalente per t di prodotto) quantifica le emissioni di gas ad effetto serra prodotti direttamente o indirettamente dalle attività umane. Considera tutti i gas serra in grado di alterare gli equilibri climatici. Quest'ultimi sono elencati nel protocollo di Kyoto: anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), ossido nitroso (N_2O), il gruppo degli idrofluorocarburi (HFCs), dei perfluorocarburi (PFCs) e l'esafluoruro di zolfo (SF_6). Ogni gas serra possiede un fattore di conversione per ricondurre tutte le diverse tipologie di emissioni nella tipologia anidride carbonica (CO_2-eq.). I fattori di conversione e la metodologia adottata sono stati definiti dal'IPCC (International Panel on Climate Change).

2. **Water footprint**. L'indicatore (m^3 di acqua per tonnellata) misura l'impronta idrica del sistema colturale e quindi il consumo idrico del processo produttivo. Viene espresso in termini di volume di acqua utilizzata, evapotraspirata ed inquinata durante il processo produttivo. In dettaglio questo indicatore è costituito da tre componenti:

   A Green Water: valuta l'acqua evapo-traspirata dalle piante durante l'intera stagione colturale e quindi l'acqua piovana utilizzata dalla pianta;

   B Blue Water: considera l'eventuale acqua di irrigazione utilizzata nel sistema produttivo, compresi i consumi industriali per la fabbricazione dei concimi e dei prodotti fitosanitari utilizzati in campo;

   C Grey Water: quantifica l'acqua necessaria per diluire i contaminanti (azoto e prodotti fitosanitari) presenti nel suolo a causa della coltivazione, fino ad un livello di legge o fino a concentrazioni naturali. Water footprint fa riferimento alla metodologia proposta da Water Footprint Network, sebbene la metodologia adottata da Horta presenta opportune modifiche per l'areale italiano.

Uso dei mezzi tecnici:

3. **Consumo gasolio** per ettaro (l/ha) eper tonnellata prodotta (l/t);

4. **Azoto distribuito per ettaro** (kg/ha) eper tonnellata prodotta (kg/t);

5. **Fertilizzanti per ettaro** (kg/ha) eper tonnellata prodotta (kg/t);

6. **Prodotti fitosanitari per ettaro** (kg/ha) eper tonnellata prodotta (kg/t);

7. **Semente per ettaro** (kg/ha) eper tonnellata prodotta (kg/t);

Indice di efficienza azotata:

8. **Agronomic NUE (Nitrogen Use Efficiency)** (kg produzione/kg N distribuito con le concimazioni);

Indici quanti-qualitativi:

9. **Resa umidità convenzionale 13%** (t/ha);

10. **Proteine** (% ss);

Altri indicatori agronomici :

11. **Erosione** (t di terreno perso/ha);

12. **Indice di compattamento del suolo**;

13. **Evoluzione sostanza organica nel suolo** (%);

14. **Carbon sequestration** (t di Carbonio/ha).

Tra tutti gli indicatori studiati i più interessanti sono: Carbon Footprint, Water footprint, consumi di gasolio e indicatori relativi all'efficienza della concimazione azotata.
Grazie ai dati di campo e a database internazionali è stato possibile calcolare l'impronta carbonica ed idrica di ogni singola attività colturale e dell'intera stagione colturale.
Le prove condotte in campo nelle due aziende agricole (Fondazione Navarra e Graziano Sarto) si sono differenziate principalmente per diverse gestioni del suolo: aratura con e senza compost applicato il primo anno, minima lavorazione con compost (sempre applicato il primo anno all'impostazione della prova) e semina su sodo con compost presso la Fondazione Navarra mentre invece presso Graziano Sarto la gestione a sodo era senza l'apporto di compost. Per le 4 gestioni colturali gli apporti di fertilizzanti azotati sono descritti nel capitolo 2. Sebbene il compost sia stato distribuito solo il primo anno di prove si è ipotizzato che il 40% delle unità di azoto si siano rese disponibili il primo anno, il 30% il secondo e il 20% il terzo anno.

Ogni attività colturale eseguita in campo ha comportato un consumo di gasolio. I consumi (nella tabella che segue) sono influenzati dalle operazioni colturali eseguite in campo. Le lavorazioni del terreno e la preparazione del letto di semina sono le attività che (se eseguite come nelle tesi con aratura e minima lavorazione) impattano maggiormente sul consumo complessivo dell'intera stagione colturale.

Consumi di gasolio stimati per le 3 annate e per le 4 gestioni colturali

Consumo di gasolio l/ha		Fondazione Navarra				Sarto Graziano			
Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost 1° anno**	**Minima lav. + compost 1° anno**	**Sodo + compost 1° anno**	**Arato**	**Arato + compost 1° anno**	**Minima lav. + compost 1° anno**	**Sodo**
2017	**Frumento tenero**	185	146	150	135	153	149	162	73
2018	**Mais**	199	249	222	185	259	303	295	214
2019	**Frumento tenero**	165	161	179	84	169	168	160	72
	Media 3 anni	183	185	184	134	194	207	206	120

Le emissioni in atmosfera di gas ad effetto serra sono condizionate da tutte le operazioni colturali eseguite durante la stagione colturale. Una stima dell'impronta carbonica complessiva è descritta nella tabella che segue.

Impronta carbonica (Carbon footprint) per tonnellata di prodotto per le 3 annate e per le 4 gestioni colturali. I valori considerano tutte le operazioni colturali eseguite dalla preparazione del letto di semina fino al trasporto del raccolto al primo centro di stoccaggio

Carbon Footprint (t CO_2 eq./t)		Fondazione Navarra				Sarto Graziano			
Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost 1° anno**	**Minima lav. + compost 1° anno**	**Sodo + compost 1° anno**	**Arato**	**Arato + compost 1° anno**	**Minima lav. + compost 1° anno**	**Sodo**
2017	**Frumento ten**	0,323	0,192	0,202	0,200	0,375	0,249	0,222	0,308
2018	**Mais**	0,309	0,309	0,299	0,297	0,237	0,266	0,253	0,159
2019	**Frumento ten**	0,341	0,376	0,371	0,289	0,496	0,439	0,413	0,607
	Media 3 anni	0,324	0,292	0,291	0,262	0,369	0,318	0,296	0,358

I dati non considerano il contributo del compost.

Relativamente all'impronta idrica, nella tabella che segue sono descritti i consumi idrici reali e teorici generati dalla coltivazione. La metodologia include le 3 componenti: green water, blue water e grey water footprint.

Impronta idrica (Water footprint) per tonnellata di prodotto per le 3 annate e per le 4 gestioni colturali. I valori considerano tutti i consumi di acqua (reale e teorica) necessari per la coltura e la sua gestione.

Water Footprint (m^3 H_2O/t)		Fondazione Navarra				Sarto Graziano			
Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost 1° anno**	**Minima lav. + compost 1° anno**	**Sodo + compost 1° anno**	**Arato**	**Arato + compost 1° anno**	**Minima lav. + compost 1° anno**	**Sodo**
2017	**Frumento tenero**	1306	1057	1059	1061	1374	1078	1087	1331
2018	**Mais**	1132	1127	1126	1157	1073	1079	1076	1126
2019	**Frumento tenero**	1277	1306	1296	1277	1391	1363	1339	1512
	Media 3 anni	1238	1164	1161	1165	1279	1173	1167	1323

I dati non considerano il contributo del compost.

I dati di Carbon e Water Footprint non includono il contributo del compost. Sebbene esistino dati di bibliografia relativi alle emissioni di CO_2 equivalente per tonnellata di compost, nel presente studio si è deciso di non includerli perché questi studi sono pochi, di altri paesi e non sufficientemente rappresentativi di tutte le tipologie di compost. Infatti l'impatto ambientale è fortemente condizionato dalla matrice organica di partenza (scarti vegetali, reflui urbani, ecc.) e dalle condizioni più o meno elevate di anaerobiosi garantite durante le fasi di compostaggio.
Inoltre gli scarti vegetali utilizzati per il compost, qualora non fossero stati usati per produrlo, si sarebbero comunque decomposti naturalmente producendo un egual quantità di emissioni. Quindi in una logica di economia circolare, poiché le emissioni ci sarebbero state sempre e comunque è stata una scelta virtuosa quello di utilizzarli per produrre un compost volto a migliorare la fertilità, la struttura e la praticabilità dei suoli.
Infine non meno importante è la valutazione dell'efficienza dei concimi azotati minerali distribuiti in campo (vedi la tabella che segue). Attraverso l'indice *Agronomic NUE* è stato valutato quanti chilogrammi di granella di sono ottenuti per unità (chilogrammo) di azoto minerale e da compost distribuiti.
Tanto più alto è l'*Agronomic NUE* (Nitrogen Use Efficiency - kg produzione/kg N distribuito con le concimazioni), maggiore è l'efficienza della concimazione e la trasformazione dell'azoto in chilogrammi di granella.
Questo indice è un adattamento dell'indicatore *NUE* che oltre a considerare l'azoto distribuito considera anche l'azoto messo naturalmente a disposizione dal suolo. *NUE:* kg produzione/kg N disponibile (naturale e da concimi).

Efficienza azotata (Agronomic NUE – Nitrogen Use Efficiency) per le 3 annate e per le 4 gestioni colturali

Agronomic NUE sulle unità disponibili (kg/l)		Fondazione Navarra				Sarto Graziano			
Anno	**Coltura**	**Arato**	**Arato + compost 1° anno**	**Minima lav. + compost 1° anno**	**Sodo + compost 1° anno**	**Arato**	**Arato + compost 1° anno**	**Minima lav. + compost 1° anno**	**Sodo**
2017	**Frumento tenero**	54	50	48	47	39	39	45	44
2018	**Mais**	47	38	39	39	63	47	49	114
2019	**Frumento tenero**	47	34	35	41	31	44	32	24
	Media 3 anni	49	41	41	42	44	43	42	60

Confrontando le 2 tesi arate si nota come la tesi con il compost abbia un impatto in termini di Carbon Footprint (t CO_2eq./t) inferiore rispetto alla tesi solo arata. La tabella relativa all'impronta carbonica, evidenzia infatti come, per la media dei 3 anni, questo indice sia 0,292 per la gestione con compost rispetto a 0,324 della tesi aratura senza l'apporto del compost. Lo stesso fenomeno lo si riscontra per la water footprint (tabella impronta idrica), dove la tesi arata con compost ha, sempre come media dei 3 anni, una water footprint (m^3 H_2O/t) di 1164, mentre la tesi senza compost 1238. Questi dati, relativi alla Fondazione Navarra, evidenziano una tendenza che è confermata dai dati ottenuti per l'azienda agricola Graziano Sarto. Le tabelle relative a impronta carbonica e impronta idrica evidenziano per Graziano Sarto come carbon footprint (t CO_2eq./t) e water footprint (m^3 H_2O/t) siano inferiori nelle tesi arate con compost rispetto alla tesi solo arata.
Contrariamente dalle prove della Fondazione Navarra, presso Graziano Sarto le tesi senza compost sono state due: sodo e aratura. Dal confronto di queste due tesi si evidenzia come: un consumo di gasolio in l/ha (tabella consumi di gasolio) significativamente inferiore (120 e 194 rispettivamente) e un carbon footprint in t CO_2eq./t (tabella impronta carbonica) inferiore (0,358 e 0,369 rispettivamente).
Infine, riflessioni interessanti si evidenziano confrontando le 3 tesi con il compost di Fondazione Navarra (arato + compost, minima lavorazione + compost e sodo + compost) e le due tesi presso Graziano Sarto (arato + compost e minima lavorazione + compost). Analizzando l'impronta carbonica in t CO_2eq./t (tabella impronta carbonica) si nota come presso la Fondazione Navarra la tesi sodo + compost abbia valori significativamente inferiori rispetto alle altre due tesi lavorate (rispettivamente 0,262 e 0,291). La tendenza ad avere una minore impronta carbonica al ridurre delle lavorazioni è evidenziabile anche nell'azienda di Graziano Sarto. Infatti in quest'ultima azienda la carbon Footprint (t CO_2eq./t) con la minima lavorazione + compost è 0,296 mentre con l'aratura + compost 0,318.

I risultati ottenuti nel triennio nelle due località evidenziano come ci siano diversi segnali che testimoniano come le minime lavorazioni garantiscano un minor impatto ambientale e la gestione a sodo una maggiore efficienza azotata, sebbene i dati ottenuti non siano così palesi nell'evidenziarlo e le rese non ne abbiano beneficiato in maniera evidente.

Il calcolo degli indicatori inerenti l'approccio LCA è svolto in collaborazione con Life Cycle Engineering S.r.l., società dedita allo studio del ciclo di vita dei prodotti.

Appendice

Riferimenti bibliografici relativi al ruolo della sostanza organica nella prevenzione dell'inquinamento da nitrati nei suoli della provincia di Ferrara

Mastrocicco, M., Soana, E., Colombani, N., Vincenzi, F., Castaldi, S., Castaldelli, G. Effect of ebullition and groundwater temperature on estimated dinitrogen excess in contrasting agricultural environments (2019) Science of the Total Environment, 693, art. no. 133638,.

Colombani, N., Mastrocicco, M., Castaldelli, G., Aravena, R. Contrasting biogeochemical processes revealed by stable isotopes of H2O, N, C and S in shallow aquifers underlying agricultural lowlands (2019) Science of the Total Environment, 691, pp. 1282-1296.

Castaldelli, G., Colombani, N., Soana, E., Vincenzi, F., Fano, E.A., Mastrocicco, M. Reactive nitrogen losses via denitrification assessed in saturated agricultural soils (2019) Geoderma, 337, pp. 91-98.

Mastrocicco, M., Colombani, N., Castaldelli, G. Direct measurement of dissolved dinitrogen to refine reactive modelling of denitrification in agricultural soils (2019) Science of the Total Environment, 647, pp. 134- 140.

Castaldelli, G., Colombani, N., Tamburini, E., Vincenzi, F., Mastrocicco, M. Soil type and microclimatic conditions as drivers of urea transformation kinetics in maize plots (2018) Catena, 166, pp. 200-208.

Aschonitis, V.G., Castaldelli, G., Colombani, N., Mastrocicco, M. A combined methodology to assess the intrinsic vulnerability of aquifers to pollution from agrochemicals (2016) Arabian Journal of Geosciences, 9 (7), art. no. 503, .

Aschonitis, V.G., Mastrocicco, M., Colombani, N., Salemi, E., Castaldelli, G. Assessment of the intrinsic vulnerability of agricultural land to water and nitrogen losses: Case studies in Italy and Greece (2014) IAHS-AISH Proceedings and Reports, 364, pp. 14-19.

Mastrocicco, M., Colombani, N., Castaldelli, G. A stepwise approach to assess the fate of nitrogen species in agricultural lowlands (2013) Wastewater Reuse and Management, pp. 431-460.

Castaldelli, G., Soana, E., Racchetti, E., Pierobon, E., Mastrocicco, M., Tesini, E., Fano, E.A., Bartoli, M. Nitrogen budget in a lowland coastal area within the Po River Basin (Northern Italy): Multiple evidences of equilibrium between sources and internal sinks (2013) Environmental Management, 52 (3), pp. 567-580.

Aschonitis, V.G., Salemi, E., Colombani, N., Castaldelli, G., Mastrocicco, M. Formulation of indices to describe intrinsic nitrogen transformation rates for the implementation of best management practices in agricultural lands (2013) Water, Air, and Soil Pollution, 224 (3), art. no. 1489,.

Castaldelli, G., Colombani, N., Vincenzi, F., Mastrocicco, M. Linking dissolved organic carbon, acetate and denitrification in agricultural soils (2013) Environmental Earth Sciences, 68 (4), pp. 939-945.

Aschonitis, V.G., Mastrocicco, M., Colombani, N., SalemiE., Kazakis, N., Voudouris, K., Castaldelli, G. Assessment of the intrinsic vulnerability of agricultural land to water and nitrogen losses via deterministic approach and regression analysis (2012) Water, Air, and Soil Pollution, 223 (4), pp. 1605-1614.

Mastrocicco, M., Colombani, N., Salemi, E., Castaldelli, G. Reactive modeling of denitrification in soils with natural and depleted organic matter (2011) Water, Air, and Soil Pollution, 222 (1-4), pp. 205-215.

Mastrocicco, M., Colombani, N., Palpacelli, S., Castaldelli, G. Large tank experiment on nitrate fate and transport: The role of permeability distribution (2011) Environmental Earth Sciences, 63 (5), pp. 903-914.

Mastrocicco, M., Colombani, N., Castaldelli, G., Jovanovic, N. Monitoring and modeling nitrate persistence in a shallow aquifer (2011) Water, Air, and Soil Pollution, 217 (1-4), pp. 83-93.

Mastrocicco, M., Colombani, N., Salemi, E., Castaldelli, G. Numerical assessment of effective evapotranspiration from maize plots to estimate groundwater recharge in lowlands (2010) Agricultural Water Management, 97 (9), pp. 1389-1398.

STAMPATO SU CARTA ECOLOGICA

Programma di Sviluppo Rurale dell'Emilia-Romagna 2014-2020

UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale

Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

PARTICIPATING IN

eip-agri
AGRICULTURE & INNOVATION

Divulgazione a cura di Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra - Autorità di Gestione: Direzione Agricoltura, caccia e pesca della Regione Emilia-Romagna Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di sviluppo rurale 2014-2020 - Tipo di operazione 16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione: "Produttività e sostenibilità dell'agricoltura" - Focus Area 4B - Qualità delle acque - Progetto "Nitrati Ferrara - Tecniche agronomiche per la prevenzione dell'inquinamento da nitrati e la conservazione della sostanza organica".