

**AVVISI PUBBLICI REGIONALI DI ATTUAZIONE PER L'ANNO 2015 DEL TIPO DI
OPERAZIONE 16.1.01 "GRUPPI OPERATIVI DEL PEI PER LA PRODUTTIVITÀ E LA
SOSTENIBILITÀ DELL'AGRICOLTURA"
FOCUS AREA 2A, 4B, 4C, 5A E 5E
DGR N. 2268 DEL 28 DICEMBRE 2015**

RELAZIONE TECNICA INTERMEDIA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO 5005490

DOMANDA DI PAGAMENTO 5155275

FOCUS AREA: 4B

Titolo Piano	Tecniche agronomiche per la prevenzione dell'inquinamento da nitrati e la conservazione della sostanza organica
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra
Elenco partner del Gruppo Operativo	Gruppo Operativo NITRATI FERRARA: Università degli Studi di Ferrara Fondazione CRPA Studi Ricerche (FCSR) Areté s.r.l. I.TER Soc. Coop a r.l. HORTA s.r.l. Az. Agr. Graziano Sarto

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	36
Data inizio attività	01/06/2016
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	30/11/2019

Relazione relativa al periodo di attività dal	01/06/2017	al 30/11/2019
Data rilascio relazione	22/01/2020	

Autore della relazione	Mantovi, Castaldelli, Rivaroli, Gruppioni, Meriggi, Scotti		
Telefono		email	fondazione.navarra@pecsicura.it ; marco.rivaroli@fondazione.navarra.it

Sommario

1	- Descrizione dello stato di avanzamento del Piano	4
1.1	Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano	5
2.1	Azione di esercizio della cooperazione	6
2.1.1	Attività e risultati	6
2.1.2	Personale	7
2.1.3	Trasferte	7
2.1.4	Materiale consumabile	7
2.1.5	Spese per materiale durevole e attrezzature	7
2.1.7	Attività di formazione	8
2.1.8	Collaborazioni, consulenze, altri servizi	8
2.2	Azione 1 della realizzazione	10
2.2.1	Attività e risultati	10
2.2.2	Personale	11
2.2.3	Trasferte	11
2.2.4	Materiale consumabile	12
2.2.5	Spese per materiale durevole e attrezzature	12
2.2.7	Attività di formazione	13
2.2.8	Collaborazioni, consulenze, altri servizi	14
2.3	Azione 2 della realizzazione	15
2.3.1	Attività e risultati	15
2.3.2	Personale	16
2.3.3	Trasferte	17
2.3.4	Materiale consumabile	20
2.3.5	Spese per materiale durevole e attrezzature	20
2.3.7	Attività di formazione	21
2.3.8	Collaborazioni, consulenze, altri servizi	22
2.4	Azione 3 della realizzazione	23

2.4.1	Attività e risultati.....	23
2.4.2	Personale	24
2.4.3	Trasferte	25
2.4.4	Materiale consumabile.....	26
2.4.5	Spese per materiale durevole e attrezzature.....	26
2.4.7	Attività di formazione.....	27
2.4.8	Collaborazioni, consulenze, altri servizi.....	27
2.5	Azione 4 della realizzazione	28
2.5.1	Attività e risultati.....	28
2.5.2	Personale	30
2.5.3	Trasferte	30
2.5.4	Materiale consumabile.....	30
2.5.5	Spese per materiale durevole e attrezzature.....	31
2.5.7	Attività di formazione.....	31
2.5.8	Collaborazioni, consulenze, altri servizi.....	31
2.6	Azione di divulgazione e trasferimento.....	33
2.6.1	Attività e risultati.....	33
2.6.2	Personale	34
2.6.3	Trasferte	34
2.6.4	Materiale consumabile.....	34
2.6.5	Spese per materiale durevole e attrezzature.....	35
2.6.7	Attività di formazione.....	35
2.6.8	Collaborazioni, consulenze, altri servizi.....	36
3	- Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività.....	37
4	- Altre informazioni	37
5	- Considerazioni finali	38
6	- Relazione tecnica.....	38

1 - Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

Descrivere brevemente il quadro di insieme relativo alla realizzazione del piano. Richiamare eventuali richieste di modifiche inviate agli organi Regionali ed apportate al progetto.

Si ritiene opportuno segnalare che con Determinazione nr 11389 del 15 luglio 2016 era stata inizialmente prevista una durata del progetto pari a mesi 36 con l'ultimo giorno di progetto fissato al 14 luglio 2019. A seguito di richiesta del Capofila del 29/03/2019 prot. S19_068, con Atto del Dirigente DETERMINAZIONE n. 6329 del 08/04/2019, è stata concessa una proroga di 140 giorni per poter completare le attività previste dal sopracitato Piano di Innovazione, portando così la data dell'ultimo giorno di progetto al 30 novembre 2019.

In tal modo, complessivamente non si sono verificati scostamenti o criticità significative rispetto al piano di lavoro previsto.

Si rimanda alla RELAZIONE TECNICA allegata, la descrizione della realizzazione del Piano

1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

Indicare per ciascuna azione il mese di inizio dell'attività originariamente previsto nella proposta ed il mese effettivo di inizio, indicare analogamente il mese previsto ed effettivo di termine delle attività. Indicare il numero del mese, ad es.: 1, 2, ... considerando che il mese di inizio delle attività è il mese 1. Non indicare il mese di calendario.

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
Cooperazione	Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra, FCSR	Monitoraggio attività e rendicontazione	1	1	36	40
Divulgazione	Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra, FCSR, ITER	Piano di divulgazione e trasferimento dei risultati	2	2	36	40
Azione 1	I.TER, FCSR, Università degli Studi di Ferrara, Fondazione per l'Agricoltura F.Ili Navarra	Caratterizzazione pedologica e idrologica per la trasferibilità dei risultati	4	4	36	40
Azione 2	Università degli Studi di Ferrara	Monitoraggio delle trasformazioni e del trasporto dell'azoto	4	4	36	40
Azione 3	FCSR, Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra	Conduzione agronomica e rilievo dati di campo	1	1	36	40
Azione 4	Aretè, Horta, FCSR	Valutazione sostenibilità ambientale ed economica	4	4	36	40

Date di inizio e fine delle rendicontazioni finanziarie dei partner:

Partner	Data inizio	Data fine
Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra	1/09/2017	30/11/2019
Fondazione CRPA Studi Ricerche (FCSR)	1/06/2017	30/11/2019
Aretè s.r.l.	1/09/2017	30/11/2019
HORTA s.r.l.	1/10/2017	30/11/2019
I.TER Soc. Coop a r.l.	1/09/2017	30/11/2019
Università degli Studi di Ferrara	1/09/2017	30/11/2019

2.1 Azione di esercizio della cooperazione

2.1.1 Attività e risultati

Azione	1) Esercizio della cooperazione
Unità aziendale responsabile	Fondazione Fratelli Navarra
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Nel periodo di rendicontazione in oggetto, il comitato del Piano, strumento per il coordinamento e il monitoraggio delle attività formato da rappresentanti tecnici e amministrativi di ciascun partner, si è riunito alle seguenti date: 29 gennaio 2018 08 agosto 2018 17 giugno 2019 13 settembre 2019 21 novembre 2019</p> <p>Le riunioni del comitato del Piano sono servite per:</p> <ul style="list-style-type: none">- monitoraggio e controllo tecnico.- occasione per visionare i siti di svolgimento delle azioni del Piano;- preparazione delle visite in campo- preparazione del convegno finale I- monitoraggio e controllo amministrativo e finanziario;- preparazione della rendicontazione alla Regione. <p>Le attività di project management sono state svolte da Fondazione Navarra con il supporto della Fondazione CRPA, verificando il corretto svolgimento delle attività del Piano, seguendo le comunicazioni che riguardano la sua gestione, i passaggi di informazioni, la programmazione e la gestione delle attività di divulgazione/informazione. Tali attività sono supportate dal sistema di gestione della qualità (SGQ) di Fondazione CRPA, conforme alla norma ISO 9001:2008.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Gli obiettivi prefissati sono stati pienamente raggiunti. Non si segnalano scostamenti o criticità rispetto al piano di lavoro.</p>
Attività ancora da realizzare	<p><i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i></p>

2.1.2 Personale

Elencare il personale impegnato, il cui costo è portato a rendiconto, descrivendo sinteticamente l'attività svolta. Non includere le consulenze specialistiche, che devono essere descritte a parte.

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Ricercatore	Coordinamento attività	76	€ 2.605,60
	Tecnico	Monitoraggio e controllo amministrativo	96	€ 2.296,80
	Quadro	Avvio progetto per ATS, coordinamento, controlli intermedi, rendicontazione	267	€ 13.268,66
	Segreteria	Controlli intermedi e rendicontazione	249,50	€ 6.317,11
			Totale:	€ 24.488,17

2.1.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
		Totale:

2.1.4 Materiale consumabile

Fornitore	Descrizione materiale	Costo
		Totale:

2.1.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

Fornitore	Descrizione dell'attrezzatura	Costo
		Totale:

2.1.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

Descrivere i prototipi realizzati e i materiali direttamente imputabili nella loro realizzazione

Fornitore	Descrizione	Costo
	Totale:	

2.1.7 Attività di formazione

Descrivere brevemente le attività già concluse, indicando per ciascuna: ID proposta, numero di partecipanti, spesa e importo del contributo richiesto

2.1.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
		Totale:	

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:				

2.2 Azione 1 della realizzazione

2.2.1 Attività e risultati

Azione	3.1) Caratterizzazione pedologica e idrologica per la trasferibilità dei risultati
Unità aziendale responsabile	I.TER SOC COOP
Descrizione delle attività SALDO	<p>Si sono portate a termine le attività previste nel piano operativo a conclusione di quanto iniziato e descritto nel corso della prima rendicontazione. E' stata elaborata la Carta della rappresentatività dei siti sperimentali per il territorio ferrarese, accorpando le Unità Cartografiche della Carta dei Suoli della pianura emiliano romagnola, edizione 2015 del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, caratterizzate da simile comportamento agronomico rispetto ai suoli rilevati. Il sito dell'azienda Fondazione Navarra è risultato 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". Verso il termine del terzo anno, precisamente il giorno 11/10/2019, sono stati studiati altri 2 profili nel sito dell'azienda Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra per studiare i caratteri dei suoli post sperimentazioni in merito al contenuto di sostanza organica e alla struttura del suolo.</p> <p>I profili pedologici sono stati scavati con dimensioni adeguate per mettere in evidenza il substrato pedogenetico fino a 140 cm di profondità. Tutti gli orizzonti sono stati descritti e campionati per le analisi di laboratorio routinarie.</p> <p>Il campionamento ha interessato lo strato superficiale alle profondità 0-15 cm e 15-30 cm e poi i vari strati pedologici sottostanti che sono stati riconosciuti e descritti per un totale di 14 campioni.</p> <p>I.TER ha quindi inviato i campioni al laboratorio di Analisi Gruppo CSA.</p> <p>Le analisi di laboratorio realizzate sono le seguenti:</p> <p>SET ANALISI ROUTINARIE</p> <ul style="list-style-type: none">• Tessitura metodo pipetta (setacci per la sabbia – 2000 -50 micron; pipetta per la separazione di limo 50 – 2 micron e argilla < 2 micron)• Reazione (pH in acqua);• Calcare totale (metodo gasvolumetrico);• Calcare attivo (metodo Droineau)• Sostanza organica (metodo Walkley e Black);• Sostanza organica (metodo analizzatore elementare)• Azoto totale (Metodo Kjeldhal);• P2O5 assimilabile (Metodo Olsen);• K2O assimilabile (Metodo con acetato d'ammonio).

2.2.2 Personale

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
(I.TER)	Pedologo esperto	Ricercatore	94	€ 3.719,32
(I.TER)	Pedologo junior	Tecnico	170	€ 2.396,00
(FCSR)	Ricercatore	Partecipazione alla scelta dei siti	78	€ 2.668,76
(Fondazione Navarra)	Quadro	Coordinamento attività inerenti monitoraggio e modellazione idrologica	51	€ 2.422,32
(Unife)	Professore associato-Responsabile tecnico scientifico del progetto	Programmazione e coordinamento delle attività di campo e laboratorio inerenti la speciazione, le trasformazioni e il bilancio dell'azoto.	37	€ 1406,74
(Unife)	Assegnista di ricerca	Prelievo e campioni, analisi di laboratorio.		€ 19.800,00
Totale:				€ 32.413,14

2.2.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
(I.TER)	08/08/2018 Seminario tecnico (Spese di vitto)	€ 11,00
(I.TER)	08/08/2018 Seminario tecnico (Spese di vitto)	€ 11,00
(I.TER)	08/08/2018 Seminario tecnico (Spese di rimborso chilometrico per 196 km percorsi)	€ 64,68
(I.TER)	08/08/2018 Seminario tecnico (Spese di pedaggio autostradale)	€ 4,92
(I.TER)	10/07/2019 Visita campi sperimentali (Spese di vitto)	€ 1,00
(I.TER)	10/07/2019 Visita campi sperimentali (Spese di rimborso chilometrico per 135 km percorsi)	€ 43,20
(I.TER)	10/07/2019 Visita campi sperimentali (Spese di pedaggio autostradale)	€ 4,84
(I.TER)	03/09/2019 Visita in campo per scelta siti profili (Spese di rimborso chilometrico per 135 km percorsi)	€ 41,85
(I.TER)	03/09/2019 Visita in campo per scelta siti profili (Spese di pedaggio autostradale)	€ 5,00
(I.TER)	13/09/2019 Riunione GOI (Spese di rimborso chilometrico per 110 km percorsi)	€ 34,10
(I.TER)	13/09/2019 Riunione GOI (Spese di pedaggio autostradale)	€ 4,92
(I.TER)	11/10/2019 Apertura profili Azienda Navarra (Spese di rimborso chilometrico per 108 km percorsi)	€ 34,56

(I.TER)	11/10/2019 Apertura profili Azienda Navarra (Spese di pedaggio autostradale)	€ 4,92
(I.TER)	11/10/2019 Campagna profili Azienda Navarra (Spese di vitto)	€ 12,00
(I.TER)	11/10/2019 Campagna profili Azienda Navarra (Spese di vitto)	€ 12,00
(I.TER)	27/11/2019 Convegno finale (Spese di vitto)	€ 1,10
(I.TER)	27/11/2019 Convegno finale (Spese di vitto)	€ 1,10
(I.TER)	27/11/2019 Convegno finale (Spese di rimborso chilometrico per 163 km percorsi)	€ 50,53
(I.TER)	27/11/2019 Convegno finale (Spese di pedaggio autostradale)	€ 4,92
(Unife)	Missione a Reggio Emilia del 29/10/2019 per incontro per relazione finale progetto GoNitrati	19,70
Totale:		€ 367,34

2.2.4 Materiale consumabile

Fornitore	Descrizione materiale	Costo
Gruppo C.S.A. S.p.A. (I.TER)	"Set determinazioni profilo base di 14 campioni di terreno. 59,00 €/campione x 14 campioni = 826,00 € Fattura del 04/12/2019 del laboratorio Gruppo CSA SPA."	€ 826,00
Totale:		€ 826,00

2.2.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

Fornitore	Descrizione dell'attrezzatura	Costo
Totale:		

2.2.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

Descrivere i prototipi realizzati e i materiali direttamente imputabili nella loro realizzazione

Fornitore	Descrizione	Costo
	Totale:	

2.2.7 Attività di formazione

Descrivere brevemente le attività già concluse, indicando per ciascuna: ID proposta, numero di partecipanti, spesa e importo del contributo richiesto

2.2.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
			0
Totale:			€

CONSULENZE - SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:				

2.3 Azione 2 della realizzazione

2.3.1 Attività e risultati

Azione	3.2) Monitoraggio delle trasformazioni e del trasporto dell'azoto
Unità aziendale responsabile	Università degli Studi di Ferrara
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>In ciascuna delle due aziende agricole partner del GO (Navarra, Sarto) è stata condotto e completato il monitoraggio delle trasformazioni e del trasporto dell'azoto nelle varie parcelle delle due prove agronomiche con quattro tesi a confronto, due di agricoltura convenzionale e due di agricoltura conservativa, ovvero:</p> <p>L'attività è stata finalizzata a descrivere l'andamento temporale delle concentrazioni delle specie azotate e dei nitrati nella testa dell'acquifero, in relazione al variare della disponibilità di sostanza organica del terreno e di substrati organici labili disciolti e dei parametri gestionali.</p> <p>Il monitoraggio dei piezometri è proseguito con cadenza indicativamente mensile, dal 01/10/17 al 30/11/19. I risultati sia i parametri di campo, come l'ossigeno disciolto, il pH, la conducibilità, potenziale redox, profondità falda, ecc. che di laboratorio, come l'azoto ammoniacale, nitroso, nitrico e totale, fosforo assimilabile e totale, acetato e carbonio organico totale (TOC) e carbonio inorganico (IC) tramite (Shimadzu TOC-V-CSM), sono riportati in appendice.</p> <p>Contestualmente alle analisi nei piezometri, si è proceduto al prelievo di carote di sedimento, a vari orizzonti di profondità, in tutte le tesi di entrambe le aziende agricole al fine della quantificazione della disponibilità e mobilità dei nitrati e di sostanza organica. I risultati sono riportati in appendice.</p> <p>Al fine di completare il quadro conoscitivo, le evidenze fornite dai risultati con il proseguire dei monitoraggi, hanno orientato la sperimentazione. E' risultato pertanto fondamentale aggiungere nuovi approcci metodologici e relative analisi specialistiche, il cui costo non è stato caricato sul budget di progetto, in quanto inizialmente non previste. Tuttavia, questa iniziativa è risultata fondamentale per la conferma della ipotesi fatta e per la formulazione di ulteriori ipotesi che compongono un quadro quasi esaustivo del ciclo dell'azoto nelle aziende agricole del gruppo operativo. La complessità del tema ci ha portato a dover analizzare i singoli aspetti in modo indipendente, arrivando a produrre una serie di articoli scientifici tematici, riportati <i>in extenso</i> in appendice.</p>

<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Le attività sono state condotte come previsto nel programma di lavoro. Alcuni adattamenti del programma di campionamento sono risultati fondamentali sulla base dei risultati acquisiti in corso d'opera, come sopra indicato.</p> <p>A prescindere, il numero di campioni prelevati e le analisi effettuate sono in linea con il programma di lavoro, a cui sono state aggiunte migliaia di analisi, alcune delle quali molto costose, come le analisi isotopiche in falda (in particolare l'articolo n° 2 nel seguente elenco), che non sono state fatte gravare sul budget del progetto.</p> <p>Tali analisi, unitamente a quelle previste dal programma, hanno permesso la stesura di 5 articoli pubblicati su riviste internazionali di punta nel campo della biogeochimica dell'azoto, della prevenzione dell'inquinamento e della definizione i protocolli innovativi per una agricoltura sostenibile.</p> <p>Tali articoli, di seguito elencati, sono riportati in appendice <i>in extenso</i>.</p> <p><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p><i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i></p>

2.3.2 Personale

Elencare il personale impegnato, il cui costo è portato a rendiconto, descrivendo sinteticamente l'attività svolta. Non includere le consulenze specialistiche, che devono essere descritte a parte.

Cognome e nome	Mansione /	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Professore associato-Responsabile tecnico scientifico del progetto	Programmazione e coordinamento delle attività di campo e laboratorio inerenti la speciazione, le trasformazioni e il bilancio dell'azoto. Presentazione dei risultati in occasione di incontri, scrittura dei report e degli articoli.	126	€ 4.790,52
Nicolò Colombani (Unife)	Assegno di ricerca	Prelievo e campioni e analisi di laboratorio. Presentazione dei risultati in occasione di incontri, scrittura dei report e degli articoli.		€ 15.342,75

(Unife)	Assegno di ricerca	Prelievo e campioni e analisi di laboratorio. Analisi dei risultati e scrittura dei articoli.	€ 29.204,02
(Unife)	Borsa di ricerca	Prelievo e campioni e analisi di laboratorio	€ 7.700,00
(Unife)	Borsa di ricerca	Prelievo e campioni e analisi di laboratorio	€ 7.700,00
Totale:			€ 64.737,29

2.3.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
(Unife)	Missione a Bando (Ferrara) del 22/03/2018 per campionamento materiale biologico	€ 46,88
(Unife)	Missione a Bando (Ferrara) del 23/03/2018 per campionamento materiale biologico	€ 24,00
(Unife)	Missione a Gualdo (Ferrara) del 27/03/2018 per campionamento materiale biologico	€ 24,00
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 03/04/2018 per campionamento materiale biologico	€ 23,56
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 18/04/2018 per campionamento materiale biologico	€ 30,00
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 24/05/2018 per campionamento materiale biologico	€ 52,00
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 05/06/2018 per sostituzione pile datalogger	€ 22,94
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 07/06/2018 per scaricamento dati datalogger	€ 22,63
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 02/07/2018 per campionamento materiale biologico	€ 62,00
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 05/07/2018 per campionamento materiale biologico	€ 46,18
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 07/08/2018 per manutenzione stazioni di campionamento	€ 48,56
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 23/08/2018 per manutenzione stazioni di campionamento	€ 48,87
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 08/08/2018 per sopralluogo campi prova	€ 23,87
(Unife)	Missione a Gualdo e Bando (Ferrara) del 06/09/2018 per	€ 65,00

	campionamento materiale biologico	
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Bando (Ferrara) del 03/10/2018 per campionamento materiale biologico	€ 38,52
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo (Ferrara) del 04/10/2018 per campionamento materiale biologico	€ 25,00
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 12/10/2018 per manutenzione stazioni di campionamento	€ 49,18
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 25/10/2018 per scaricamento dati datalogger	€ 20,00
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 26/09/2018 per manutenzione stazioni di campionamento	€ 14,52
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 15/11/2018 per campionamento materiale biologico	€ 70,00
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 22/11/2018 per scaricamento dati datalogger	€ 24,49
Vincenzi Fabio(Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 07/12/2018 per manutenzione stazioni di campionamento	€ 60,00
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Missione prof. Giuseppe Castaldelli a Gualdo e Bando (Ferrara) del 28/08/2018 per sopralluogo stazioni di campionamento	€ 24,49
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Missione prof. Giuseppe Castaldelli a Gualdo e Bando (Ferrara) del 18/09/2018 per sopralluogo stazioni di campionamento	€ 23,87
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Missione prof. Giuseppe Castaldelli a Gualdo e Bando (Ferrara) del 17/10/2018 per sopralluogo stazioni di campionamento	€ 25,11
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Missione prof. Giuseppe Castaldelli a Gualdo e Bando (Ferrara) del 07/11/2018 per sopralluogo stazioni di campionamento	€ 24,18
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Missione prof. Giuseppe Castaldelli a Gualdo e Bando (Ferrara) del 03/12/2018 per sopralluogo stazioni di campionamento	€ 23,87
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Bando e Gualdo (Ferrara) del 14/12/2018 per scaricamento dati datalogger	€ 49,80
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Missione prof. Giuseppe Castaldelli a Gualdo e Bando (Ferrara) del 07/01/2019 per sopralluogo stazioni di campionamento	€ 24,49
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Missione prof. Giuseppe Castaldelli a Gualdo e Bando (Ferrara) del 17/01/2019 per scaricamento dati datalogger	€ 24,49
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 25/01/2019 per scaricamento dati datalogger	€ 24,80
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 07/02/2019 per campionamento materiale biologico	€ 51,00
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 11/02/2019 per sostituzione datalogger e scaricamento dati	€ 24,49
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Gualdo e Bando (Ferrara) del 19/02/2019 per scaricamento dati datalogger	€ 24,49
Castaldelli Giuseppe (Unife)	Missione prof. Giuseppe Castaldelli a Gualdo e Bando (Ferrara) del 20/02/2019 per scaricamento dati datalogger	€ 24,80
Vincenzi Fabio (Unife)	Missione dott. Fabio Vincenzi a Bando e Gualdo (Ferrara) del 14/03/2019 per scaricamento dati datalogger e manutenzione stazioni campionamento	€ 45,00

	€ 24,80
	€ 24,80
	€ 25,11
	€ 46,13
	€ 50,00
	€ 25,11
	€ 24,80
	€ 26,04
	€ 24,18
	€ 55,00
	€ 55,00
	€ 24,49
	€ 24,80
	€ 50,80
	€ 25,11
	€ 85,00
	€ 35,00
	€ 85,00
	€ 50,80
	€ 65,72
	€ 24,80
	€ 25,11
	€ 24,80

2.3.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

Descrivere i prototipi realizzati e i materiali direttamente imputabili nella loro realizzazione

Fornitore	Descrizione	Costo
	Totale:	

2.3.7 Attività di formazione

Descrivere brevemente le attività già concluse, indicando per ciascuna: ID proposta, numero di partecipanti, spesa e importo del contributo richiesto

2.3.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:			

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:				

2.4 Azione 3 della realizzazione

2.4.1 Attività e risultati

Azione	3.3) Conduzione agronomica e rilievo dati di campo
Unità aziendale responsabile	Fondazione CRPA Studi Ricerche (FCSR)
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>In ciascuna delle due aziende agricole partner del GO (Navarra, Sarto) è stata portata avanti la prova agronomica con quattro tesi a confronto, due di agricoltura convenzionale e due di agricoltura conservativa, ovvero:</p> <ul style="list-style-type: none">- Lavorazioni convenzionali con aratura, senza aggiunta di compost (sigla A)- Lavorazioni convenzionali con aratura, con aggiunta di compost (sigla Ac)- Minima lavorazione con compost (agricoltura conservativa, sigla Mc)- Sodo con compost (Sc - Navarra) o senza (S - Sarto) <p>I due siti sperimentali hanno una superficie superiore ai 2 ettari; quello di azienda Navarra ha una struttura sperimentale a blocchi randomizzati con tre ripetizioni mentre quello di azienda Sarto ha quattro parcelloni all'interno dei quali le misure vengono replicate tre volte. Come da programma sono stati coltivati con mais da granella nel 2018 e frumento tenero per il 2019. La distribuzione dell'ammendante organico (compost) era stata prevista una tantum solo all'inizio del progetto, prima della coltivazione del frumento tenero che era avvenuta nel 2017.</p> <p>Sotto la supervisione e controllo di Fondazione CRPA, la gestione agronomica è stata condotta direttamente dai due partner agricoli Fondazione Navarra e Azienda Sarto, che hanno supportato anche la raccolta dati sull'impiego di macchine e mezzi tecnici. Per le concimazioni si è seguito il metodo del bilancio dell'azoto proposto dalla regione Emilia-Romagna; sono stati impiegati concimi binari/ternari in presemina, su mais starter fosfatico poi urea in copertura, su frumento nitrato ammonico all'accestimento e urea in levata. Alle raccolte si è proceduto alla pesatura dei prodotti ed al loro campionamento; le rese delle coltivazioni sono generalmente risultate buone, con alcune punte di eccellenza anche nei sistemi conservativi.</p> <p>Sono stati effettuati i seguenti campionamenti e analisi come da programma di lavoro:</p> <ul style="list-style-type: none">- granelle e residui sia di mais che frumento per analisi di s.s., CO, NTK, P;- acque di irrigazione per analisi di pH, SST, COD, N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, P e conducibilità;- terreni a fine prova per la quantità/qualità della sostanza organica (TOC, TEC, HA+FA). <p>Le analisi sono state condotte dal laboratorio della Fondazione CRPA. Per gli elementi della nutrizione vegetale è risultato così possibile calcolare i bilanci tra apporti e asportazioni.</p>

<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Le attività sono state condotte come previsto nel programma di lavoro.</p> <p>Il numero di campioni prelevati e le analisi effettuate sono in linea con il programma di lavoro. Nel periodo rendicontato sono stati prelevati, oltre ai campioni già elencati nel rendiconto intermedio:</p> <p>96 campioni di prodotti vegetali con analisi di s.s., CO, NTK e P (48 di granelle e residui di mais nel 2018 + 48 di granelle e paglie di frumento nel 2019);</p> <p>3 acque di irrigazione utilizzate su mais nel 2018;</p> <p>72 campioni di terreno a fine prove (36 per ogni sito a luglio 2019, dopo la raccolta del frumento) con analisi di TOC, TEC, HA+FA.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p><i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i></p>

2.4.2 Personale

Elencare il personale impegnato, il cui costo è portato a rendiconto, descrivendo sinteticamente l'attività svolta. Non includere le consulenze specialistiche, che devono essere descritte a parte.

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Ricercatore	Coordinamento attività di campo e laboratorio	400	€ 13.722,08
	Tecnico	Analisi di laboratorio su prodotti vegetali	366	€ 9.642,24
	Tecnico	Analisi di laboratorio su matrici organiche, acque irrigue, terreni	601	€ 14.385,79
	R) Tecnico	Rilievo dati, campionamenti	365	€ 9.016,03
) Tecnico	Controllo operazioni di campo, rilievo dati e prelievo campioni	363	€ 9.070,26
	Sperimentatore	Controllo e collaborazione su operazioni agronomiche	123	€ 3.756,42
	Otd spec.	Esecuzione operazioni agronomiche	963	€ 15.969,42
	Sperimentatore	Controllo e collaborazione su operazioni agronomiche	361	€ 7.109,59
Totale:				€ 82.671,83

2.4.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
	km 288 - RE - FERRARA - RE-23.06.17: Az. Sarto - Trebbiatura	€105,90
	km 298 - RE - Gualdo (FE) - Portoverrara (FE) - RE-27.06.17: Az. Sarto e Az. Navarra - Rilievi e campionamenti	€113,50
	km 175 - Bologna - Ferrara - RE-29.06.2017: Ritiro campioni	€60,10
	km 127 - RE - FERRARA -29.06.2017: Az. Navarra - Rilievi di campo	€57,20
	km 215 - RE - Bologna - RE-11.07.2017: Campionamento terreni	€73,90
	km 265 - RE - Ferrara - RE-7.09.2017: Az. Navarra - Riunione tecnica	€107,30
	km 270 - RE - Ferrara - RE-29.01.2018: Az. Navarra - Comitato di piano	€99,70
	km 270 - RE - Ferrara - RE-15.02.2018: Az. Navarra - Incontro	€113,20
	km 303 - RE - Gualdo (FE) - Portomaggiore (FE) - RE-26.04.2018: Az. Navarra e Az. Sarto - Controlli e rilievi sui siti sperimentali	€122,33
	km 303 - RE - Gualdo (FE) - Portomaggiore (FE) - RE-26.04.2018: Az. Navarra e Az. Sarto - Controlli e rilievi sui siti sperimentali	€121,30
	km 262 - RE - Gualdo (FE) - RE-8.08.2018: Az. Navarra - Incontro tecnico e visita guidata	€102,12
	km 298 - RE - Bologna - Gualdo (FE) - Portoverrara (FE) - RE-18.09.2018: RER, Az. Navarra, Az. Sarto - Ritiro campioni e programmazione attività agronomiche	€117,28
	km 293 - RE - Voghiera (FE) - Portoverrara (FE) - RE-17.06.2019: Az. Navarra e Az. Sarto - Giornata in campo e visita guidata	€119,93
	km 342 - RE - Portoverrara (FE) - RE-1.07.2019: Az. Sarto - Trebbiatura grano e campionamento granella	€138,44
	km 135 - RE - Gualdo (FE) - Ferrara - Bologna - RE-16.07.2019: Az. Navarra - Campionamento terreni	€73,45
	km 301 - RE - Portoverrara (FE) - RE-26.07.2019: Az. Navarra - Campionamento terreni	€113,72
	km 335 - RE - Ferrara - Portomaggiore (FE) - RE-13.09.2019: Az. Navarra e Az. Sarto - Comitato di progetto e visita aziendale	€131,75
	km 344 - RE - Ferrara - Portomaggiore (FE) - RE-26.09.2019: Az. Navarra e Az. Sarto - Riunione su elaborazione dati e presentazione risultati	€145,94
	km 265 - RE - Ferrara - RE-27.11.2019: Az. Navarra - Convegno finale progetto	€97,85
	TOTALE	€2.014,91

2.4.7 Attività di formazione

Descrivere brevemente le attività già concluse, indicando per ciascuna: ID proposta, numero di partecipanti, spesa e importo del contributo richiesto

ID proposta Catalogo Verde: 5004944

Tutta la documentazione relativa al Coaching è stata rendicontata su SIAG.

Il contributo richiesto è stato di euro 99,20 + 21,82 (IVA 22%) per singola azienda

ID proposta	Azienda	N. e nome partecipante	Spesa (euro)	Contributo richiesto (euro)
5004944	FONDAZIONE PER L'AGRICOLTURA F.LLI NAVARRA - Via Conca, 73/B - Ferrara		€ 496,00	€ 396,80
5004944	AZIENDA AGRICOLA GRAZIANO SARTO - Strada Rangona, 47/A - Portomaggiore (FE)		€ 496,00	€ 396,80
TOTALE			€ 992,00	€ 793,60

2.4.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:			

CONSULENZE - SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:				

2.5 Azione 4 della realizzazione

2.5.1 Attività e risultati

Azione	3.4) Valutazione sostenibilità ambientale ed economica
Unità aziendale responsabile	Areté
Descrizione delle attività evidenziate	<p><u>Valutazione economica</u></p> <p>L'analisi economica è stata effettuata tramite raccolta dati dalle aziende agricole del Gruppo Operativo relativamente a:</p> <ul style="list-style-type: none">• 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. <p>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 (testimone). 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).</p> <p>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.</p> <p>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).</p> <p>È stata poi realizzata una simulazione dell'ipotetico impatto dell'utilizzo delle diverse pratiche agronomiche proposte e attuate nel progetto, su tutto il territorio provinciale.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi prefissati dal progetto per questa attività sono stati pienamente raggiunti. La simulazione sull'impatto delle pratiche agronomiche sul territorio provinciale così come i risultati della simulazione economica naturalmente risentono dell'elevata eterogeneità dei risultati ottenuti nelle due aziende oggetto di studio e della forte variabilità territoriale ed aziendale presente nella provincia di Ferrara così come del breve lasso di tempo analizzato (3 campagne).</p>
Attività ancora da realizzare	

Azione	3.4) Valutazione sostenibilità ambientale ed economica
Unità aziendale responsabile	Horta
Descrizione delle attività evidenziate	<p>Le informazioni necessarie alla valutazione dell'impatto ambientale sono state ottenute grazie ai questionari raccolti dalle aziende agricole. Diversi indicatori sono stati scelti per delineare un profilo di sostenibilità delle diverse gestioni colturali. Sono stati poi individuati indicatori relativi all'ingegneria ambientale e basati sullo studio del ciclo di vita dei prodotti, senza trascurare quelli di performance agronomica.</p> <p>I dati sono stati caricati su una piattaforma informatica in grado di calcolare automaticamente gli impatti ambientali seguendo 2 step: 1) inserimento di informazioni generali relative alla coltivazione e alle scelte strategiche di coltivazione; 2) compilazione on-line di un Registro delle Operazioni Colturali (ROC) con informazioni specifiche e relative alle operazioni colturali e i mezzi tecnici utilizzati durante la coltivazione.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Tra tutti gli indicatori studiati i più interessanti sono: carbon footprint, water footprint, consumi di gasolio e indicatori relativi all'efficienza della concimazione azotata.</p> <p>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.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi prefissati sono stati pienamente raggiunti. Non si segnalano scostamenti o criticità rispetto al piano di lavoro.

2.5.2 Personale

Elencare il personale impegnato, il cui costo è portato a rendiconto, descrivendo sinteticamente l'attività svolta. Non includere le consulenze specialistiche, che devono essere descritte a parte.

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Pedologo esperto	Ricercatore	61	€ 2.475,99
	Ricercatore	Collaborazione per fornitura dati e risultati	90	€ 3.092,66
	Consulente Senior - Coordinatore settore Consulenza Strategica Quadro	Analisi della redditività: predisposizione delle schede per la raccolta dei dati, raccolta delle informazioni sul mercato relativo ai prezzi degli input, riempimento delle schede, analisi preliminare dei dati. Raccolta e analisi finale dei dati. Stesura report finale.	468	€ 14.693,08
	Responsabile - Quadro	Implementazione infrastruttura informatica e implementazione applicativo raccolta dati	184	€ 10.829,18
	Agrologo sperimentatore	Stesura questionario raccolta dati, individuazione indicatori di impatto e studio del metodo di calcolo. Raccolta dati dal questionario e implementazione calcoli indicatori	606	€ 14.497,30
			Totale:	€ 45.588,21

2.5.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
		Totale:

2.5.4 Materiale consumabile

Fornitore	Descrizione materiale	Costo
		Totale:

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:			

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:				

2.6 Azione di divulgazione e trasferimento

2.6.1 Attività e risultati

Azione	4) Piano di divulgazione di trasferimento dei risultati e implementazione della rete PEI
Unità aziendale responsabile	Fondazione Fratelli Navarra
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione, al fine di ottenere la più ampia ricaduta delle informazioni e dei risultati ottenuti dalle attività del Piano, si è provveduto a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aggiungere contenuti alle pagine Internet dedicate al progetto https://www.fondazioneavarra.it/index.php/chi-siamo/iniziativa-gruppo-nitrati-ferrara; - dare rilevanza su canali social (Facebook) del percorso per arrivare alle informazioni - sono state realizzate due giornate tecniche in campo, occasioni utilizzate anche dal comitato come momento di coordinamento e monitoraggio delle attività (08 agosto 2018 e 17 giugno 2019); - è stato presentato un poster relativo al progetto durante il Workshop internazionale EIP AGRI "Connecting innovative projects: Water & Agriculture" - Almeria (Spagna), 30/31 Maggio 2018; - un altro poster è stato presentato ad un'iniziativa della Rete Rurale Nazionale 2014/2020 - Workshop "I gruppi operativi fanno rete" il 27 settembre 2018 a Roma; - il Convegno conclusivo si è tenuto presso la Sala Riunioni "Laura Benini" della Fondazione Navarra a Ferrara il 27 novembre 2019, ed ha visto la partecipazione di oltre 70 persone. Queste le relazioni presentate, scaricabili alla pagina dedicata: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Effetti dei regimi colturali sulla sostanza organica e sulla prevenzione dell'inquinamento da nitrati - Nicolò Colombani (Dipartimento di Scienze della Vita e Biotecnologie, Università di Ferrara)</i> - <i>Risultati delle prove in campo, presso le aziende agricole Sarto Graziano e Fondazione per l'Agricoltura F.Ili Navarra - Paolo Mantovi (Fondazione CRPA)</i> - <i>Lo studio dei suoli e la Carta della rappresentatività dei siti sperimentali - Carla Scotti (I.TER)</i> - <i>Valutazione della sostenibilità e degli impatti ambientali nei sistemi a confronto - Matteo Ruggeri (Horta)</i> - <i>Analisi della sostenibilità economica e della redditività delle produzioni nei sistemi a confronto - Ludovico Gruppioni (Aretè)</i> - <i>Spunti per il miglioramento della pratica agronomica - Luca Davì (Fondazione per l'Agricoltura F.Ili Navarra)</i> - <i>Riassunto dei principali risultati e conclusioni - Paolo Mantovi (Fondazione CRPA) e Giuseppe Castaldelli - (Dipartimento di Scienze della Vita e Biotecnologie, Università di Ferrara)</i> - è stata realizzata una brochure divulgativa dei risultati del progetto di 48 pagine con abstract in inglese oltre a pieghevoli, bandiere, video, penne, block notes, manifesti - è stato prodotto un videoclip di progetto della durata di 10 minuti - sono stati pubblicati articoli su quotidiani e su riviste specializzate (anche di tipo scientifico internazionale) di seguito nuovamente riportati: <ul style="list-style-type: none"> - <i>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.</i> - <i>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.</i> - <i>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.</i> - <i>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.</i> - <i>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.</i>

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico- scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Gli obiettivi prefissati sono stati pienamente raggiunti. Non si segnalano scostamenti o criticità rispetto al piano di lavoro.</p>
Attività ancora da realizzare	

2.6.2 Personale

Elencare il personale impegnato, il cui costo è portato a rendiconto, descrivendo sinteticamente l'attività svolta. Non includere le consulenze specialistiche, che devono essere descritte a parte.

Cognome e nome	Mansion e/	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Tecnico	Collaborazione alle attività di divulgazione	232	€ 5.121,12
	Pedologo esperto	Ricercatore	49	€ 1.988,91
	Ricercatore	Collaborazione e partecipazione alle attività di divulgazione	102	€ 3.495,30
	Professore associato-Responsabile tecnico scientifico del progetto	Professore associato- Responsabile tecnico scientifico del progetto	18	€ 684,36
Totale:				€ 11.289,69

2.6.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
Totale:		

2.6.4 Materiale consumabile

Fornitore	Descrizione materiale	Costo
	Totale:	

2.6.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

Fornitore	Descrizione dell'attrezzatura	Costo
	Totale:	

2.6.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

Descrivere i prototipi realizzati e i materiali direttamente imputabili nella loro realizzazione

Fornitore	Descrizione	Costo
	Totale:	

2.6.7 Attività di formazione

Descrivere brevemente le attività già concluse, indicando per ciascuna: ID proposta, numero di partecipanti, spesa e importo del contributo richiesto

2.6.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
m.c.m. di Maietti Claudio (Fond. Navarra)		Logo, Banner, sito web, pieghevoli, bandiere, video, brochure, penne, block notes, manifesti, videoclip	€ 10.690,00
Totale:			€ 10.690,00

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:				

3 - Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

Lunghezza max 1 pagina

Criticità tecnico-scientifiche	
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	
Criticità finanziarie	

4 - Altre informazioni

Riportare in questa sezione eventuali altri contenuti tecnici non descritti nelle sezioni precedenti

5 - Considerazioni finali

Riportare qui ogni considerazione che si ritiene utile inviare all'Amministrazione, inclusi suggerimenti sulle modalità per migliorare l'efficienza del processo di presentazione, valutazione e gestione di proposte da cofinanziare

6 - Relazione tecnica

DA COMPILARE SOLO IN CASO DI RELAZIONE FINALE

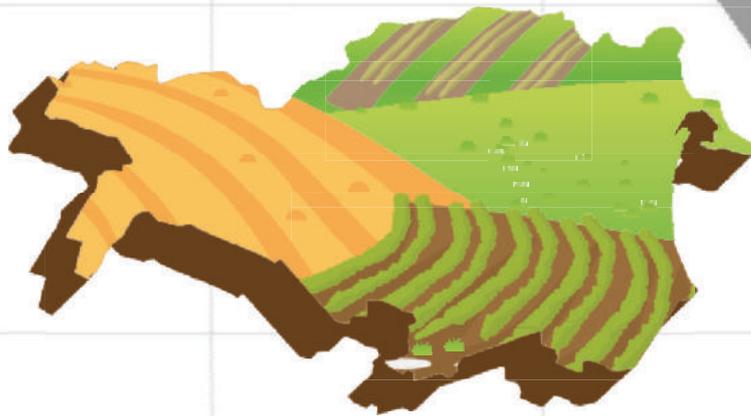
Descrivere le attività complessivamente effettuate, nonché i risultati innovativi e i prodotti che caratterizzano il Piano e le potenziali ricadute in ambito produttivo e territoriale

Si rimanda alla RELAZIONE TECNICA allegata, la descrizione della realizzazione del Piano

Data 20/01/2020



**GRUPPO
OPERATIVO
NITRATI
FERRARA**

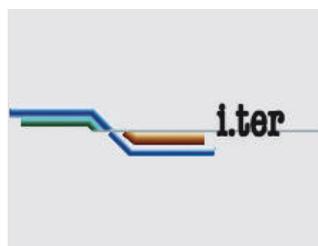


PER LA PREVENZIONE DELL'INQUINAMENTO
DA NITRATI E LA CONSERVAZIONE
DELLA SOSTANZA ORGANICA

**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 €



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 della 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 della 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 H₂O, 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, all'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 alla 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 è 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 è stato 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 H₂O, 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 il 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 immediato 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 presenza di un 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 il 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 uno 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 orsono 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 Ferrara 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 valutato 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 semine su 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 culturale 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 120 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 sperimentale è stata impostata, in riferimento all'intero appezzamento, facendola ricadere principalmente dove prevalgono maggiori spessori dei depositi alluvionali a tessitura media.

Profilo pedologico rilevato presso Azienda Agricola Fondazione Navarra



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 LF11-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 a 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.



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 K ₂ O) mg/kg	Fosforo assimilabile (come P ₂ O ₅) 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

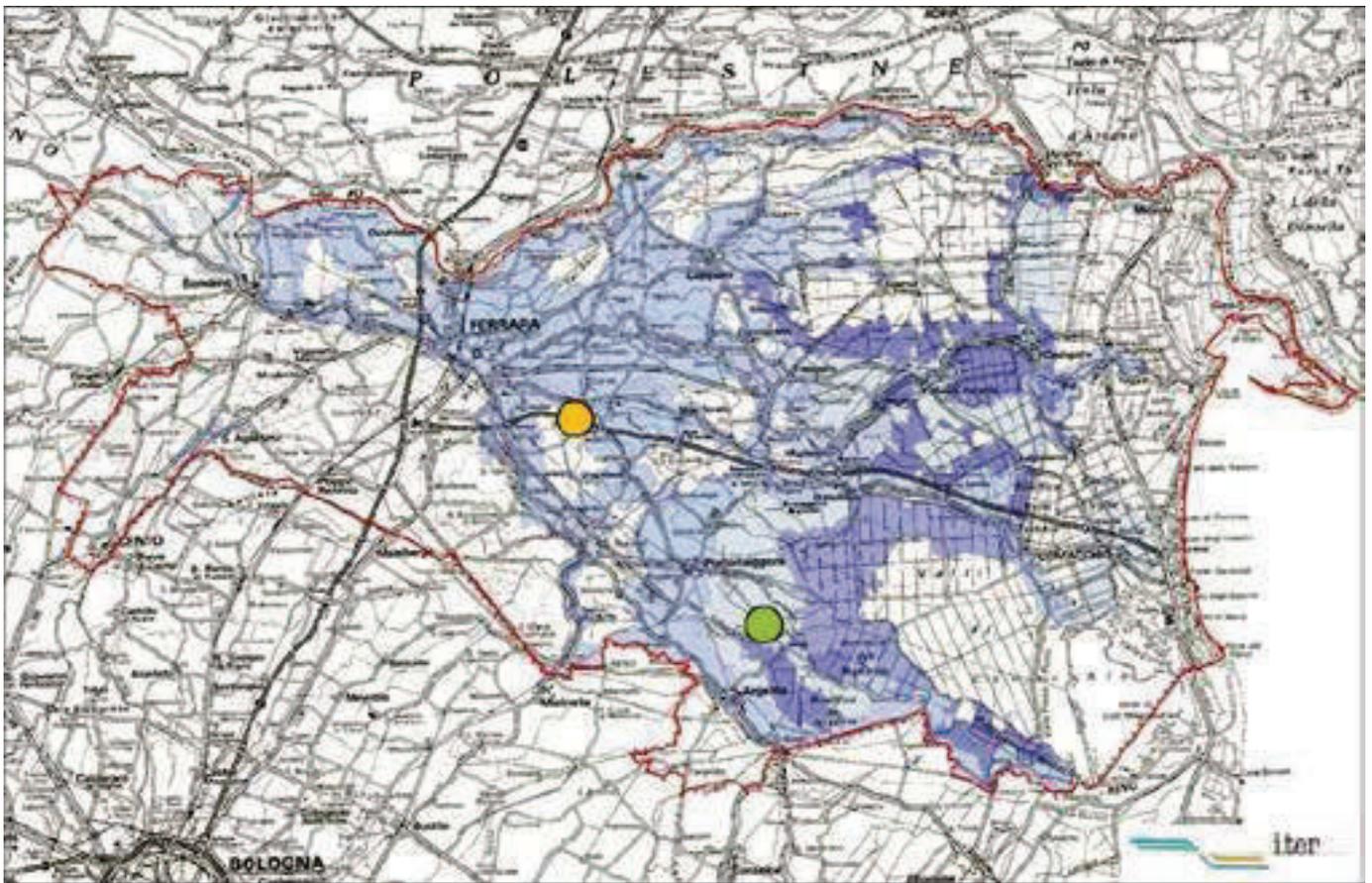
L'allegato 1 riporta in maggior dettaglio la descrizione della caratterizzazione pedologica dei due siti sperimentali comprensiva delle trivellate e dei profili realizzati.

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 Unità 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



	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) necessaria 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 interrimento dei residui colturali



Minima lavorazione con interrimento di compost



La distribuzione di ammendante organico effettuata in alcune delle tesi a confronto all'inizio del ciclo di prove, ha visto un apporto di compost del tipo ammendante compostato misto alla dose di 30 t/ha di materiale tal quale.

Tale ammendante deriva dal compostaggio di rifiuti lignocellulosici, frazione organica da raccolta differenziata del rifiuto urbano, rifiuti della ristorazione, scarti agroindustriali, digestato da trattamento anaerobico (con esclusione di quello proveniente dal trattamento di rifiuto indifferenziato).

Al termine del processo di compostaggio il materiale grezzo viene vagliato a 10 mm.

Le caratteristiche del compost utilizzato a inizio prove presso le due aziende agricole del Gruppo Operativo sono riportate nella tabella che segue.

Caratteristiche chimiche del compost utilizzato nelle prove agronomiche

Parametro	Unità di misura	Fondazione Navarra	Graziano Sarto
Solidi Totali	[%tq]	49,8	47,4
Solidi Volatili	[%ST]	70,7	64,7
pH	[-]	5,8	5,2
N totale	[g/kg tq]	12,82	10,86
N ammoniacale	[g/kg tq]	2,22	1,71
P totale	[g/kg tq]	2,23	2,61
K totale	[g/kg tq]	6,83	5,22

I due compost sono derivati dal medesimo impianto di produzione ma presentavano caratteristiche leggermente differenti, in particolare quello impiegato presso l'azienda Graziano Sarto era leggermente più umido e con un contenuto inferiore di sostanza organica (determinata come solidi volatili) e quindi superiore di ceneri (differenza tra solidi totali e solidi volatili). Inoltre era più acido e con contenuto di azoto leggermente inferiore.

Come tipologia di concimi chimici invece, sulle due colture sono stati impiegati binari/ternari in presemina, su frumento nitrato ammonico all'accostamento e urea in levata, su mais starter fosfatico poi urea in copertura.

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

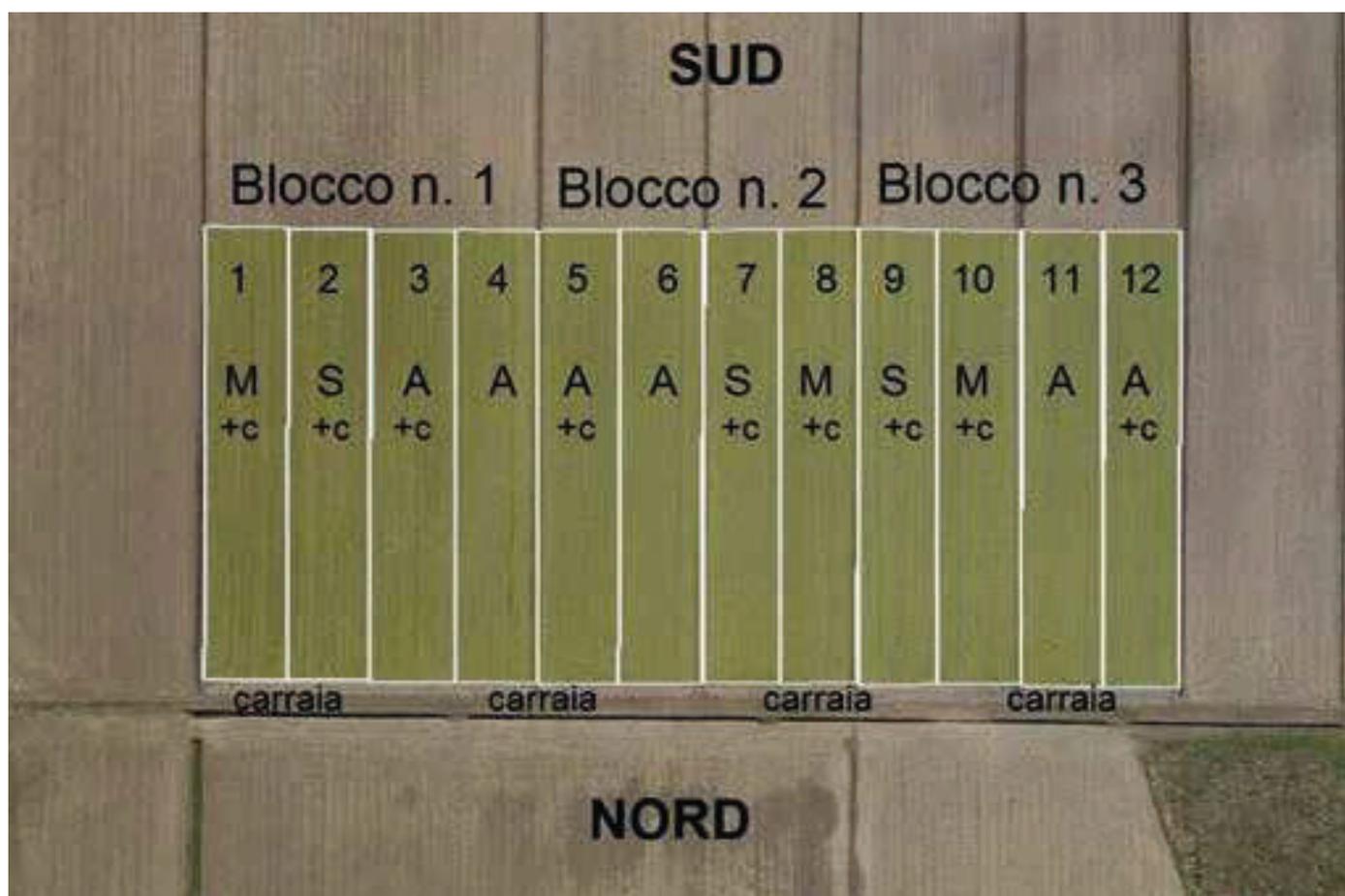


Semina su sodo di frumento tenero su residui di mais (Azienda Agricola Graziano Sarto)



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 *PI535* (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

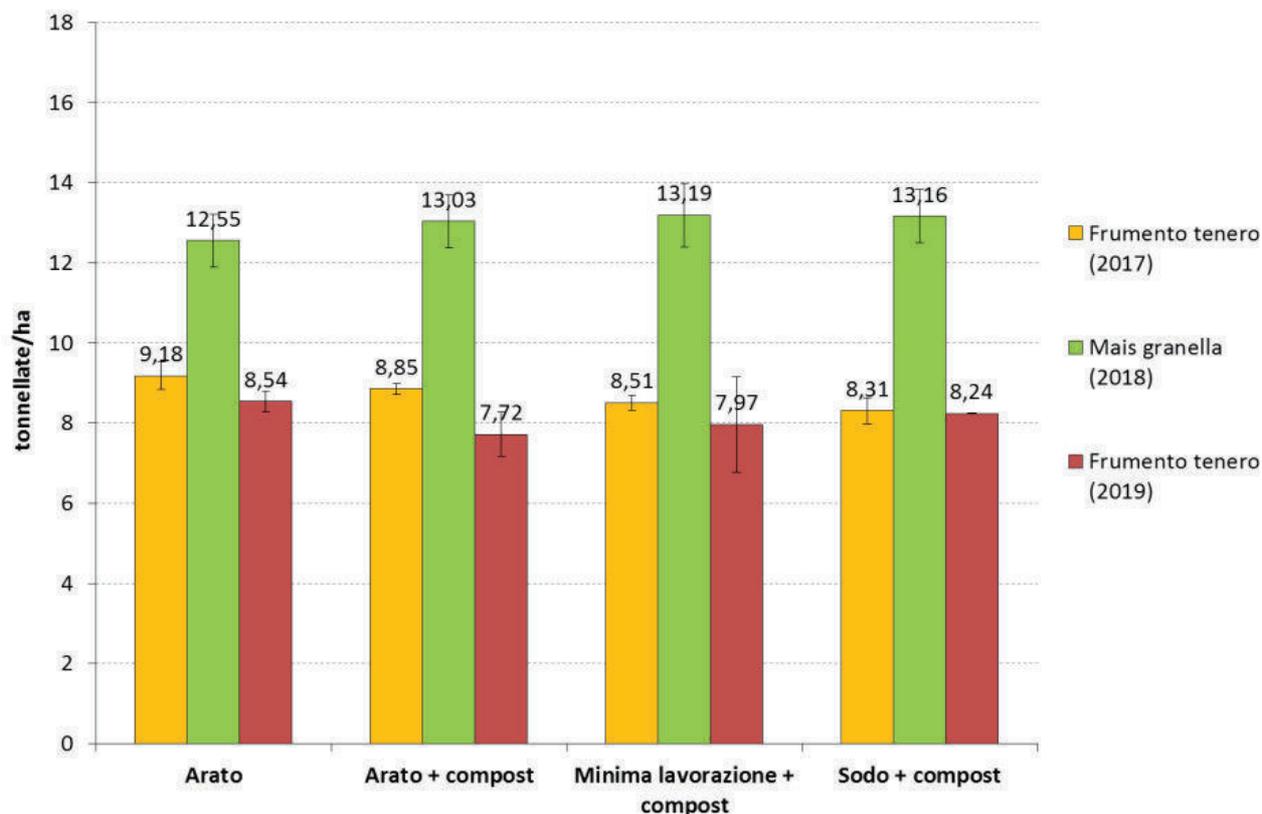
Apporti di azoto nella prova agronomica di Graziano Sarto (kg/ha)

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

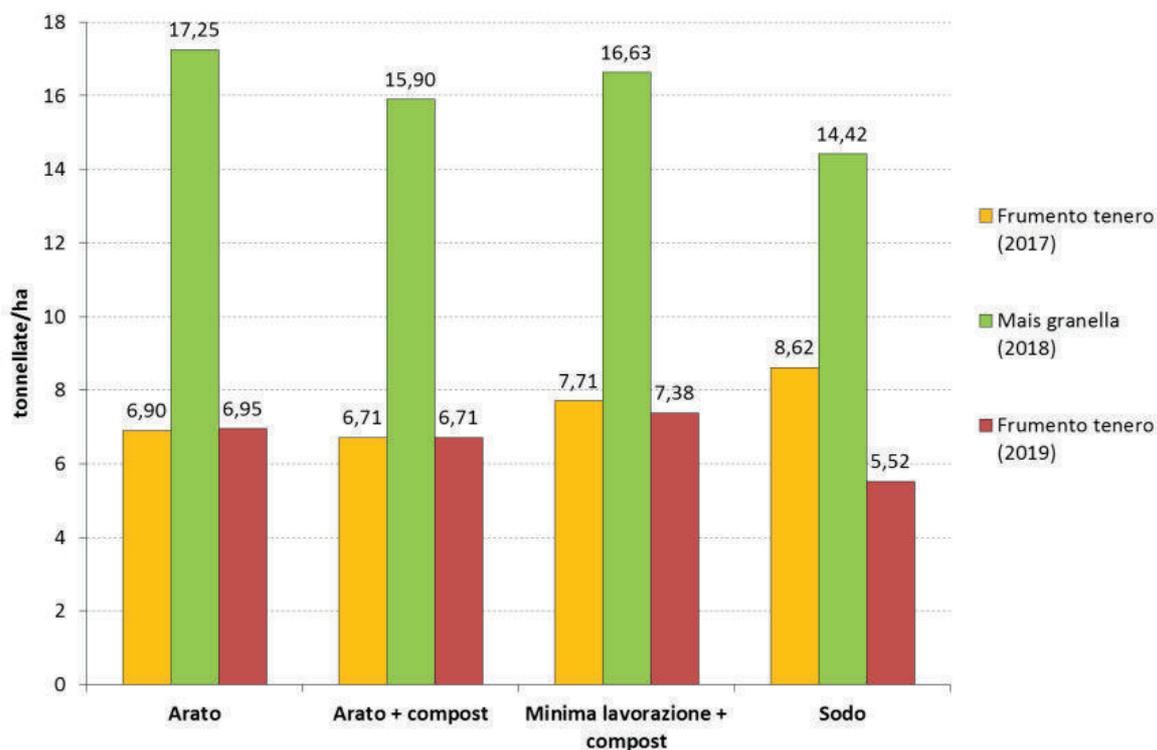
* considerando efficienza d'uso dell'azoto da compost pari al 40% il primo anno, moltiplicata per il coefficiente tempo 0,6 del frumento

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 organica. Se si considerano gli apporti totali di azoto al campo, e quindi le quote complessive di azoto apportate con i compost (non solo N efficiente per le colture), nelle parcelle che hanno ricevuto l'ammendante si riscontrano differenze tra apporti e asportazioni (granelle) nel triennio di circa 400 kg N/ha, contro i circa 100 kg N/ha nelle parcelle senza compost. Tenuto conto che nel triennio sono stati misurati da circa 100 kg N/ha (Navarra) a circa 200 kg N/ha (Sarto) contenuti nei residui colturali, radici escluse, si capisce come i sistemi arativi, con asporto dei residui e senza apporti di fertilizzanti organici, risultano

soggetti a diminuzione dello stock di azoto (e di conseguenza di sostanza organica). Il mantenimento/incremento della sostanza organica nel suolo si può ottenere lasciandovi i residui colturali (delle colture da reddito oppure di cover crops) e/o effettuando periodiche fertilizzazioni organiche. Occorre però tenere in considerazione che il riciclo di residui colturali, caratterizzati da rapporti C/N decisamente più elevati rispetto alla sostanza organica del terreno, dovrebbe essere accompagnato da adeguati apporti di azoto per risultare efficace nel mantenimento/incremento della sostanza organica e della fertilità del suolo nel medio-lungo periodo.

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 stata 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 installata 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 ($4 \times 2 = 8$). In ciascuna delle otto parcelle è stata installata 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 ($2 \times 3 \times 4 = 24$). 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 principali caratteristiche chimiche e fisiche, sono state 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 elementare (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 delle 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.



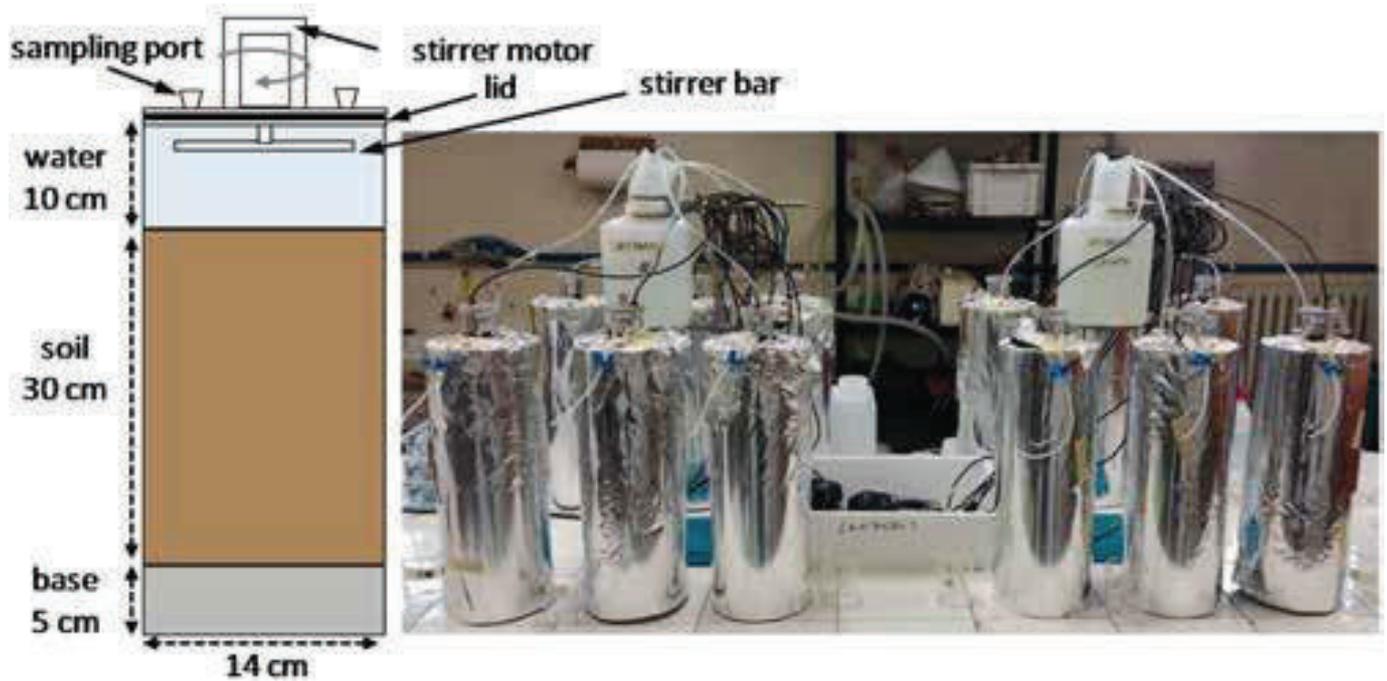
Risultati

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.**



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). È 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



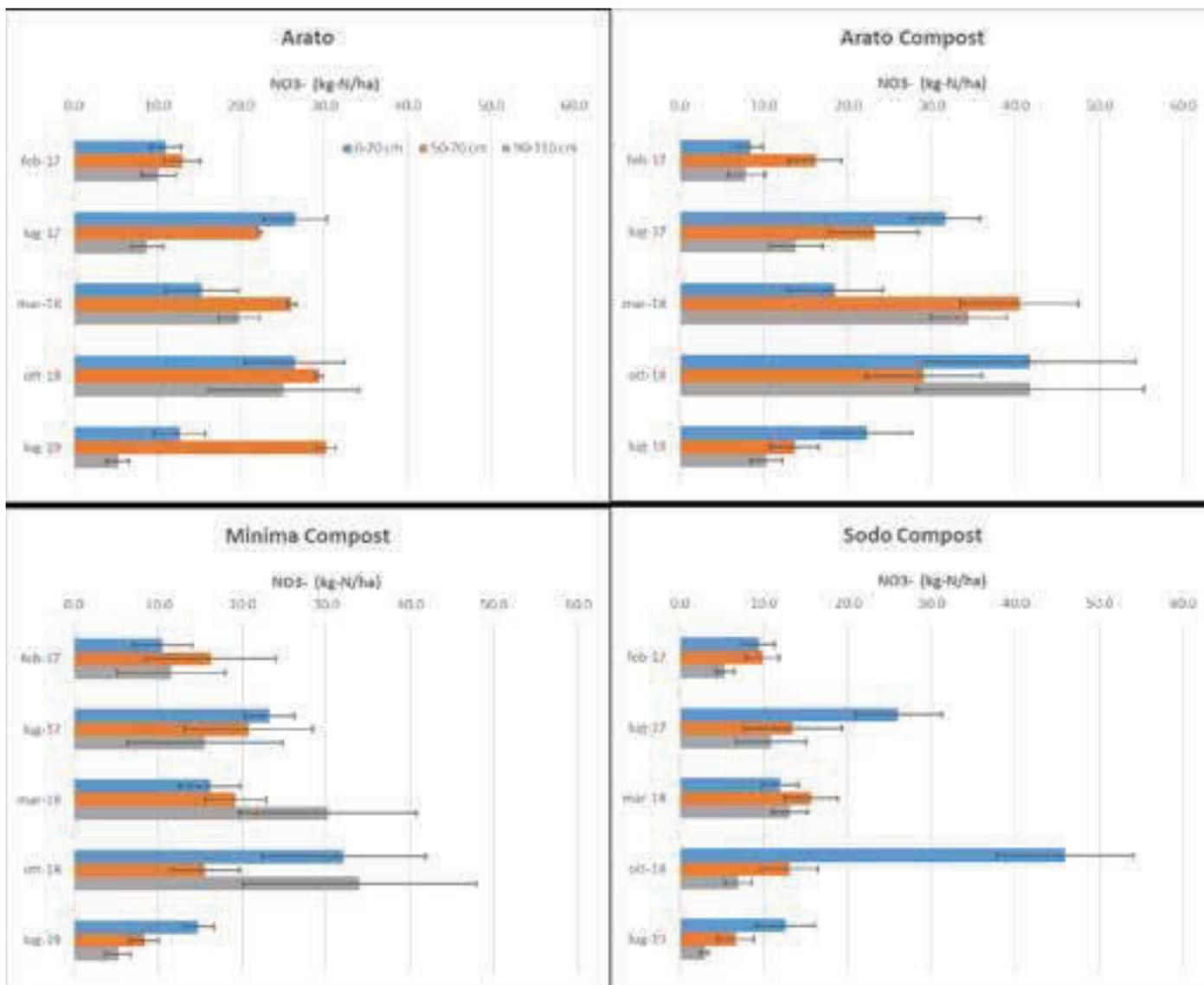
è un prodotto intermedio della denitrificazione e, quindi, in presenza di elevate attività di denitrificazione è ragionevole chiedersi se ed in quali quantità sia prodotto. Anche se non era oggetto di questo progetto, abbiamo effettuato alcune misure di verifica in laboratorio. I risultati ottenuti hanno 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 superficie, 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

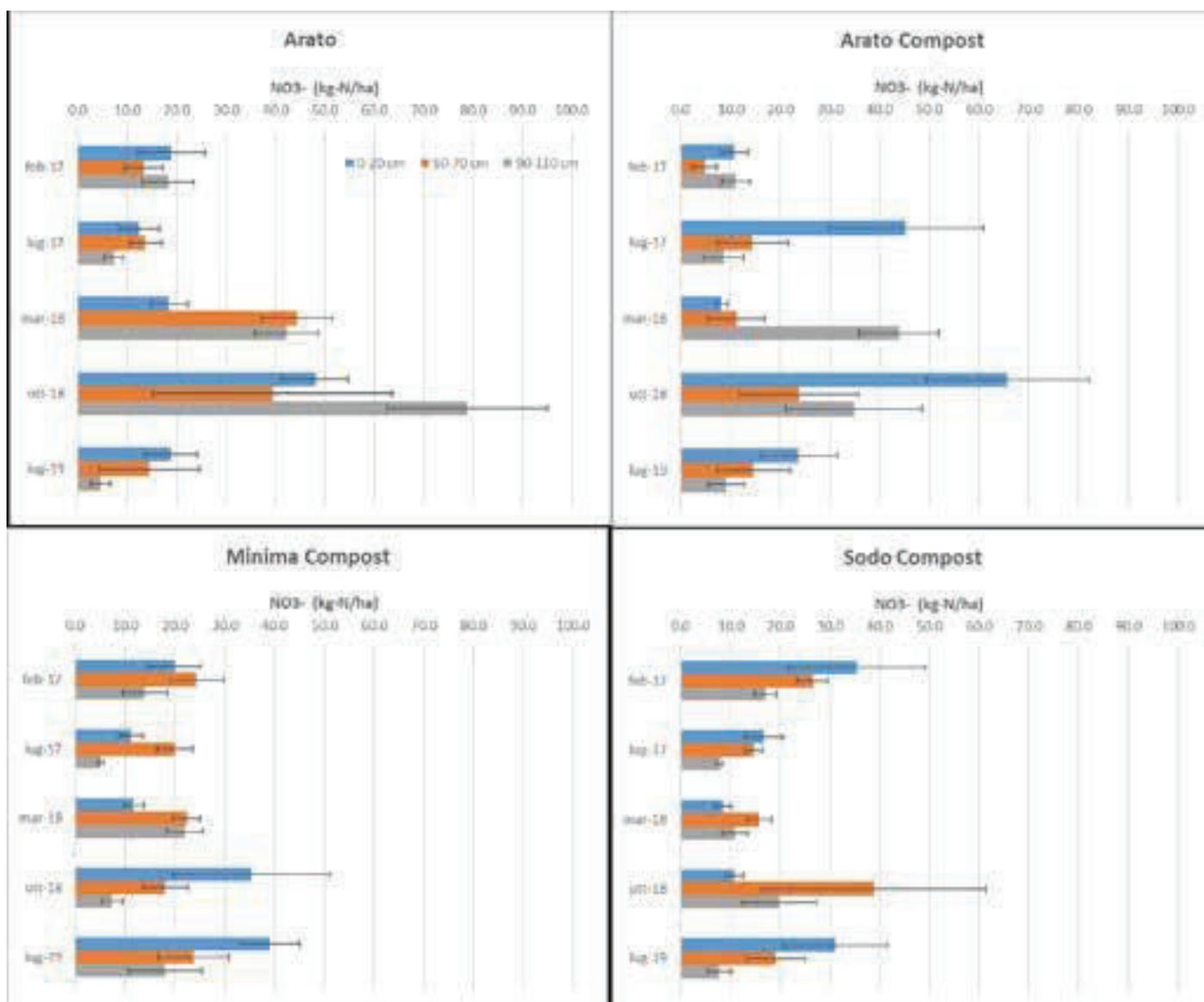


risultate costantemente molto basse, più di un ordine di grandezza inferiori rispetto a quelle dei nitrati.

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

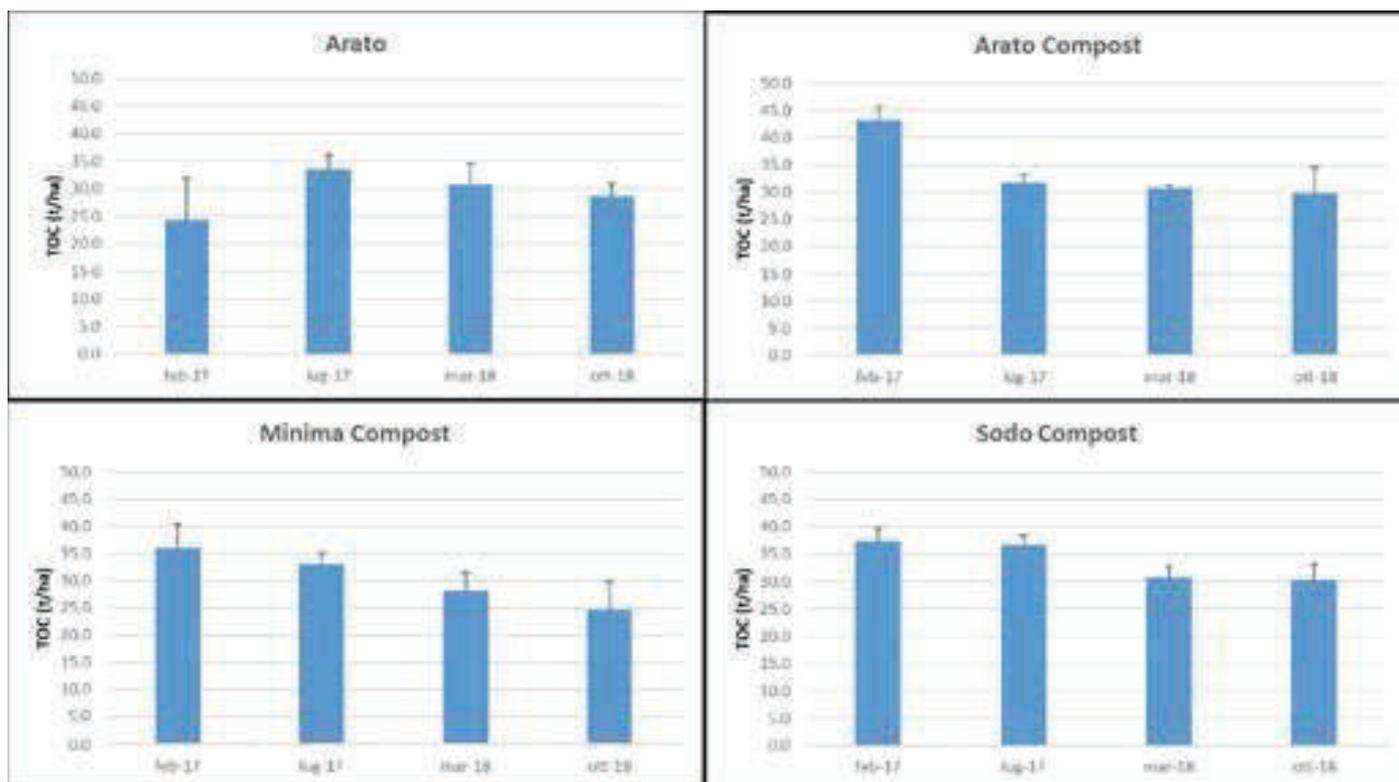


andamenti della sostanza organica, misurata come concentrazione del carbonio organico totale, di qui in avanti indicato con la sigla TOC. I valori del TOC presentati nei grafici arrivano alla fine del 2018. I dati relativi al 2019, unitamente a tutti i risultati analitici del progetto, sono riportati in Appendice. Le analisi sono in corso e saranno completate entro i tempi del progetto.

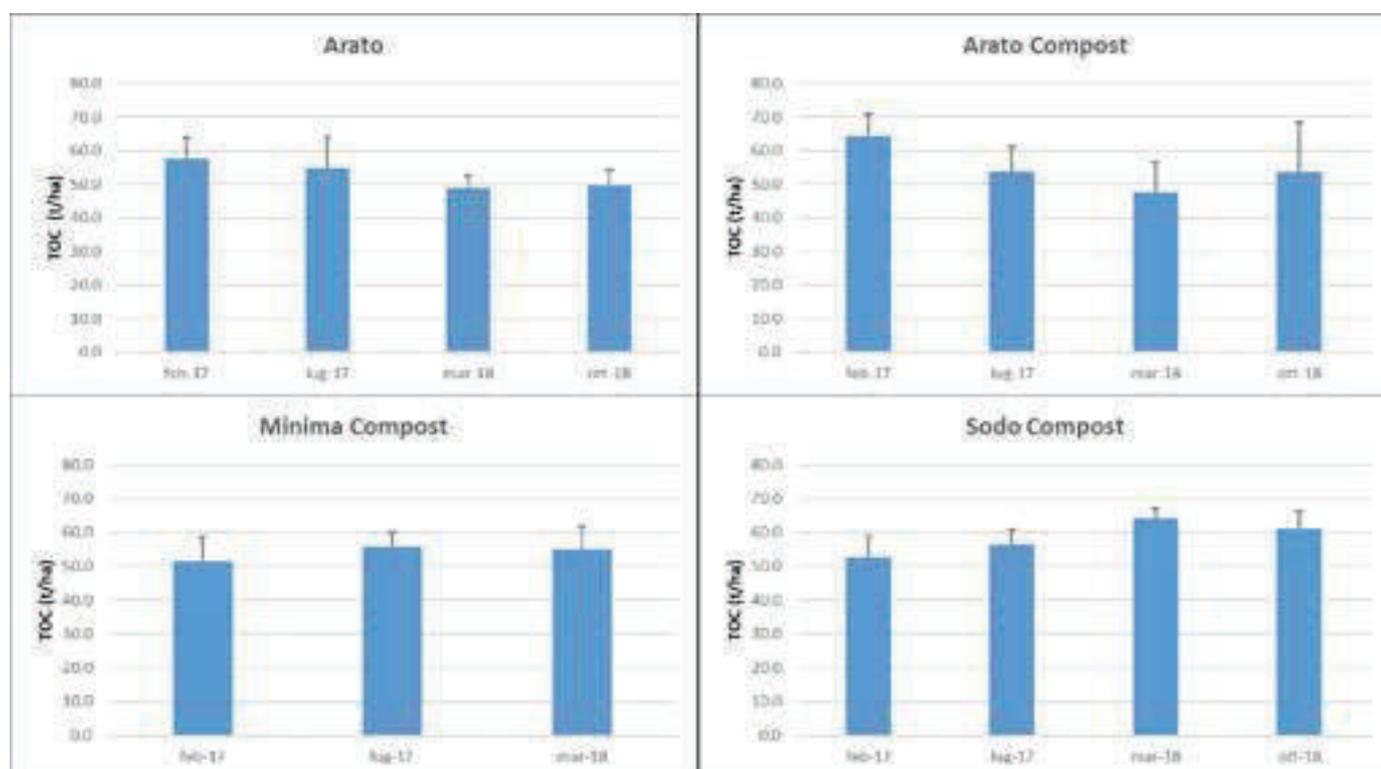
In entrambi i siti rileviamo una tendenza più marcata al calo di sostanza organica nelle tesi che comportavano aratura, rispetto alla minima lavorazione o alla assenza di lavorazione. Le due figure successive mostrano tale calo nello strato superficiale (0-20 cm) delle varie tesi nei due siti. Le variazioni 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 terzo 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



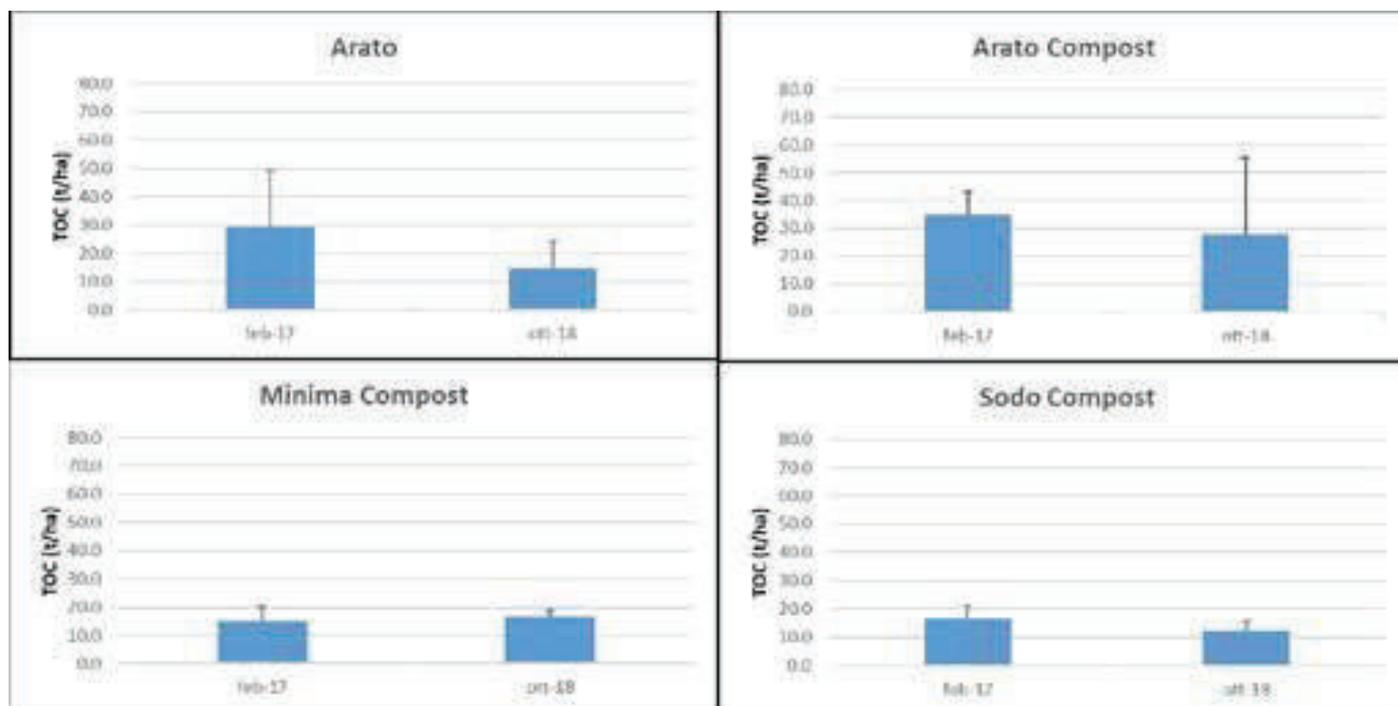
Carbonio organico totale nelle diverse parcelle sperimentali del sito della azienda Graziano Sarto, alla profondità di 0-20 cm. La barra d'errore corrisponde alla deviazione standard su 5 repliche



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 Fondazione Navarra, alla profondità di 50-70 cm. La barra d'errore corrisponde alla deviazione standard su 5 repliche

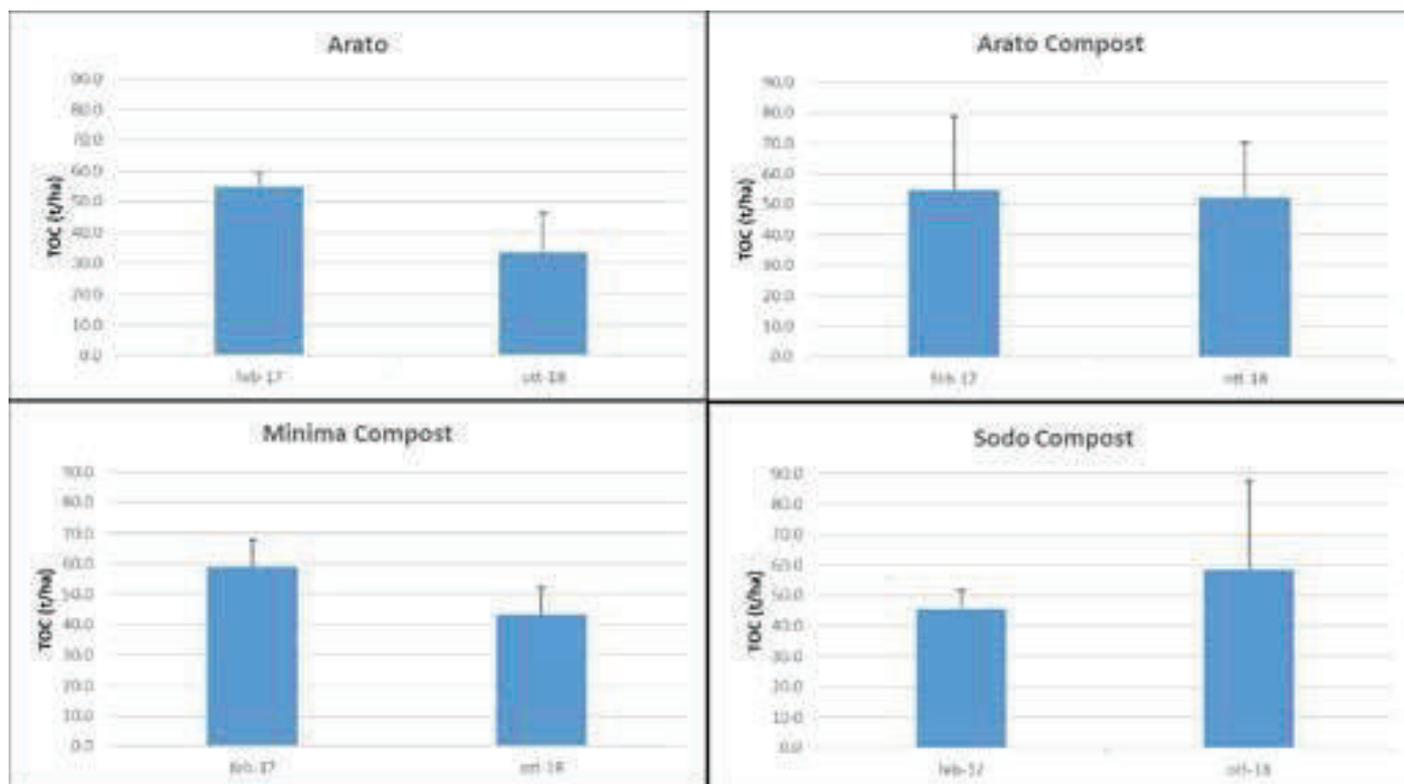


alla azienda Fondazione Navarra, all'inizio della sperimentazione, dopo la distribuzione del compost e alla fine del 2018. Il TOC decresce nell'Arato mentre nell'Arato+Compost il TOC risulta stabile ma con estrema variabilità spaziale (barra d'errore molto ampia). Nelle tesi Minima+Compost e Sodo+Compost 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 (50-70 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 concentrazione dei nitrati nel

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



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 granello 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:

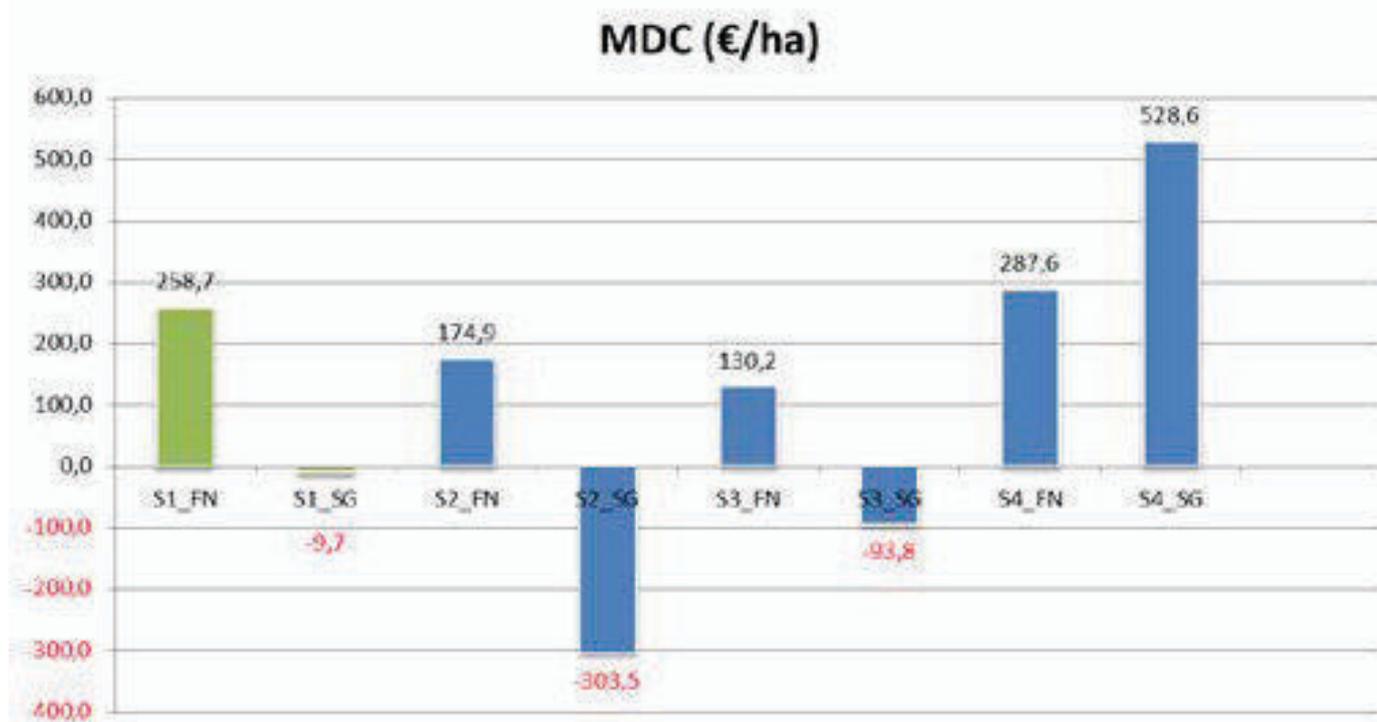
- Fondazione Navarra: FN
- Graziano Sarto: SG

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.

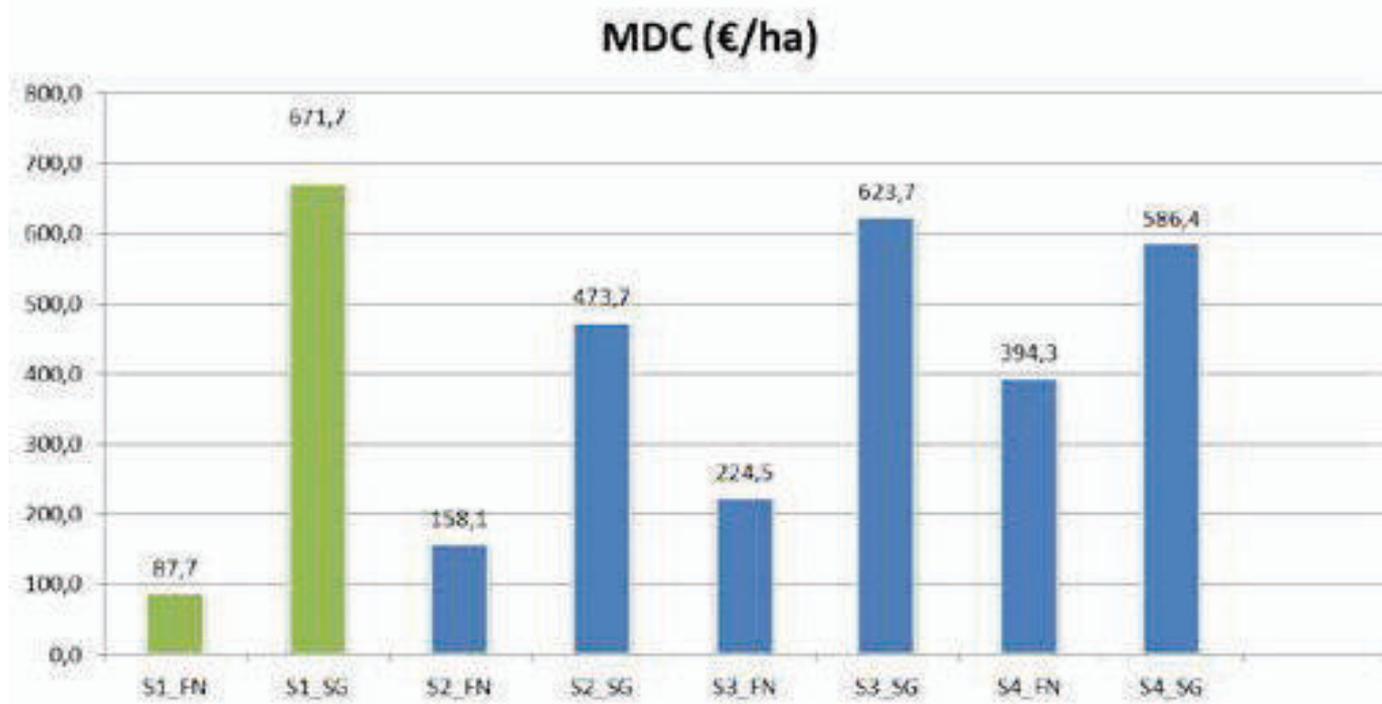
Margine di contribuzione (€/ha) – frumento tenero 2017/2018 (elaborazione Areté su dati rilevati)



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).

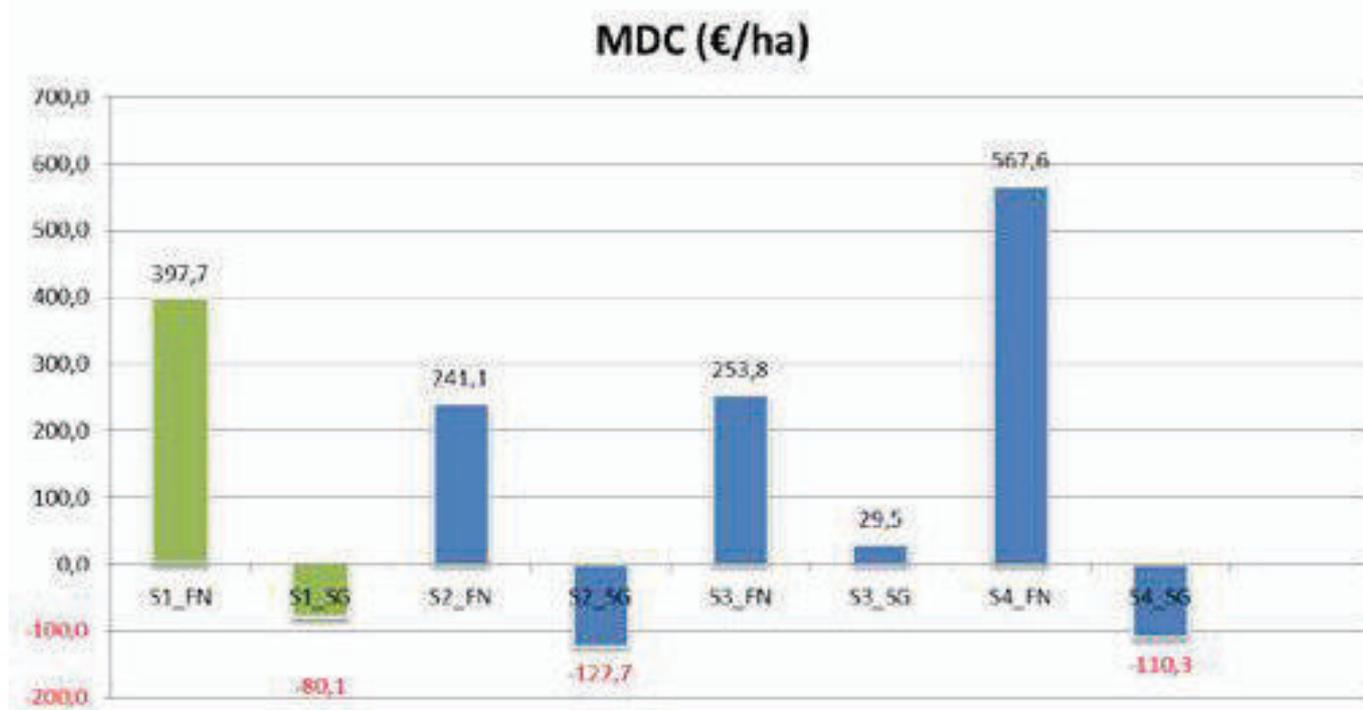
Margine di contribuzione (€/ha) – mais 2018/2019 (elaborazione Areté su dati rilevati)



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.

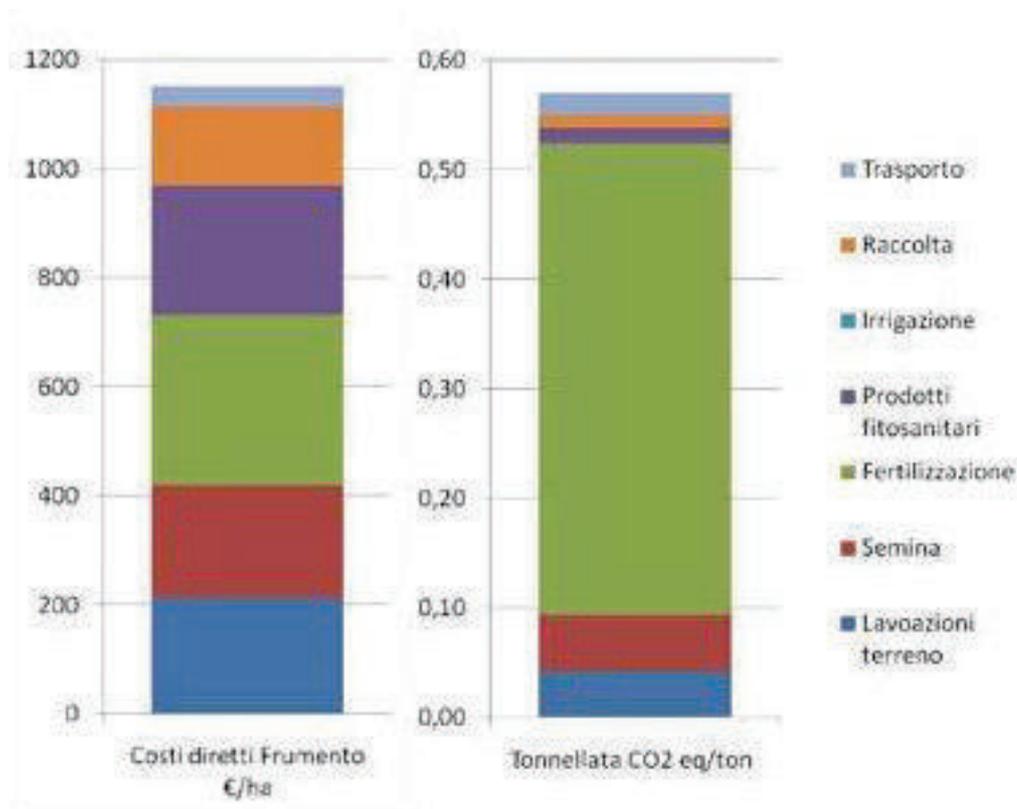
In dettaglio, l'approccio esamina e quantifica l'impatto delle lavorazioni, della semina, dei trattamenti, delle concimazioni, delle eventuali irrigazioni, della raccolta, ecc. senza tralasciare gli impatti e le risorse impiegate per produrre le materie prime (seme, concime, prodotti fitosanitari) utilizzate 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 CO₂ 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 CO₂ 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 (CO₂), metano (CH₄), ossido nitroso (N₂O), il gruppo degli idrofluorocarburi (HFCs), dei perfluorocarburi (PFCs) e l'esafluoruro di zolfo (SF₆). Ogni gas serra possiede un fattore di conversione per ricondurre tutte le diverse tipologie di emissioni nella tipologia anidride carbonica (CO₂-eq.). I fattori di conversione e la metodologia adottata sono stati definiti dall'IPCC (International Panel on Climate Change).
- 2. Water footprint.** L'indicatore (m³ 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 evapotraspirata 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) e per tonnellata prodotta (l/t);
4. **Azoto distribuito per ettaro** (kg/ha) e per tonnellata prodotta (kg/t);
5. **Fertilizzanti per ettaro** (kg/ha) e per tonnellata prodotta (kg/t);
6. **Prodotti fitosanitari per ettaro** (kg/ha) e per tonnellata prodotta (kg/t);
7. **Semente per ettaro** (kg/ha) e per 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			
Anno	Coltura	Arato	Arato + compost 1° anno	Minima lav. + compost 1° anno	Sodo + compost 1° anno
2017	Frumento tenero	185	146	150	135
2018	Mais	199	249	222	185
2019	Frumento tenero	165	161	179	84
	Media 3 anni	183	185	184	134

Sarto Graziano			
Arato	Arato + compost 1° anno	Minima lav. + compost 1° anno	Sodo
153	149	162	73
259	303	295	214
169	168	160	72
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			
Anno	Coltura	Arato	Arato + compost 1° anno	Minima lav. + compost 1° anno	Sodo + compost 1° anno
2017	Frumento ten	0,323	0,192	0,202	0,200
2018	Mais	0,309	0,309	0,299	0,297
2019	Frumento ten	0,341	0,376	0,371	0,289
	Media 3 anni	0,324	0,292	0,291	0,262

Sarto Graziano			
Arato	Arato + compost 1° anno	Minima lav. + compost 1° anno	Sodo
0,375	0,249	0,222	0,308
0,237	0,266	0,253	0,159
0,496	0,439	0,413	0,607
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 culturali. I valori considerano tutti i consumi di acqua (reale e teorica) necessari per la coltura e la sua gestione.

Water Footprint (m ³ H ₂ O/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 esistano dati di bibliografia relativi alle emissioni di CO₂ 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'eguale 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 grano 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).

Agronomic NUE sulle unità disponibili		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 CO₂eq./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 (m³ H₂O/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 CO₂eq./t) e water footprint (m³ H₂O/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 CO₂eq./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 CO₂eq./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 CO₂eq./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.

Riferimenti bibliografici

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., Salemi, E., 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.

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".

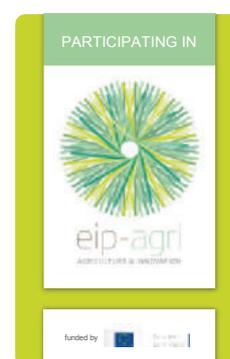


UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali





DESCRIZIONE
ATTIVITA' FONDAZIONE PER
L'AGRICOLTURA FRATELLI
NAVARRA



DESCRIZIONE ATTIVITA' SVOLTA NELL'AZIENDA FONDAZIONE PER L'AGRICOLTURA FRATELLI NAVARRA AI FINI DEL PIANO OPERATIVO "NITRATI FERRARA" - AZIONE 1 CARATTERIZZAZIONE PEDOLOGICA E IDROLOGICA PER LA TRASFERIBILITÀ DEI RISULTATI

A cura di Carla Scotti e Antea De Monte di I.TER



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



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



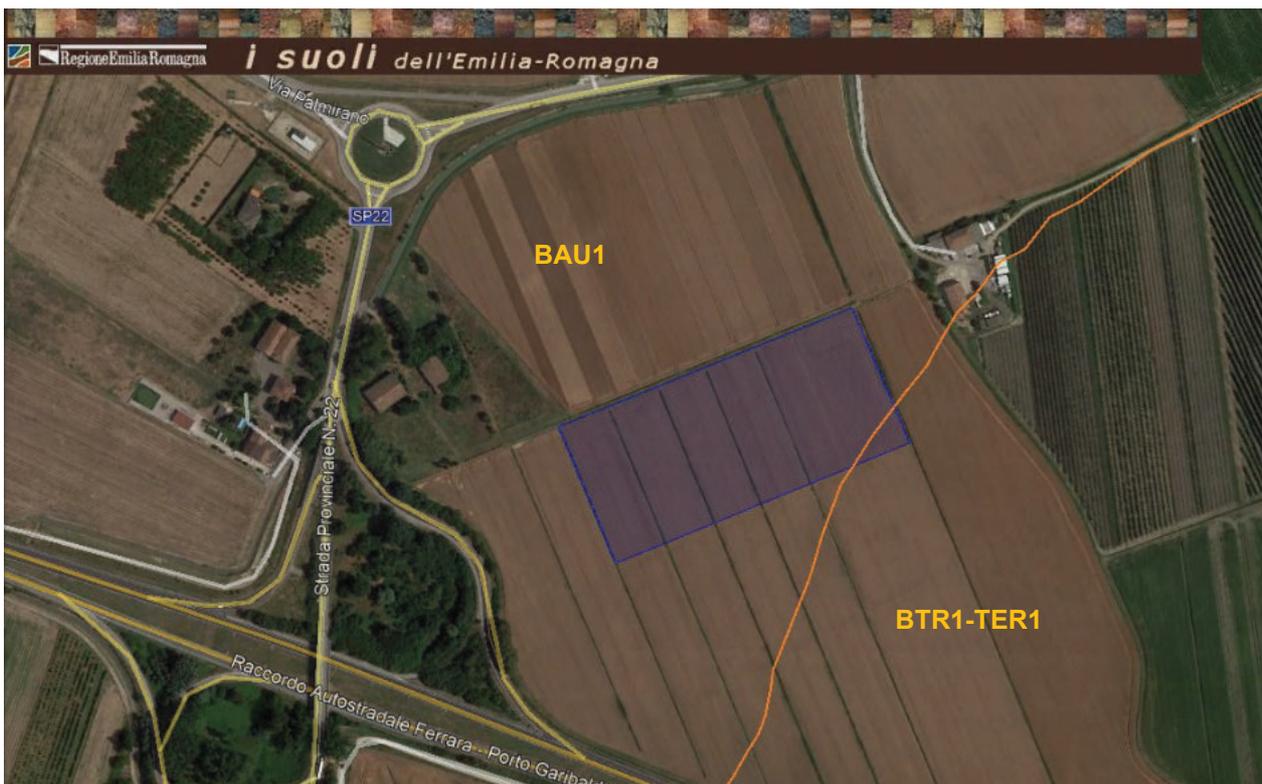
Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

DESCRIZIONE DEL SITO

Il sito rilevato 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. Si tratta delle transizioni fra i dossi formati dai rami principali del Po attivi precedentemente alla rotta di Ficarolo (1152 d.C.). Il substrato è costituito da sedimenti calcarei a tessitura media o medio fine, più raramente a tessitura grossolana. Il materiale di partenza è costituito da sedimenti a tessitura media.

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); delineazione 12712, caratterizzata dai suoli Baura franco argilloso limosi BAU1 (85%), Boccaleone franco limosi BOC1 (10%) e Volano franchi VOL1 (5%).



Sono evidenziate in arancione le sigle e i limiti delle Unità Cartografiche della Carta dei Suoli al livello di dettaglio 1:50.000



DESCRIZIONE
ATTIVITA' FONDAZIONE PER
L'AGRICOLTURA FRATELLI
NAVARRA



I.TER ha condotto un'indagine pedologica speditiva con trivella olandese che ha permesso di scegliere gli appezzamenti idonei e rappresentativi di ambienti pedologici per la sperimentazione da realizzarsi ai fini del Piano Operativo. A tal fine sono state realizzate nell'appezzamento aziendale, in data 09/09/2016, 4 osservazioni di suolo con trivella olandese che sono state descritte fino a 110 cm secondo le indicazioni del "Manuale di Campagna" ed. Luglio 2000 del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

In seguito, è stata effettuata la caratterizzazione pedologica dell'appezzamento prescelto tramite l'esecuzione e la descrizione di 5 trivellate eseguite fino a 110 cm di profondità e di 3 profili di suolo studiati fino a 140 cm di profondità. Tutte le osservazioni pedologiche (profili pedologici e trivellate) sono state georeferenziate secondo standard Datum WGS 1984; proiezione UTM; fuso 33. Ogni osservazione è stata ricollegata alle Tipologie di suolo regionali ed è stata classificata utilizzando i sistemi di classificazione Soil Taxonomy (USDA-Keys to Soil Taxonomy) sino a livello di famiglia, e World Reference Base.

Il profilo pedologico è stato scavato con dimensioni adeguate per mettere in evidenza il substrato pedogenetico. Tutti gli orizzonti sono stati descritti e campionati per le analisi di laboratorio routinarie.

Le 5 trivellate realizzate in data 11/10/2016, hanno consentito, oltre la caratterizzazione pedologica, il prelievo di due campioni composti a due profondità: 0-15 cm e 15-40 cm.

Nei profili, invece, il campionamento ha interessato gli strati 0-15 cm e 15-40 cm e poi i vari strati pedologici sottostanti che sono stati riconosciuti e descritti.

Le analisi realizzate per tutti i campioni (orizzonti del profilo e campioni composti) sono le seguenti:

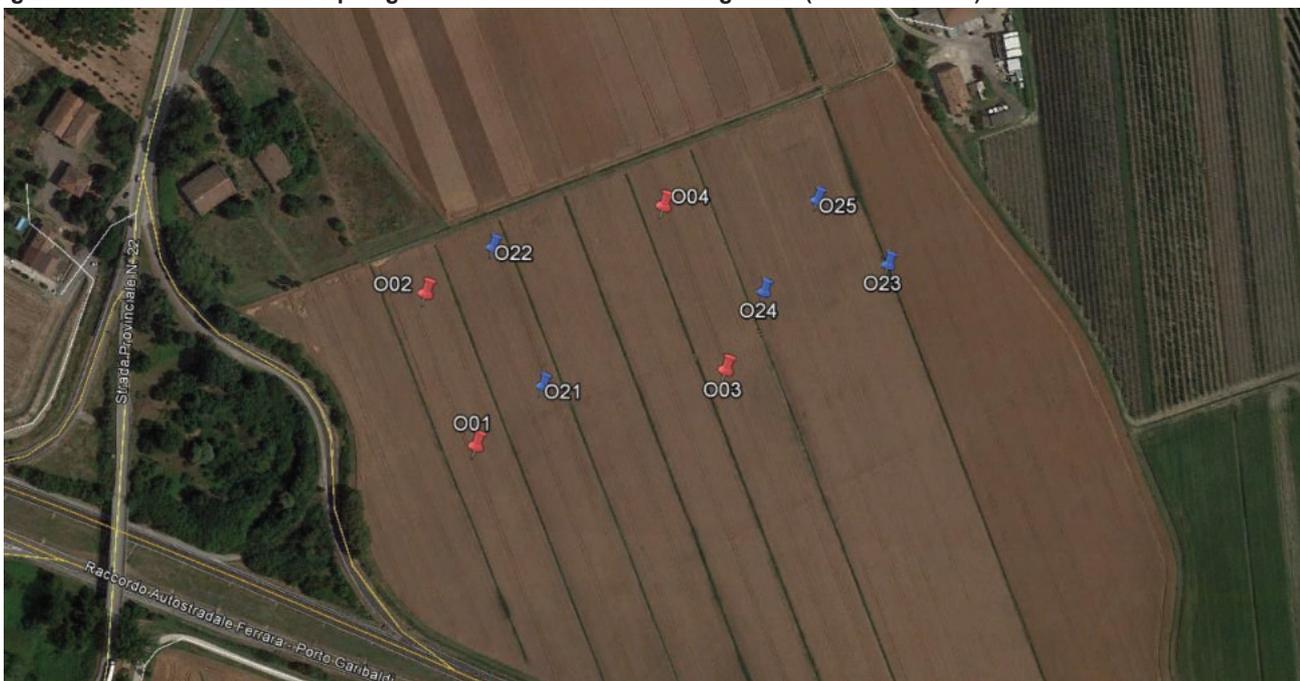
- Tessitura metodo pipetta (setacci per la sabbia – 2000 -50 micron; pipetta per la separazione di limo 50 – 2 micron e argilla < 2 micron)
- Reazione (pH in acqua)
- Calcare totale (metodo gasvolumetrico)
- Calcare attivo (metodo Droineau)
- Sostanza organica (metodo Walkley e Black)
- Sostanza organica (metodo analizzatore elementare)
- Azoto totale (Metodo Kjeldhal)
- P2O5 assimilabile (Metodo Olsen)
- K2O assimilabile (Metodo con acetato d'ammonio)



DESCRIZIONE ATTIVITA' FONDAZIONE PER
L'AGRICOLTURA FRATELLI NAVARRA



Ricollegamento dei suoli alle Unità Tipologiche di Suolo dell'Archivio Regionale (Archivio F5008)



Localizzazione in Google Earth delle 4 osservazioni pedologiche eseguite tramite indagine speditiva in rosso (O1, O2, O3, O4) e delle 5 osservazioni pedologiche per la caratterizzazione pedologica in blu (O21, O22, O23, O24, O25)



DESCRIZIONE ATTIVITA' FONDAZIONE PER
L'AGRICOLTURA FRATELLI NAVARRA



*Localizzazione in Google Earth delle 8 trivellate (O1, O2, O3, O4, O21, O22, O24, O25),
1 osservazione pedologica con apertura profilo (O23) e 3 profili descritti (P02, P03, P04).*

Triv	UTS	Descrizione	Tessitura Orizzonti					
			Limiti (cm)	Orizzonte	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Calcare totale %
1	BAU1	Suolo a tessitura franco argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (2% nell'orizzonte Bw(k) e 1% nell'orizzonte Bgk) e screziature ossidate (2% nell'orizzonte Bw(k) e 1% nell'orizzonte Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (2% nell'orizzonte Bw(k) e 3% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-50	Ap	20	53	27	>10
			50-80	Bw(k)	15	53	32	>10
			80-100	Bgk	10	52	38	>10
2	BAU1	Suolo a tessitura franco argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-50	Ap	15	57	28	>10
3	BAU1	Suolo a tessitura franco argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (1% nell'orizzonte Bk e 30% nell'orizzonte Bg) e screziature ossidate (3% nell'orizzonte Bg). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (2% nell'orizzonte Bk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, drenaggio imperfetto e profondo	0-40	Ap	15	56	29	>10
			40-60	Bk	15	53	32	>10
			60-100	Bg	5	55	40	>10
4	BAU1	Suolo a tessitura franco argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (1% nell'orizzonte Bw). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-40	Ap	15	54	31	>10
			40-80	Bw	15	54	31	>10
21	BAU1	Suolo a tessitura franco argillosa limosa nel primo orizzonte e argillosa limosa negli altri orizzonti. Presenti screziature ridotte (10% nell'orizzonte Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (3% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-50	Ap	10	52	38	>10
			50-90	Bg	10	45	45	>10
			90-100	Bgk	10	45	45	>10
22	BAU1	Suolo a tessitura franco argillosa limosa nei primi due orizzonti e argillosa limosa nell'ultimo orizzonte. Presenti screziature ridotte (15% nell'orizzonte Bg e 15% nell'orizzonte Bgk) e ossidate (40% nell'orizzonte Bg). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (5% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-50	Ap	10	58	32	>10
			50-85	Bg	10	52	38	>10
			85-100	Bgk	10	40	50	>10

Triv	UTS	Descrizione	Tessitura Orizzonti					
			Limiti (cm)	Orizzonte	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Calcare totale %
23	BAU1	Suolo a tessitura franco argillosa nei primi due orizzonti, franco limoso argillosa nel terzo orizzonte, argillosa limosa nel quarto e quinto orizzonte e franca limosa nell'ultimo orizzonte. Presenti screziature ridotte (20% nell'orizzonte Bgk1, 10% nell'orizzonte Bgss, 40% nell'orizzonte Bgk2 e 50% nell'orizzonte Bg) e ossidate (45% nell'orizzonte Bgk1). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (13% nell'orizzonte Bgk1 e 3% nell'orizzonte Bgk2). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti tranne nel quarto orizzonte che è debolmente calcareo, moderatamente ben drenato e profondo	0-25	Ap1	25	42	33	>10
			25-65	Ap2	25	42	33	>10
			65-90	Bgk1	15	48	37	>10
			90-120	Bgss	5	45	50	1-5
			120-135	Bgk2	5	45	50	>10
			135-180	Bg	30	50	20	>10
24	BAU1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti masse cementate di carbonato di calcio (5% nell'orizzonte Bk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-25	Ap1	10	57	33	>10
			25-70	Ap2	10	52	38	>10
			70-80	Bk	10	52	38	>10
25	BAU1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-30	Ap1	10	58	32	>10
			30-70	Ap2	10	58	32	>10
			70-80	Bg	10	54	36	>10

Dati provenienti da analisi di laboratorio eseguite sui campioni composti (0-15 e 15- 40 cm)

Strato campionato	Profondità cm	Data fine analisi campione	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	CaCO ₃ totale %	CaCO ₃ attivo %	S.O. A.E. %	S.O. W.B. %	K ₂ O ass ppm	P ₂ O ₅ ass ppm	Azoto Totale ‰
Ap1	0-15	04/07/17	9	53	38	7.74	8	3.5	1.2	1.3	256	49.5	0.8
Ap1	15-30	04/07/17	9	53	38	7.74	8	4.1	1.4	1.4	251	35	0.9

Legenda:

S.O. AE %: Sostanza organica in percentuale col metodo dell'analizzatore elementare

S.O. WB %: Sostanza organica in percentuale col metodo Walkey-Black

Analisi eseguite da AGRIPARADIGMA

DESCRIZIONE PROFILO P02



Localizzazione del sito in Google Earth collegato alla Carta dei Suoli del Catalogo dei Suoli della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000 ([Collegamento Web alla Carta](#)).

DESCRIZIONE DELLA STAZIONE

Sigla del profilo: P02

Provincia: Ferrara

Localita': Azienda Flli. Navarra

Rilevatori: Carla Scotti e Antea De Monte

Data di descrizione: 11/10/2016

Uso del suolo: bietola

Morfologia: Pianura deltizia interna, in ambiente di argine naturale distale dell'apparato distributore

Materiale parentale e substrato: il substrato è costituito da sedimenti calcarei a tessitura media o medio fine, più raramente a tessitura grossolana. Il materiale di partenza è costituito da sedimenti a tessitura media che coprono sedimenti più fini

Classificazione Soil Taxonomy (2010): Aquic Calcustepts fine silty, mixed, superactive, mesic

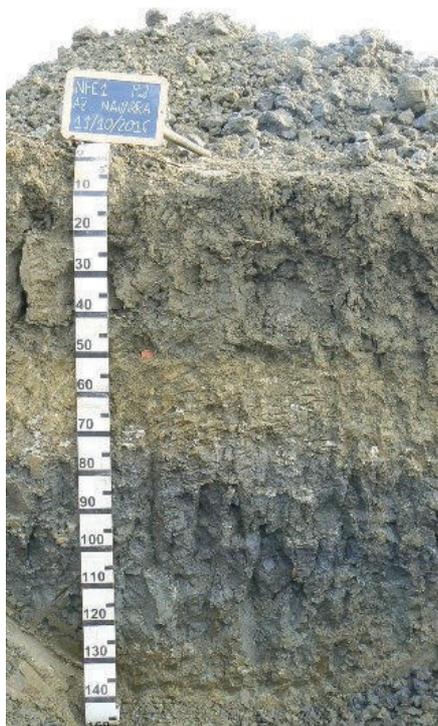
Classificazione WRB (2007): Hypocalcic Haplic Calcisols (Siltic)

UTS riconosciuta: BAURA franca argillosa limosa (BAU1) attribuito con grado di centralità 3



DESCRIZIONE DEL PROFILO

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione



Ap1 0 - 30 cm; umido, franco limoso argilloso, colore umido bruno grigio scuro (2.5Y 4/3), screziature assenti, scheletro assente, struttura principale poliedrica sub angolare fine, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica sub angolare grossolana, moderatamente sviluppata; pori principali medi (4 mm) comuni (1%), pori secondari medi (5 mm) comuni (0,5%), figure pedogenetiche assenti, radici medie (3 mm) comuni (5 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite chiaro lineare.

Ap2 30 - 45 cm; poco umido, franco limoso argilloso, colore umido bruno grigio scuro (2.5Y 4/3), screziature assenti, scheletro assente, struttura principale poliedrica angolare media, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare grossolana, moderatamente sviluppata; pori principali fini (2 mm) comuni (0,5%), pori secondari fini (1 mm) comuni (1%), presenti fessure verticali continue di qualche mm di larghezza, figure pedogenetiche assenti, radici medie (2 mm) comuni (5 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite chiaro lineare.

Bgk1 45 - 70 cm, poco umido, franco limoso argilloso, colore umido bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4), screziature grigio (2.5Y 5/1) (40% da 3 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica molto fine, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare media, moderatamente sviluppata; pori principali fini (0,5 mm) scarsi (0,1%), presenti fessure verticali continue di qualche mm di larghezza, figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse cementate di calcio di forma irregolare localizzazione alla base dell'orizzonte (5% da 10 mm), figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse cementate di carbonato di calcio di forma irregolare localizzazione all'interno di vuoti (3% da 1 mm), figure pedogenetiche di precipitazione di noduli di ferro e manganese di forma cilindrica localizzazione casuale (0,5% da 3 mm), radici molto fini (0,5 mm) poche (5 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite abrupto lineare.

Bssk1 70-105 cm, poco umido, argilloso limoso, colore umido grigio scuro (2.5Y 4/1), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4) (30% da 3 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica media, fortemente sviluppata, struttura secondaria prismatica molto fine, fortemente sviluppata; pori principali fini (0,5 mm) scarsi (0,1%), presenti fessure verticali continue di qualche mm di larghezza, figure pedogenetiche da stress facce di scivolamento occasionalmente intersecantisi, figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse cementate di carbonato di calcio di forma irregolare localizzazione su superfici naturali (3% da 10 mm), radici molto fini (0,1 mm) poche (3 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite chiaro lineare.

Bssk2 105 - 130 cm, poco umido, argilloso limoso, colore umido grigio (2.5Y 5/1), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) (30% da 2 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica fine, fortemente sviluppata, struttura secondaria prismatica molto fine, fortemente sviluppata; pori principali fini (0,2 mm) molto scarsi (0,05%), presenti fessure verticali continue di qualche mm di larghezza, figure pedogenetiche da stress facce di scivolamento occasionalmente intersecantisi, figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse cementate di carbonato di calcio di forma irregolare localizzazione su superfici naturali (2% da 10 mm), radici molto fini (0,1 mm) poche (3 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite abrupto lineare.

Bgk2 130 - 150 cm, poco umido, franco limoso argilloso, colore umido grigio bruno (2.5Y 5/2), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4) (40% da 3 mm), scheletro assente, struttura principale poliedrica angolare fine, debolmente sviluppata; pori assenti, presenti fessure verticali continue di qualche mm di larghezza, figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse cementate di carbonato di calcio di forma irregolare localizzazione alla sommità dell'orizzonte (0,5% da 10 mm), figure pedogenetiche di precipitazione di ossidi e idrossidi noduli di ferro e manganese di forma cilindrica localizzazione casuale (0,5% da 3 mm), radici molto fini (0,1 mm) poche (1 radice su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite sconosciuto.



Dati provenienti da analisi di laboratorio eseguite su tutti gli orizzonti individuati del profilo

Orizzonte	Prof. cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	CaCO ₃ tot. %	CaCO ₃ att. %	S.O. AE %	S.O. WB %	K ₂ O ass. ppm	P ₂ O ₅ ass. ppm	Azoto tot ‰
Ap1	0-15	11	54	35	7,69	10	3,9	2,2	1,9	285	53,3	1
Ap1	15-30	9	57	34	7,72	8	5,1	2,7	2,2	277	57,9	1
Ap2	30-45	6	60	34	7,54	9	5,1	2,1	1,7	244	56,7	0,8
Bgk1	45-70	11	55	34	7,85	15	7,4	0,4	0,5	173	44,9	0,2
Bssk1	70-105	11	46	43	7,87	2	0,5	2,2	1,9	293	49,2	0,9
Bssk2	105-130	6	49	45	7,86	3	1,1	0,8	0,6	360	44,2	0,1
Bgk2	130-150	11	55	34	7,94	11	4,9	0,7	0,5	154	41,3	0,2

Legenda:

S.O. AE %: Sostanza organica in percentuale col metodo dell'analizzatore elementare

S.O. WB %: Sostanza organica in percentuale col metodo Walkey-Black

Analisi eseguite da AGRIPARADIGMA

QUALITÀ AGRONOMICHE

Disponibilità di ossigeno	moderata
Rischio di incrostamento superficiale	moderato
Fessurabilità	media
Capacità in acqua disponibile	bassa (75-150 mm)
Profondità utile per le radici delle piante	elevata (100-150 cm) sopra strati a idromorfia temporanea
Percorribilità	discreta per moderato rischio di sprofondamento e slittamento
Resistenza meccanica alle lavorazioni	moderata
Tempo di attesa per le lavorazioni	medio
Inondabilità	nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni)
Capacità depurativa	bassa
Capacità di accettazione piogge	alta
Rischio di perdite di suolo per erosione	molto basso

DESCRIZIONE PROFILO P03



Localizzazione del sito in Google Earth collegato alla Carta dei Suoli del Catalogo dei Suoli della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000 ([Collegamento Web alla Carta](#)).

DESCRIZIONE DELLA STAZIONE

Sigla del profilo: P03

Provincia: Ferrara

Localita': Azienda Flli. Navarra

Rilevatori: Carla Scotti e Antea De Monte

Data di descrizione: 11/10/2019

Uso del suolo: tesi sperimentale arato piu compost

Morfologia: Pianura deltizia interna, in ambiente di argine naturale distale dell'apparato distributore

Materiale parentale e substrato: il substrato è costituito da sedimenti calcarei a tessitura media o medio fine, più raramente a tessitura grossolana. Il materiale di partenza è costituito da sedimenti a tessitura media che coprono sedimenti più fini

Classificazione Soil Taxonomy (2010): Aquic Calcustepts fine silty, mixed, superactive, mesic

Classificazione WRB (2007): Hypocalcic Haplic Calcisols (Siltic)

UTS riconosciuta: BAURA franca argillosa limosa (BAU1) attribuito con grado di centralità 3



DESCRIZIONE DEL PROFILO

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione



Ap1 0 - 40 cm; umido, franco argilloso limoso, colore umido bruno grigio scuro (2.5Y 4/3), screziature assenti, scheletro assente, struttura principale poliedrica subangolare grossolana, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica subangolare molto grossolana, moderatamente sviluppata; pori principali medi vescicole (4 mm) molto abbondanti (3%), pori secondari molto grossolani (2 mm) comuni (1%); figure pedogenetiche assenti, radici molto fini (0,5%) poche (1 radice su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite chiaro ondulato.

Ap2 40-60 cm; umido, franco argilloso limoso, colore umido bruno grigio scuro (2.5Y 4/3), screziature assenti, scheletro assente, struttura principale poliedrica subangolare grossolana, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica subangolare grossolana, moderatamente sviluppata; pori principali fini vescicole (2 mm) comuni (2%), figure pedogenetiche assenti, radici molto fini (0,5%) poche (1 radice su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite abrupto lineare.

Bgk1 60-75 cm; umido, franco argilloso limoso, colore umido bruno grigio (2.5Y 5/3), screziature grigio (2.5Y 5/1) (40% da 7 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica media, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare molto angolare, moderatamente sviluppata; pori principali fini vescicole (1 mm) comuni (1%), figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse

non cementate di carbonato di calcio, forma irregolare, a localizzazione casuale (5% da 7 mm) e masse cementate di carbonato di calcio, forma irregolare, a localizzazione casuale (5% da 2 mm), radici molto fini (0,2%) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite abrupto lineare.

Bssk1 75-95 cm; umido, argilloso limoso, colore umido grigio (N 5/), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4) (30% da 5 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica molto fine, fortemente sviluppata, struttura secondaria prismatica media, fortemente sviluppata; pori principali fini vescicole (0,5 mm) scarsi (0,5%), figure pedogenetiche da stress facce di scivolamento sistematicamente intersecantisi, figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse non cementate di carbonati di calcio, forma irregolare, a localizzazione casuale (3% da 5 mm), radici molto fini (0,1%) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl molto debole, limite abrupto lineare.

Bssg1 95-110; umido, argilloso limoso, colore umido grigio scuro (N 4/), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) (10% da 5 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica molto fine, fortemente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare media, fortemente sviluppata; pori principali molto fini vescicole (0,2 mm) scarsi (0,2%), figure pedogenetiche da stress facce di scivolamento sistematicamente intersecantisi, radici molto fini (0,1%) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl molto debole, limite abrupto lineare.

Bgssk1 110-125; umido, argilloso limoso, colore umido grigio (2.5Y 5/1), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) (40% da 8 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica fine, fortemente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare media, fortemente sviluppata, pori principali molto fini vescicole (0,2 mm) scarsi (0,1%), figure pedogenetiche da stress facce di scivolamento occasionalmente intersecantisi, figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse non cementate di carbonato di calcio, forma irregolare, a localizzazione casuale (8% da 3 mm) e masse cementate di carbonato di calcio, forma irregolare, a localizzazione casuale (2% da 3 mm), radici assenti, effervescenza all'HCl molto debole, limite abrupto lineare.



DESCRIZIONE ATTIVITA' FONDAZIONE PER
L'AGRICOLTURA FRATELLI NAVARRA



Bg 125-140; molto umido, franco argilloso limoso, colore umido bruno grigiastro (2.5Y 5/2), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) (50% da 8 mm), scheletro assente, struttura poliedrica angolare media, debolmente sviluppata, pori principali molto fini vescicole (0,2 mm) scarsi (0,1%), figure pedogenetiche assenti, radici assenti, effervescenza all'HCl violenta, limite sconosciuto.

Dati provenienti da analisi di laboratorio eseguite su tutti gli orizzonti individuati del profilo

Orizzonte	Prof. cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	CaCO ₃ tot. %	CaCO ₃ att. %	S.O. AE %	S.O. WB %	K ₂ O ass. ppm	P ₂ O ₅ ass. ppm	Azoto tot ‰
Ap1	0-15	3	57	40	7,59	7,7	4,7	2,77	2,74	272	32	2,08
Ap1	15-30	2	60	38	7,44	7,8	5	2,79	2,86	261	29	2,02
Ap2	40-60	2	60	38	7,52	7,9	4,7	2,53	2,62	243	22,8	2,2
Bgk1	60-75	1	59	40	7,96	17,5	6,1	1,12	1,12	134	21,8	0,89
Bssk1	75-95	< 1	50	50	7,9	4	2,7	2,3	2,33	183	24	1,69
Bssg1	95-110	4	27	69	7,8	6,4	3,9	2,23	2,28	211	21,6	1,91
Bgssk1	110-125	1	94	5	7,85	9,9	8,5	1,2	1,23	148	11,3	1,06
Bg1	125-140	< 1	70	30	7,94	11,7	5,4	0,798	0,81	102	25,6	0,56

Legenda:

S.O. AE %: Sostanza organica in percentuale col metodo dell'analizzatore elementare

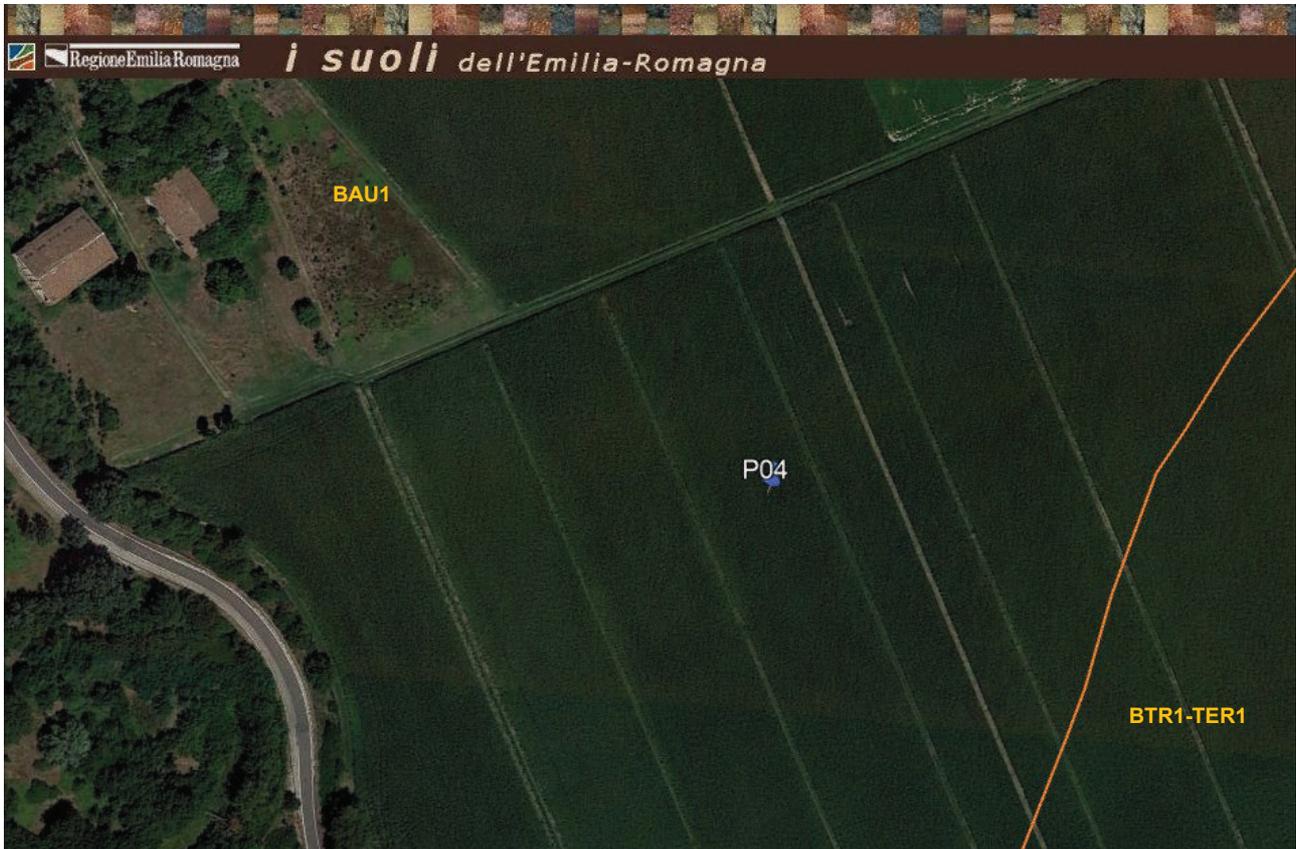
S.O. WB %: Sostanza organica in percentuale col metodo Walkey-Black

Analisi eseguite dal LABORATORIO CSA

QUALITÀ AGRONOMICHE

Disponibilità di ossigeno	moderata
Rischio di incrostamento superficiale	moderato
Fessurabilità	media
Capacità in acqua disponibile	bassa (75-150 mm)
Profondità utile per le radici delle piante	elevata (100-150 cm) sopra strati a idromorfia temporanea
Percorribilità	discreta per moderato rischio di sprofondamento e slittamento
Resistenza meccanica alle lavorazioni	moderata
Tempo di attesa per le lavorazioni	medio
Inondabilità	nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni)
Capacità depurativa	bassa
Capacità di accettazione piogge	alta
Rischio di perdite di suolo per erosione	molto basso

DESCRIZIONE PROFILO P04



Localizzazione del sito in Google Earth collegato alla Carta dei Suoli del Catalogo dei Suoli della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000 ([Collegamento Web alla Carta](#)).

DESCRIZIONE DELLA STAZIONE

Sigla del profilo: P04

Provincia: Ferrara

Localita': Azienda Flli. Navarra

Rilevatori: Carla Scotti e Antea De Monte

Data di descrizione: 11/10/2019

Uso del suolo: tesi sperimentale sodo piu compost

Morfologia: Pianura deltizia interna, in ambiente di argine naturale distale dell'apparato distributore

Materiale parentale e substrato: il substrato è costituito da sedimenti calcarei a tessitura media o medio fine, più raramente a tessitura grossolana. Il materiale di partenza è costituito da sedimenti a tessitura media che coprono sedimenti piu fini

Classificazione Soil Taxonomy (2010): Aquic Calcustepts fine silty, mixed, superactive, mesic

Classificazione WRB (2007): Hypocalcic Haplic Calcisols (Siltic)

UTS riconosciuta: BAURA franca argillosa limosa (BAU1) attribuito con grado di centralità 3



DESCRIZIONE DEL PROFILO

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione



Ap1 0 - 40 cm; umido, franco argilloso limoso, colore umido bruno grigio scuro (2.5Y 4/3), screziature assenti, scheletro assente, struttura principale poliedrica subangolare grossolana, debolmente sviluppata, struttura secondaria poliedrica subangolare molto grossolana, debolmente sviluppata; pori medi (5 mm) comuni (1%); figure pedogentiche assenti, radici molto fini (0,5 mm) poche (1 radice su 100 cm²), effervescenza all'HCl violenta, limite diffuso lineare.

Ap2 40 - 60 cm; umido, franco argilloso limoso, colore umido bruno grigio scuro (2.5Y 4/3), screziature assenti, scheletro assente, struttura principale poliedrica angolare media, debolmente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare fine, debolmente sviluppata; pori medi (5 mm) comuni (1%), figure pedogentiche assenti, radici molto fini (0,5 mm) poche (1 radice su 100 cm²), effervescenza violenta, limite chiaro ondulato.

Ap3 60 - 75 cm, umido, franco argilloso limoso, colore umido bruno grigio scuro (2.5Y 4/3), screziature assenti, scheletro assente, struttura principale poliedrica angolare media, debolmente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare fine, debolmente sviluppata; pori fini (1 mm) scarsi (0,5%), figure pedogentiche assenti, radici molto fini (0,2 mm) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza violenta, limite diffuso lineare.

Bgk1 75 - 100 cm, umido, franco argilloso limoso, colore umido grigio (N 5/), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4) (50% da 8 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica molto fine, debolmente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare media, debolmente sviluppata; pori fini (0,5 mm) comuni (1%), figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse cementate di carbonati di calcio, forma irregolare, localizzazione casuale (4% da 4 mm) e masse non cementate di carbonato di calcio, forma irregolare, localizzazione casuale (4% da 10 mm), radici molto fini (0,1 mm) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza violenta, limite abrupto lineare.

Bssg1 100 - 120 cm, umido, argilloso limoso, colore umido grigio scuro (N 4/), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) (30% da 4 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica molto fine; fortemente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare media, fortemente sviluppata; pori molto fini (0,2 mm) scarsi (0,2%), figure pedogenetiche da stress facce di scivolamento sistematicamente intersecantisi, radici molto fini (0,1 mm) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl da molto debole a debole, limite abrupto lineare.

Bssgk1 120 - 130 cm, umido, argilloso limoso, colore umido grigio (N 5/), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) (20% da 4 mm), scheletro assente, struttura principale prismatica fine, fortemente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare media, fortemente sviluppata; pori molto fini (0,2 mm) scarsi (0,1%), figure pedogenetiche da stress facce di scivolamento sistematicamente intersecantisi, figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse cementate di carbonati di calcio, forma irregolare, localizzazione casuale (8% da 1 mm) e masse non cementate di carbonato di calcio, forma irregolare, localizzazione casuale (8% da 3 mm), radici molto fini (0,1 mm) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza all'HCl da molto debole a debole, limite sconosciuto.



Dati provenienti da analisi di laboratorio eseguite su tutti gli orizzonti individuati del profilo

Orizzonte	Prof. cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	CaCO ₃ tot. %	CaCO ₃ att. %	S.O. AE %	S.O. WB %	K ₂ O ass. ppm	P ₂ O ₅ ass. ppm	Azoto tot ‰
Ap1	0-15	3	57	40	7,67	9,5	5,5	2,65	2,65	295	25,5	1,9
Ap1	15-30	3	56	41	7,68	8,5	7,2	2,42	2,4	246	23,4	1,73
Ap2	40-60	3	55	42	7,77	8,9	5,6	2,24	2,31	231	19,6	1,68
Bgk1	75-100	1	63	36	8,2	16,3	12,2	1,07	1,05	123	24,1	0,76
Bssg1	100-120	2	41	57	7,95	3	2,4	1,93	2,02	211	18,4	1,38
Bssgk1	120-130	1	98	1	7,8	8,4	7,3	1,57	1,65	188	14,3	1,41

Legenda:

S.O. AE %: Sostanza organica in percentuale col metodo dell'analizzatore elementare

S.O. WB %: Sostanza organica in percentuale col metodo Walkey-Black

Analisi eseguite daL LABORATORIO CSA

QUALITÀ AGRONOMICHE

Disponibilità di ossigeno	moderata
Rischio di incrostamento superficiale	moderato
Fessurabilità	media
Capacità in acqua disponibile	bassa (75-150 mm)
Profondità utile per le radici delle piante	elevata (100-150 cm) sopra strati a idromorfia temporanea
Percorribilità	discreta per moderato rischio di sprofondamento e slittamento
Resistenza meccanica alle lavorazioni	moderata
Tempo di attesa per le lavorazioni	medio
Inondabilità	nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni)
Capacità depurativa	bassa
Capacità di accettazione piogge	alta
Rischio di perdite di suolo per erosione	molto basso



Descrizione dell'Unità tipologica di suolo riconosciuta – Estratto da Catalogo dei tipi di suolo Emilia-Romagna

BAURA franco argilloso limosi (BAU1)

I suoli BAURA franco argilloso limosi sono molto profondi e moderatamente alcalini; a tessitura franca argillosa limosa e moderatamente o molto calcarei nella parte superiore e a tessitura franca argillosa limosa o franca limosa e molto calcarei in quella inferiore. Il substrato è costituito da alluvioni a tessitura media o moderatamente fine. I suoli BAURA franco argillosi limosi sono in vaste porzioni dell'ambiente di pianura deltizia interna del Po e subordinatamente della sua piana a meandri, in ambiente di argine naturale dell'apparato distributore, per lo più sulle parti distali dei canali. In queste terre la pendenza varia dallo 0,05 allo 0,1%. La densità di urbanizzazione è debole. L'uso agricolo del suolo è a frutteti con seminativi irrigui. Opere atte a regolare il deflusso delle acque sono necessarie saltuariamente (scoline poco profonde, baulature).

Classificazione Soil Taxonomy (keys 2010): Aquic Calciustepts fine silty, mixed, superactive, mesic

Classificazione WRB (2007): Hypocalcic Haplic Calcisols (Siltic)

TERZANA argillosi (TER1)

I suoli TERZANA argillosi sono molto profondi, sono a tessitura argillosa o argillosa limosa; da non calcarei a scarsamente calcarei e da debolmente a moderatamente alcalini nella parte superiore, scarsamente calcarei e moderatamente alcalini in quella inferiore. Sono talvolta da molto ad estremamente salini oltre 100 cm di profondità. Il substrato è costituito da alluvioni a tessitura media. I suoli TERZANA argillosi sono nella bassa piana a copertura alluvionale e nella bassa pianura deltizia interna del Po, nell'ambiente delle valli alluvionali di recente bonifica antropica. In queste terre la pendenza varia dallo 0,01allo 0,1%. La densità di urbanizzazione è molto scarsa. L'uso del suolo è in prevalenza a seminativo semplice e colture orticole a pieno campo, raramente frutteti. L'utilizzazione agricola richiede il mantenimento di opere atte a regolare l'allontanamento delle acque in eccesso.

Classificazione Soil Taxonomy (keys 2010): Typic Calciaquerts clayey over loamy, mixed, active, mesic

Classificazione WRB (2007): Gleyic Calcic Vertisols (Hypereutric)

DESCRIZIONE ATTIVITA' SVOLTA NELL'AZIENDA AGRICOLA GRAZIANO SARTO AI FINI DEL PIANO OPERATIVO "NITRATI FERRARA" - AZIONE 1 CARATTERIZZAZIONE PEDOLOGICA E IDROLOGICA PER LA TRASFERIBILITÀ DEI RISULTATI

A cura di Carla Scotti e Antea De Monte di I.TER



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

DESCRIZIONE DEL SITO

Il sito rilevato è localizzato nei pressi di Bando all'interno del comune di Argenta (FE) e si trova nella piana deltizia esterna che costituisce 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 come elementi morfologicamente rilevati. Le quote sono prossime al livello del mare, prevalentemente inferiori ma nel complesso comprese tra +1 e -2 m, e la pendenza fra gli elementi rilevati e quelli depressi assume valori fino a 1-1.5%.

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); delineazione 12718, caratterizzata dai suoli La Fiorana franco limosi LFI1 (43%), Forcello argilloso limosi FOR1 (25%), Massa Fiscaglia franco argilloso limosi MSF1 (15%), Strada Reale franco limosi SRE1 (10%), Baura franco argilloso limosi BAU1 (5%) e Volano franchi VOL1 (2%).



Sono evidenziate in arancione le sigle e i limiti delle Unità Cartografiche della Carta dei Suoli al livello di dettaglio 1:50.000



I.TER ha condotto un'indagine pedologica speditiva con trivella olandese che ha permesso di scegliere gli appezzamenti idonei e rappresentativi di ambienti pedologici per la sperimentazione da realizzarsi ai fini del Piano Operativo. A tal fine sono state realizzate nell'appezzamento aziendale 4 osservazioni di suolo con trivella olandese che sono state descritte fino a 110 cm secondo le indicazioni del "Manuale di Campagna" ed. Luglio 2000 del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

In seguito, è stata effettuata la caratterizzazione pedologica dell'appezzamento prescelto tramite l'esecuzione e la descrizione di 10 trivellate eseguite fino a 110 cm e di 1 profilo di suolo. Tutte le osservazioni pedologiche (profili pedologici e trivellate) sono state georeferenziate secondo standard Datum WGS 1984; proiezione UTM; fuso 33. Ogni osservazione è stata ricollegata alle Tipologie di suolo regionali ed è stata classificata utilizzando i sistemi di classificazione Soil Taxonomy (USDA- Keys to Soil Taxonomy) sino a livello di famiglia, e World Reference Base.

Il profilo pedologico è stato scavato con dimensioni adeguate per mettere in evidenza il substrato pedogenetico. Tutti gli orizzonti sono stati descritti e campionati per le analisi di laboratorio routinarie. Le 10 trivellate realizzate in data 23/09/2016, hanno consentito, oltre la caratterizzazione pedologica, il prelievo di due campioni composti a due profondità: 0-15 cm e 15-40 cm.

Nel profilo, invece, il campionamento ha interessato gli strati 0-15 cm e 15-40 cm e poi i vari strati pedologici sottostanti che sono stati riconosciuti e descritti.

Le analisi realizzate per tutti i campioni (orizzonti del profilo e campioni composti) sono le seguenti:

- Tessitura metodo pipetta (setacci per la sabbia – 2000 -50 micron; pipetta per la separazione di limo 50 – 2 micron e argilla < 2 micron)
- Reazione (pH in acqua)
- Calcare totale (metodo gasvolumetrico)
- Calcare attivo (metodo Droineau)
- Sostanza organica (metodo Walkley e Black)
- Sostanza organica (metodo analizzatore elementare)
- Azoto totale (Metodo Kjeldhal)
- P2O5 assimilabile (Metodo Olsen)
- K2O assimilabile (Metodo con acetato d'ammonio)



DESCRIZIONE ATTIVITA' AZIENDA
AGRICOLA GRAZIANO SARTO



Ricollegamento delle trivellate alle Unità Tipologiche di Suolo dell'Archivio Regionale (Archivio F5008)



Localizzazione in Google Earth: in rosso le 4 osservazioni pedologiche eseguite nella fase preliminare di scelta dei siti (O7, O8, O9, O10) e in blu le 10 osservazioni pedologiche realizzate ai fini dello studio della variabilità pedologica (O11, O12, O13, O14, O15, O16, O17, O18, O19, O20)



DESCRIZIONE ATTIVITA' AZIENDA
AGRICOLA GRAZIANO SARTO



Localizzazione in Google Earth delle 14 osservazioni pedologiche realizzate (O7, O8, O9, O10, O11, O12, O13, O14, O15, O16, O17, O18, O19, O20) e di 1 profilo (P01)

Triv	UTS	Descrizione	Tessitura Orizzonti					
			Limiti (cm)	Orizzonte	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Calcare totale %
7	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (1% nell'orizzonte Ap e Bg) e screziature ossidate (1% nell'orizzonte Bbssw e 0,5% nell'orizzonte Bg). Presenti masse cementate ferromanganesifere (2% nell'orizzonte Bg). Suolo da molto calcareo negli orizzonti Ap e Bbssw a fortemente calcareo nell'orizzonte Bg, ben drenato e profondo	0-50	Ap	5	52	43	5-10/>10
			50-90	Bbssw	5	52	43	5-10/>10
			90-100	Bg	5	52	43	>10
8	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (5% nell'orizzonte Bk e 2% nell'orizzonte Bg) e screziature ossidate (10% nell'orizzonte Ap e Bbssw e 30% nell'orizzonte Bg). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (3% nell'orizzonte Bk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-50	Ap	5	52	43	>10
			50-70	Bbssw	5	52	43	>10
			70-90	Bk	5	52	43	>10
			90-100	Bg	5	52	43	>10
9	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ossidate (20% nell'orizzonte Ap e 10% negli orizzonti Bw e Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (2% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo negli orizzonti Ap e Bw e molto calcareo nell'orizzonte Bgk, moderatamente ben drenato e profondo	0-50	Ap	5	52	43	>10
			50-70	Bw	5	52	43	>10
			70-100	Bgk	5	52	43	5-10
10	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (40% nell'orizzonte Bg) e screziature ossidate (20% nell'orizzonte Bgk e 10% nell'orizzonte Bg). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (2% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, moderatamente ben drenato e profondo	0-40	Ap	5	52	43	>10
			40-90	Bgk	5	52	43	>10
			90-100	Bg	5	52	43	>10
11	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (10% nell'orizzonte Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (3% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, ben drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-80	Bg	10	50	40	>10
			80-110	Bgk	10	50	40	>10
12	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (10% nell'orizzonte Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (2% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, piuttosto eccessivamente drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-90	Bg	10	50	40	>10
			90-110	Bgk	10	50	40	>10

Triv	UTS	Descrizione	Tessitura Orizzonti					
			Limiti (cm)	Orizzonte	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Calcare totale %
13	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (10% nell'orizzonte Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (4% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, ben drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-85	Bg	10	50	40	>10
			85-110	Bgk	10	50	40	>10
14	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (10% nell'orizzonte Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (4% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, ben drenato e profondo	0-45	Ap	10	50	40	>10
			45-75	Bg	10	50	40	>10
			75-110	Bgk	10	50	40	>10
15	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (20% nell'orizzonte Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (2% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, piuttosto eccessivamente drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-110	Bgk	10	50	40	>10
16	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (5% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, ben drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-85	Bg	10	50	40	>10
			85-110	Bgk	10	50	40	>10
17	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (10% nell'orizzonte Bg2). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, ben drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-65	Bg1	10	50	40	>10
			65-110	Bg2	10	50	40	>10
18	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (5% nell'orizzonte Bg2). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, ben drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-60	Bg1	10	50	40	>10
			60-110	Bg2	10	50	40	>10
19	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (20% nell'orizzonte Bg2). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, da piuttosto eccessivamente drenato a ben drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-80	Bg1	10	50	40	>10
			80-110	Bg2	10	50	40	>10
20	FOR1	Suolo a tessitura argillosa limosa in tutti gli orizzonti. Presenti screziature ridotte (5% nell'orizzonte Bgk). Presenti masse cementate di carbonato di calcio (3% nell'orizzonte Bgk). Suolo fortemente calcareo in tutti gli orizzonti, da piuttosto eccessivamente drenato a ben drenato e profondo	0-40	Ap	10	50	40	>10
			40-75	Bg	10	50	40	>10
			75-110	Bgk	10	50	40	>10



DESCRIZIONE ATTIVITA' AZIENDA
AGRICOLA GRAZIANO SARTO



Dati provenienti da analisi di laboratorio eseguite sui campioni composti (0-15 e 15- 40 cm)

Strato campionato	Profondità cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	CaCO ₃ totale %	CaCO ₃ attivo %	S.O. A.E. %	S.O. W.B. %	K ₂ O ass ppm	P ₂ O ₅ ass ppm	Azoto Totale ‰
Ap1	0-15	17	52	31	7.64	9	4.5	2.6	2.1	347	69.3	1.5
Ap2	15-40	11	57	31	7.67	9	3.8	2.6	2.3	349	52.5	1.7

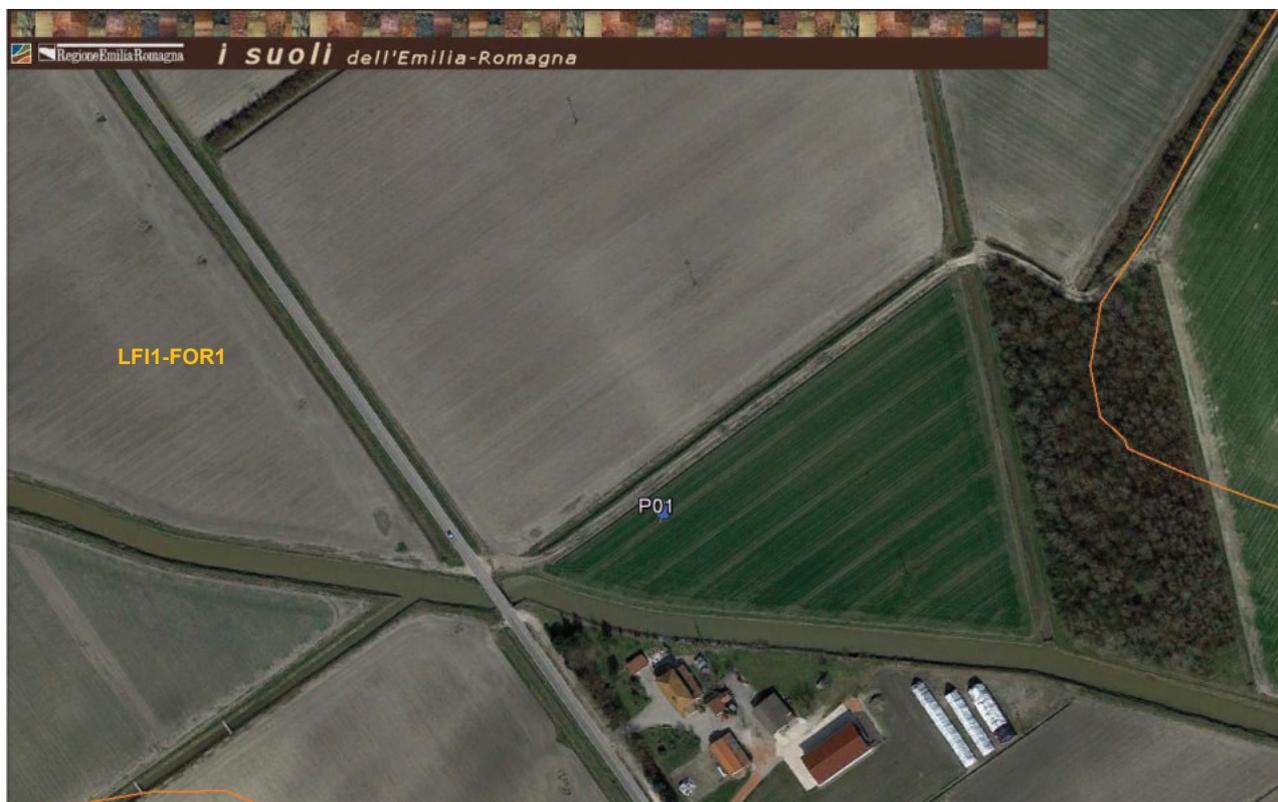
Legenda:

S.O. AE %: Sostanza organica in percentuale col metodo dell'analizzatore elementare

S.O. WB %: Sostanza organica in percentuale col metodo Walkey-Black

Analisi eseguite da AGRIPARADIGMA

DESCRIZIONE PROFILO P01



Localizzazione del sito in Google Earth collegato alla Carta dei Suoli del Catalogo dei Suoli della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000 ([Collegamento Web alla Carta](#)).

DESCRIZIONE DELLA STAZIONE

Sigla del profilo: P01

Provincia: Ferrara

Località: Azienda Agricola Graziano Sarto

Rilevatori: Carla Scotti e Antea De Monte

Data di descrizione: 23/09/2016

Uso del suolo: seminativo avvicendato
(mais raccolto da poco)

Morfologia: Piana deltizia esterna che costituiscono unità morfologiche di transizione all'apparato deltizio interno, inattivo, del Po

Materiale parentale e substrato: Il substrato è costituito da sedimenti alluvionali calcarei, a tessitura fine, ricchi in sostanza organica depositatasi frammista ai materiali minerali sui precedenti fondali palustri.

Falda: Falda non confinata, mista, rilevata a 125 cm di profondità dal piano di campagna

Classificazione Soil Taxonomy (2010): Vertic Endoaquepts fine, mixed, active, calcareous, mesic

Classificazione WRB (2007): Vertic Endogleyic Cambisols (Calcaric)

UTS riconosciuta: FORCELLO argillosa limosa (FOR1) attribuito con grado di centralità 2



DESCRIZIONE DEL PROFILO

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione



Ap1 0 – 12 cm; umido, franco limoso argilloso, colore umido bruno molto scuro (2.5Y 3/2), screziature assenti, scheletro assente, struttura granulare fine, moderatamente sviluppata; pori principali fini vescicole (2 mm) scarsi (0,5%), figure pedogenetiche assenti, radici fini (2 mm) comuni (12 radici su 100 cm²), effervescenza violenta, limite graduale ondulato.

Ap2 12 – 35 cm; umido, franco limoso argilloso, colore umido bruno molto scuro (2.5Y 3/2), screziature assenti, scheletro assente, struttura poliedrica subangolare fine, moderatamente sviluppata; pori principali fini vescicole (1 mm) comuni (1%); figure pedogenetiche assenti, radici medie (3 mm) comuni (5 radici su 100 cm²), effervescenza violenta, limite chiaro ondulato.

Bg1 35 - 65 cm, umido, argilloso limoso, colore umido bruno molto scuro (2.5Y 3/2), screziature bruno grigio scuro (2.5Y 4/2) (1% da 1 mm), scheletro assente, struttura principale poliedrica angolare media, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare molto grossolana moderatamente sviluppata; pori principali fini vescicole (2 mm) scarsi (0,1%), pori secondari fini vescicole (1 mm) scarsi (0,5%); figure pedogenetiche da stress facce di pressione occasionali e facce di scivolamento isolate, radici fini (2 mm) poche (2 radici su 100 cm²), effervescenza violenta, limite chiaro ondulato.

Bg2 65 - 82 cm, umido, argilloso limoso, colore umido grigio molto scuro (2.5Y 3/1), screziature bruno oliva (2.5Y 3/3) (2% da 1 mm), scheletro assente, struttura principale poliedrica angolare media, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare molto grossolana fortemente sviluppata; pori principali fini vescicole (2 mm) scarsi (0,1%);

figure pedogenetiche da stress facce di pressione occasionali e facce di scivolamento occasionalmente intersecantisi, radici molto fini (0,5 mm) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza violenta, limite graduale ondulato.

Bgk 82 - 150 cm, molto umido, argilloso limoso, colore umido grigio scuro (2.5Y 4/1), screziature bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) (20% da 10 mm), scheletro assente, struttura principale poliedrica angolare media, moderatamente sviluppata, struttura secondaria poliedrica angolare molto grossolana, fortemente sviluppata; pori principali fini vescicole (2 mm) scarsi (0,1%), pori secondari fini vescicole (0,5%) scarsi (0,1%); figure pedogenetiche di precipitazione di carbonati o sali masse non cementate di carbonato di calcio di forma cilindrica localizzazione all'interno di vuoti (5% da 5 mm) e masse cementate di carbonato di calcio di forma cilindrica localizzazione all'interno di vuoti (1% da 2 mm), radici molto fini (0,5 mm) poche (0,5 radici su 100 cm²), effervescenza violenta, limite sconosciuto.

Dati provenienti da analisi di laboratorio eseguite su tutti gli orizzonti individuati del profilo

Orizzonte	Prof. cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	CaCO ₃ tot. %	CaCO ₃ att. %	S.O. AE %	S.O. WB %	K ₂ O ass. ppm	P ₂ O ₅ ass. ppm	Azoto tot ‰
Ap1	0-15	14	52	34	7,71	4	1,1	4,3	3,8	483	125,8	2,5
Ap2	15-40	9	57	34	7,78	4	1,3	4,5	3,6	437	102,9	2,4
Bg1	40-70	7	49	44	7,93	4	1,3	3,9	3	484	82,9	2,1
Bg2	70-85	9	49	42	7,72	4	1,5	1,4	1,4	456	20,5	1,1
BgK	85-150	9	47	44	8	12	7,1	0,9	1,2	316	30,4	0,6

Legenda:

S.O. AE %: Sostanza organica in percentuale col metodo dell'analizzatore elementare

S.O. WB %: Sostanza organica in percentuale col metodo Walkey-Black

Analisi eseguite da AGRIPARADIGMA

QUALITÀ AGRONOMICHE

Disponibilità di ossigeno	imperfetta
Rischio di incrostamento superficiale	assente
Fessurabilità	media
Capacità in acqua disponibile	tra bassa e moderata (147 mm)
Profondità utile per le radici delle piante	moderatamente elevata (50-100 cm) sopra strati compatti, scarsamente porosi, a idromorfia temporanea
Percorribilità	discreta, a causa del moderato rischio di sprofondamento in condizioni di suolo umido
Resistenza meccanica alle lavorazioni	elevata
Tempo di attesa per le lavorazioni	lungo
Inondabilità	nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni)
Capacità depurativa	alta
Capacità di accettazione piogge	molto bassa
Rischio di perdite di suolo per erosione	molto basso



Descrizione dell'Unità tipologica di suolo riconosciuta – Estratto da Catalogo dei tipi di suolo Emilia-Romagna

FORCELLO argilloso limosi (FOR1)

I suoli FORCELLO argilloso limosi sono molto profondi; sono moderatamente alcalini, da moderatamente a molto salini ed a tessitura argillosa limosa o franca argillosa limosa; moderatamente o molto calcarei nella parte superiore e da molto scarsamente a molto calcarei in quella inferiore. Oltre un metro possono essere presenti orizzonti torbosi. Il substrato è costituito da sedimenti alluvionali calcarei, a tessitura fine, ricchi in sostanza organica depositatasi frammista ai materiali minerali sui precedenti fondali palustri. I suoli FORCELLO argilloso limosi sono nelle zone di transizione tra il delta interno e il delta esterno ed in quest'ultimo, su depositi di canale di ordine secondario. In queste terre la pendenza è inferiore allo 0,1%. La densità di urbanizzazione è molto scarsa. Sono molto frequenti aziende di grandi dimensioni. L'uso agricolo del suolo è in prevalenza a seminativo semplice. Sono frequenti gli impianti di drenaggio profondo delle acque e necessarie le opere di sistemazione del deflusso idrico superficiale, quali scoline, capofossi e baulature.

Classificazione Soil Taxonomy (keys 2010): Vertic Endoaquepts fine, mixed, active, calcareous, mesic

Classificazione WRB (2007): Vertic Endogleyic Cambisols (Calcaric)



DESCRIZIONE
ATTIVITA' FONDAZIONE PER
L'AGRICOLTURA FRATELLI
NAVARRA



Università
degli Studi
di Ferrara

Publicazioni scientifiche *in extenso* prodotte nell'ambito della Azione 3 del progetto

Le pubblicazioni scientifiche di seguito riportate sono state prodotte grazie al finanziamento del progetto *Tecniche agronomiche per la prevenzione dell'inquinamento da nitrati e la conservazione della sostanza organica*, nell'ambito della Azione 3 *Monitoraggio delle trasformazioni e del trasporto dell'azoto*

Esse, pertanto, fanno a pieno titolo parte della Azione 3, in quanto le ipotesi in esse testate sono state formulate in base ai primi risultati dell'azione, di cui completano il quadro conoscitivo. La complessità del tema trattato ha richiesto di aggiungere in corso d'opera nuovi approcci metodologici e relative analisi specialistiche. Si precisa che il costo di queste analisi non è stato caricato sul budget di progetto, in quanto inizialmente non previste. Tuttavia, questa iniziativa è risultata fondamentale per la conferma della ipotesi iniziale, ovvero che l'aumento della disponibilità di sostanza organica del suolo previene l'inquinamento da nitrati, e ha portato alla formulazione di ulteriori ipotesi che compongono un quadro esaustivo del ciclo dell'azoto nelle aziende agricole del gruppo operativo.

Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di sviluppo 2014-2020 – Tipo di operazione 16.1.01 – Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione: "produttività dell'agricoltura" – Focus Area 4B



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Contrasting biogeochemical processes revealed by stable isotopes of H₂O, N, C and S in shallow aquifers underlying agricultural lowlands

Nicolò Colombani^a, Micòl Mastrocicco^{b,*}, Giuseppe Castaldelli^c, Ramon Aravena^d

^a SIMAU - Department of Materials, Environmental Sciences and Urban Planning, Polytechnic University of Marche, Via Breccie Bianche 12, 60131 Ancona, Italy

^b DiSTABiF - Department of Environmental, Biological and Pharmaceutical Sciences and Technologies, Campania University "Luigi Vanvitelli", Via Vivaldi 43, 81100 Caserta, Italy

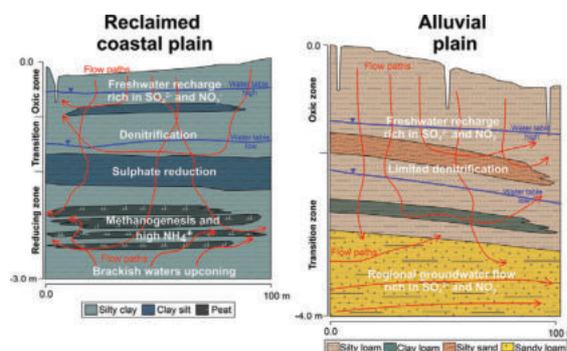
^c SVEB - Department of Life Sciences and Biotechnology, University of Ferrara, Via L. Borsari 46, 44121 Ferrara, Italy

^d Department of Earth and Environmental Sciences, University of Waterloo, 200 University Avenue West, Waterloo, ON N2L 3G1, Canada

HIGHLIGHTS

- The hydrogeological characterization highlights very low recharge and percolation rates.
- Stable isotopes show a clear distinction between different sources of nitrogen in both sites.
- The main source of groundwater SO₄²⁻ is fertilizers despite the ubiquitous presence of pyrite.
- Multi-level sampler devices resulted to be key monitoring tools.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 May 2019

Received in revised form 13 July 2019

Accepted 15 July 2019

Available online 16 July 2019

Editor: Jurgen Mahlknecht

Keywords:

Recharge
Transit time
Denitrification
Shallow aquifer
Fertilizers leaching
Redox zones

ABSTRACT

Lowland coastal areas as the Po Delta (Italy) are often intensively cultivated and affected by nitrogen imbalance due to fertilizers leaching to groundwater and export via run-off. To address this issue several agricultural best practices have been proposed, like limiting the amount of fertilizers and increasing soil organic matter content. In this study, groundwater samples were analysed for major ions and stable isotopes of H₂O, C, N and S using multi-level sampler (MLS) from two contrasting depositional environments, one representative of alluvial plain (AP) and the other representative of a reclaimed coastal plain (RCP). In each site, controlled plots with different agriculture practice including fertilizers and tillage and compost amendment and no tillage were considered in the study. Tracer test results highlight that recharge water infiltrated at the start of the controlled study has not yet reached the saturated zone, thus current groundwater concentrations are representative of former agricultural practices. Stable isotopes show a clear distinction between different sources of nitrogen in both sites, from synthetic fertilizers to sedimentary nitrogen pool and atmospheric input. The main source of sulphate in groundwater is pyrite and fertilizers. Denitrification, sulphate reduction and methanogenesis were involved in the C, N and S cycle in the RCP site characterized by low hydraulic conductivity sediments and high SOM. These processes were not relevant in the AP site characterized by oxic condition and low SOM, but some evidence of denitrification was found in one of the AP sites. High resolution monitoring was a key tool to identify the different redox zones responsible for N, C and S cycling in these aquifers. This study shows that a clear understanding of transit times in

* Corresponding author.

E-mail address: micol.mastrocicco@unicampania.it (M. Mastrocicco).

the vadose zone is a key prerequisite to evaluate the effect of controlled agriculture practice on the quality of shallow groundwater.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The impact of intensive agriculture on the underlying aquifers in coastal lowlands has been the target of many recent studies focusing on nitrate (NO_3^-) concentrations in groundwater (Oenema et al., 2005; Wu and Sun, 2016; Paradis et al., 2018). The role of denitrification, the microbial-mediated reduction of NO_3^- which is often connected with reduced environments rich in sedimentary organic matter (SOM) (Rivett et al., 2008; Taylor and Townsend, 2010) and pyrite (Zhang et al., 2012), is a key process that has to be evaluated in NO_3^- -related studies in groundwater. Pyrite oxidation in the unsaturated zone (by oxygen) and in the saturated zone (involved in denitrification) leads to sulphate (SO_4^{2-}) release and often to trace metal mobilization, in turn impacting the local and regional water quality (Zhang et al., 2013).

The evaluation of geochemical processes at sites impacted by agriculture activities often involve the use of a combination of hydrogeological, chemical and isotopes tools (Böhlke and Denver, 1995; Hosono et al., 2013). Water stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$) usually provide information about the role of the different sources of water that can be involved in recharge processes in agricultural settings, including local precipitation and recirculation of water from irrigated fields (Criss and Davisson, 1996; Fernández et al., 2017). Furthermore, the stable isotopes of NO_3^- and SO_4^{2-} (^{15}N and ^{18}O , ^{34}S and ^{18}O , respectively) are often used to evaluate sources and processes that affect these compounds in groundwater (Aravena and Robertson, 1998; Kaown et al., 2009; Pauwels et al., 2010). The use of isotopic tools in combination with a detailed hydrogeological and chemical characterization provides information to develop a robust conceptual model in terms of origin and transformation processes affecting major dissolved species in agriculture settings (Biddau et al., 2019; Puig et al., 2017).

A key component acting on NO_3^- attenuation in groundwater is the nature of geological materials forming the aquifer (Böhlke, 2002; Mastrocicco et al., 2011; Clague et al., 2019). Low hydraulic conductivity sediments play an important role in the attenuation of N compounds in groundwater (Yan et al., 2016) and can substantially increase the transit time in the vadose zone (Green et al., 2018). The present study aims to contribute to the knowledge of shallow geological heterogeneities importance in driving geochemical processes affecting dissolved species associated to agricultural activities in lowland environments under different agriculture practices. The study provides a clear framework to monitor N, S and C cycling in shallow groundwater, starting from the hydrogeological characterization, to residence times and the geochemical processes, by using high vertical resolution data.

2. Material and methods

2.1. Study sites

The Po river Plain (Northern Italy) has been intensively cultivated since the last century because of its flat topography and the large surface water availability. This region is largely threatened by agrochemical leaching, especially nutrients like NO_3^- (Martinelli et al., 2018), so that the most important hydrogeological and microbial processes affecting NO_3^- fate and transport in the local aquifers have been extensively studied (Castaldelli et al., 2013; Caschetto et al., 2017; Mastrocicco et al., 2017). The two field sites (1 ha each) selected for this study are located in the Po Delta (Ferrara Province), at an altitude ranging from 5 to -3 m above sea level (m.a.s.l.) and are instrumented with Multi-level samplers (MLS) for water samples collection (chemical and isotopic

analysis) and hydrogeological measurements (Fig. 1). The first site, named alluvial plain (AP), pertains to a freshwater paleo-river environment, while the second site, named reclaimed coastal plain (RCP), pertains to a reclaimed brackish swamp environment (Fig. 1). MLSs consist of PVC nested mini-wells with an internal diameter of 2 cm screened in the last 20 cm with a 50 μm Nitex mesh. The MLSs installed in plots with standard use of fertilizers and tillage were named RCP_{ST} and AP_{ST}, while MLSs installed in plots with the experimental set up, where compost was incorporated within the top 15 cm of soil and no-tillage was applied, were named RCP_{EXP} and AP_{EXP} (Fig. 1).

The soil in AP is a Hypocalcic Haplic Calcisol, moderately alkaline, with the upper horizons characterized by silty clay loamy texture and the lower horizons with calcareous silty loamy textures. The soil in RCP is a Calcaric Gleyic Cambisol, moderately alkaline, with silty clay or clay loamy textures and peaty lenses at 2.0–2.5 m below ground level (m.b.g.l.). These soils were selected since they are representative of the most common environments of the Po river lowland.

Both soils are cultivated with a rotation of wheat and maize with a N fertilization based on NPK mineral fertilizers, NH_4NO_3 and synthetic urea with a total average rate of 170 kg N/ha/y. This area has been declared vulnerable to NO_3^- by the Italian environmental authority following the enactment of the European Water Framework Directive (2000/60/CE). The two sites are investigated as part of a research project, supported by the Rural Development Programme of the Emilia-Romagna Region (PSR 2014–2020), aiming to reduce the environmental impact of agricultural practices by comparing the use of compost and no-tillage techniques versus the classical fertilization and tillage techniques.

2.2. Sampling and analytical methods

Piezometric heads in each MLS port were measured monthly since 2016 and will be monitored until the end of 2019. Slug tests were performed in all piezometers to estimate the hydraulic conductivity (K) using a pneumatic initiation system to instantaneously lower the static groundwater level of approximately 0.5 m. The slug test data were analysed using the Bouwer and Rice (1976) method.

A Bromide (Br^-) tracer test was carried out in each plot. An area of 0.1 m^2 was irrigated with 1 L deionized water containing 1000 mg/L of Br^- at the beginning of the experiment (30/10/2016). After 18 months (30/04/2018), an auger corer was used to collect soil samples every 10 cm in the same locations where the tracer tests were performed, to monitor Br^- migration in the unsaturated zone. Soil cores were extracted with deionized water with a liquid solid ratio of 10:1 and the solution was analysed using a Br^- ion selective electrode (NexSens, USA). Soil water content and dry bulk density were measured gravimetrically. The detection limit for Br^- in soil cores was 2.0 mg/dm^3 of soil. The MLSs were sampled in March 2018 to evaluate the hydro-geochemical parameters. The standard well sampling procedure was followed when possible, removing a water volume equivalent to 3 times the standing water column. However, some monitoring wells in RCP recharged so slowly that wells had to be purged the day before sampling, and removal of more than one standing water column was unfeasible. A low flow sampling method was employed to minimise cross contamination from nearby layers, using an inertial pump with the flow rate limited to 100–150 mL/min. A flow cell equipped with electric conductivity (EC), dissolved oxygen, pH and oxygen reduction potential (ORP) portable HANNA Instr. Probes was used. Water samples were taken once parameters had been stable for at least 5 min. All

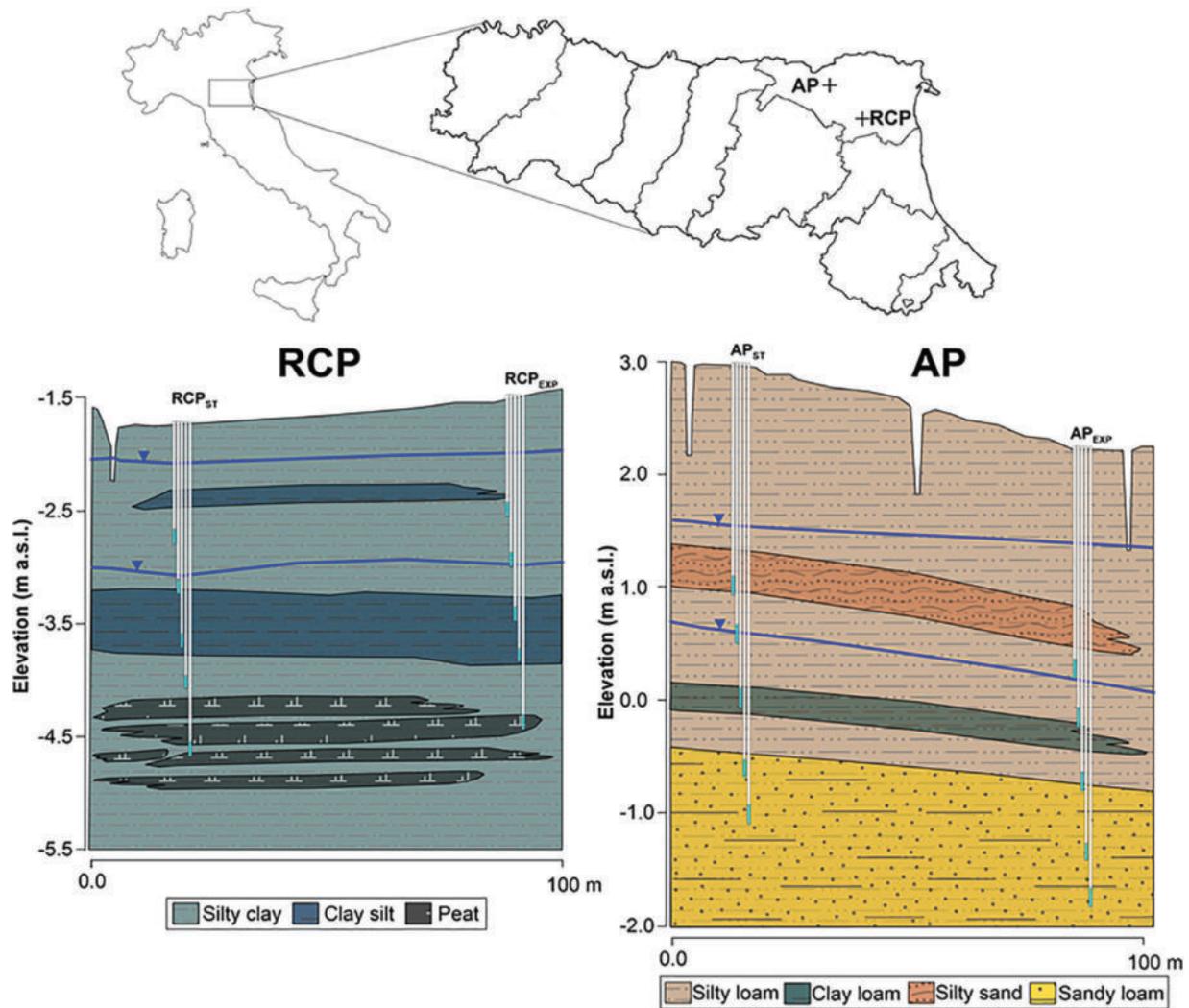


Fig. 1. The upper panel shows the location of the two field sites and the lower panel shows geological profiles and the MLSs' depth design; the main geological lenses and the average water table elevation in summer (lower blue lines) and winter (upper blue lines) are also shown. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

samples were stored in a fridge at 4 °C, kept in a dark environment and immediately transported to the laboratory for proper conservation prior to be analysed.

Major anions (along with acetate and formate) were analysed using an isocratic dual pump ion chromatography ICS-1000 Dionex. Methane (CH₄) in groundwater samples was analysed by MIMS-Membrane Inlet Mass Spectrometry (Bay Instruments, USA), consisting in a PrismaPlus quadrupole mass spectrometer with an inline furnace operating at 600 °C to allow for O₂ removal. CH₄ concentrations were quantified by the ion current detected at *m/z* ratio of 15. Samples for CH₄ determination were collected by overflowing at least 3 times a 12-mL gas-tight glass vials (Exetainer®, Labco, High Wycombe, UK) and preserved by

adding 100 µL of 7 M ZnCl₂ solution. Dissolved organic carbon (DOC) and dissolved inorganic carbon (DIC) were measured with a Carbon Analyser Shimadzu TOC-V-CSM in a 5 mL sub-aliquot of groundwater sample. Hydrogen sulphide (H₂S) and NH₄⁺ were measured spectrophotometrically on a double beam Jasco V-550 spectrophotometer using HACH LCK cuvette kit tests in a 5 mL sub-aliquot of groundwater sample.

Stable isotopes composition was determined at the Isotope Laboratory of the University of Waterloo, Canada. δ¹⁸O and δ²H analyses in water samples were carried out using a CRDS Los Gatos LWIA 24-d isotopic analyser; the analytical error was ±0.1‰ for δ¹⁸O and ±1‰ for δ²H.

Table 1

K values observed in the MLSs of the two sites at different depths, for both the standard and experimental plots.

Piezometer's depth (m.b.g.l.)	RCP _{ST} (m/s)	RCP _{EXP} (m/s)	AP _{ST} (m/s)	AP _{EXP} (m/s)
−1.0 at RCP; −2.0 at AP	8.9 × 10 ^{−7}	5.3 × 10 ^{−7}	1.3 × 10 ^{−5}	7.7 × 10 ^{−6}
−1.5 at RCP; −2.5 at AP	8.1 × 10 ^{−7}	3.3 × 10 ^{−7}	8.7 × 10 ^{−6}	8.1 × 10 ^{−6}
−2.0 at RCP; −3.0 at AP	1.2 × 10 ^{−7}	3.0 × 10 ^{−7}	2.2 × 10 ^{−7}	6.2 × 10 ^{−7}
−2.5 at RCP; −3.5 at AP	4.2 × 10 ^{−7}	1.1 × 10 ^{−7}	1.1 × 10 ^{−5}	4.2 × 10 ^{−5}
−3.0 at RCP; −4.0 at AP	2.1 × 10 ^{−6}	4.3 × 10 ^{−6}	3.5 × 10 ^{−5}	5.0 × 10 ^{−5}

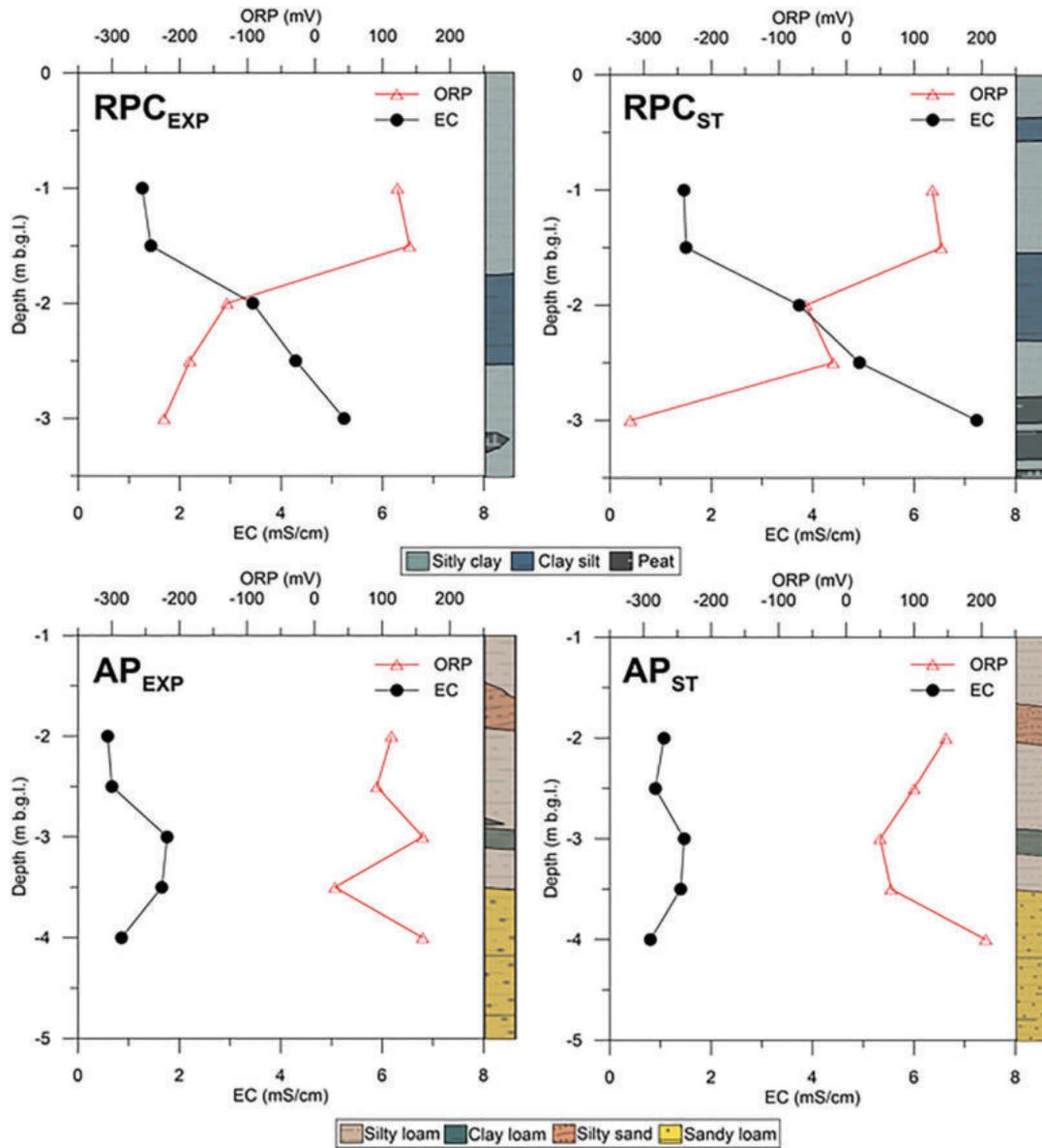


Fig. 2. Groundwater ORP and EC profiles recorded in the MLSs at the RCP site (upper panels) and AP site (lower panels).

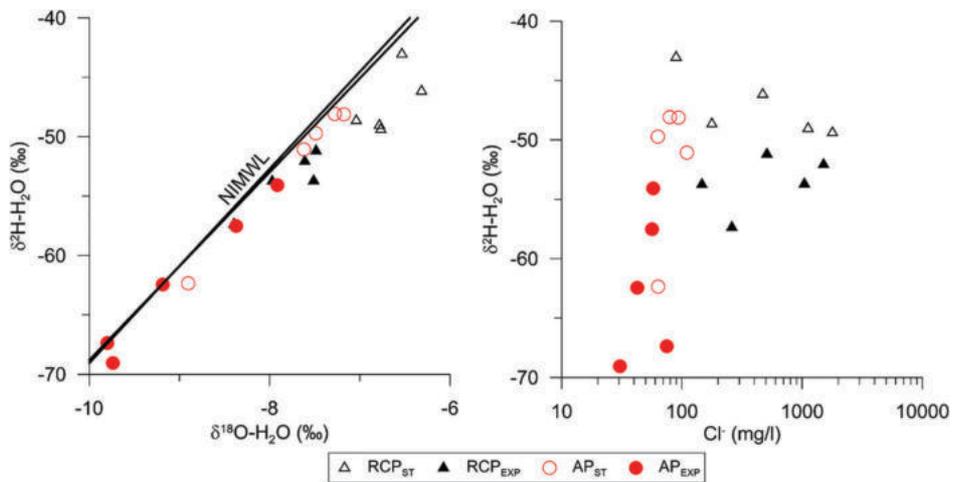


Fig. 3. Left plot: water stable isotopes composition at RCP and AP, the upper and lower estimates for the Northern Italian Mean Water Line (NIMWL) are also plotted for comparison (Giustini et al., 2016). Right plot: relationship between Cl^- concentrations and $\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$ at RCP and AP.

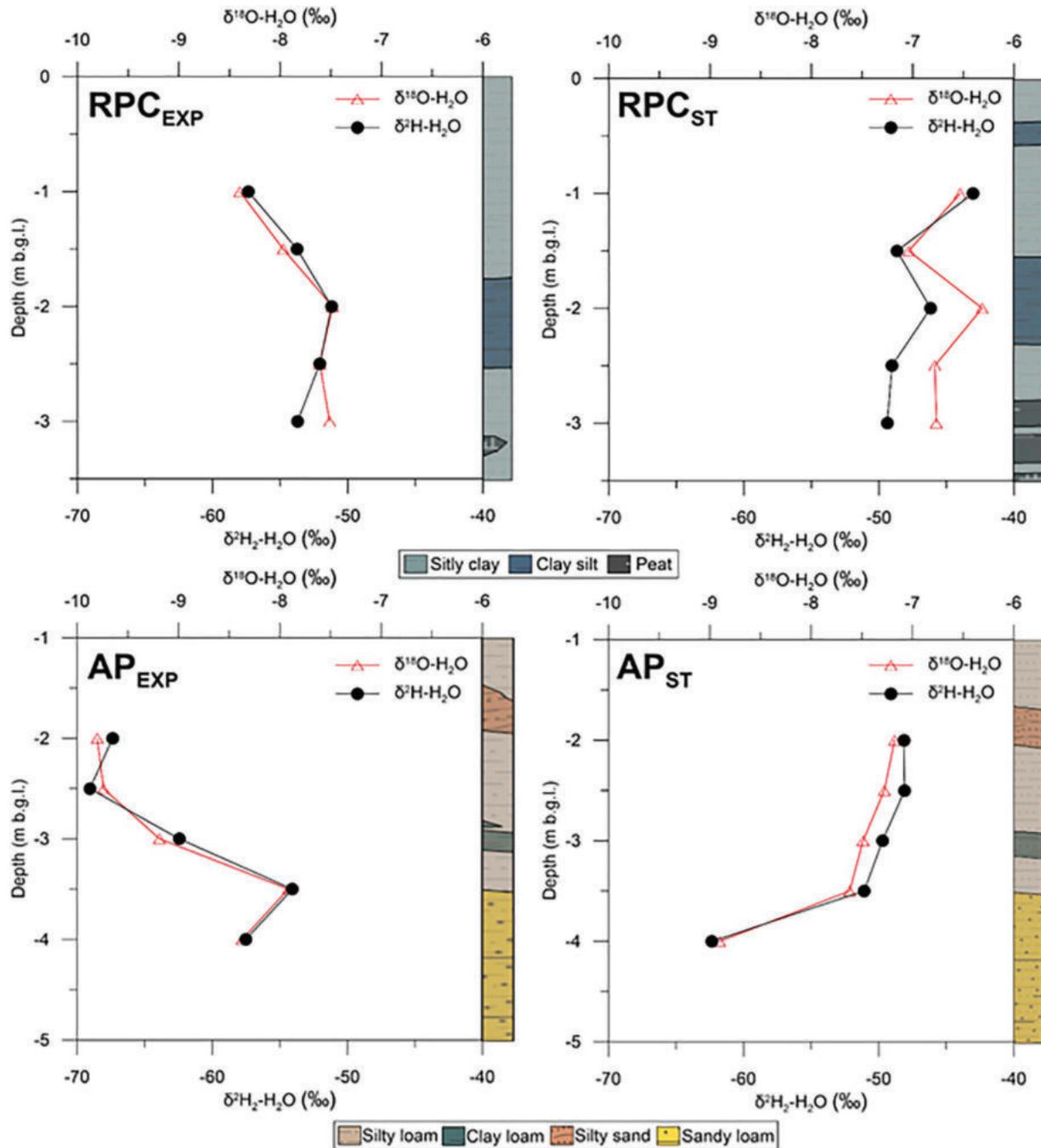


Fig. 4. $\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$ and $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ groundwater depth profiles in the standard and experimental plots of the two field sites. Error bars are not plotted since the symbols' size is larger than the error bars.

For $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ analyses, samples (50 mL) were run after conversion of NO_3^- to nitrous oxide (N_2O) by chemical denitrification (Ryabenko et al., 2009). Samples containing 2 μg of NO_3^- as N were freeze dried and then re-dissolved in a 3 mL sodium-chloride/imidazole solution. Following re-dissolution, activated cadmium was added to reduce NO_3^- to nitrite (NO_2^-) over a 24-hour period. Samples were then syringe filtered into helium-filled 20 mL serum vials; a buffer solution (acetic acid and sodium azide) was added to convert NO_2^- to N_2O . After allowing the reaction to proceed to completion, a sodium hydroxide solution was added to quench the reaction. N_2O samples were analysed for $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ by injection of 10–15 nmol of N_2O into a GV Trace Gas pre = concentrator system, attached to a GV Isoprime mass spectrometer. The Trace Gas system further purified the sample and chromatographically separated N_2O from any remaining

trace of CO_2 . Replicate samples and standards are typically within $\pm 0.5\%$ for both $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$.

For $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$, 100 mL samples were collected, adjusted to pH 4.5–5 with 20% H_2SO_4 and frozen until analysed. Based on sample concentration, a target amount of approximately 20–50 μg of N was used for the analysis. The appropriate amount of sample was placed in a 60 mL jar with 4 M KCl solution and a phenolphthalein indicator was added. Sample was treated with NaOH until the solution turned bright pink. A buffer solution of Sodium TetraBorate was added and a Teflon packet containing an acidified quartz disc was added and sealed in the jar. After 10 days, NH_4^+ in the sample should have volatilized into ammonia and absorbed onto the acidified quartz disc, as Teflon is permeable to gas. The disc was removed, frozen and freeze-dried to assure no moisture remains. The disc was then folded into a tin cup and combusted

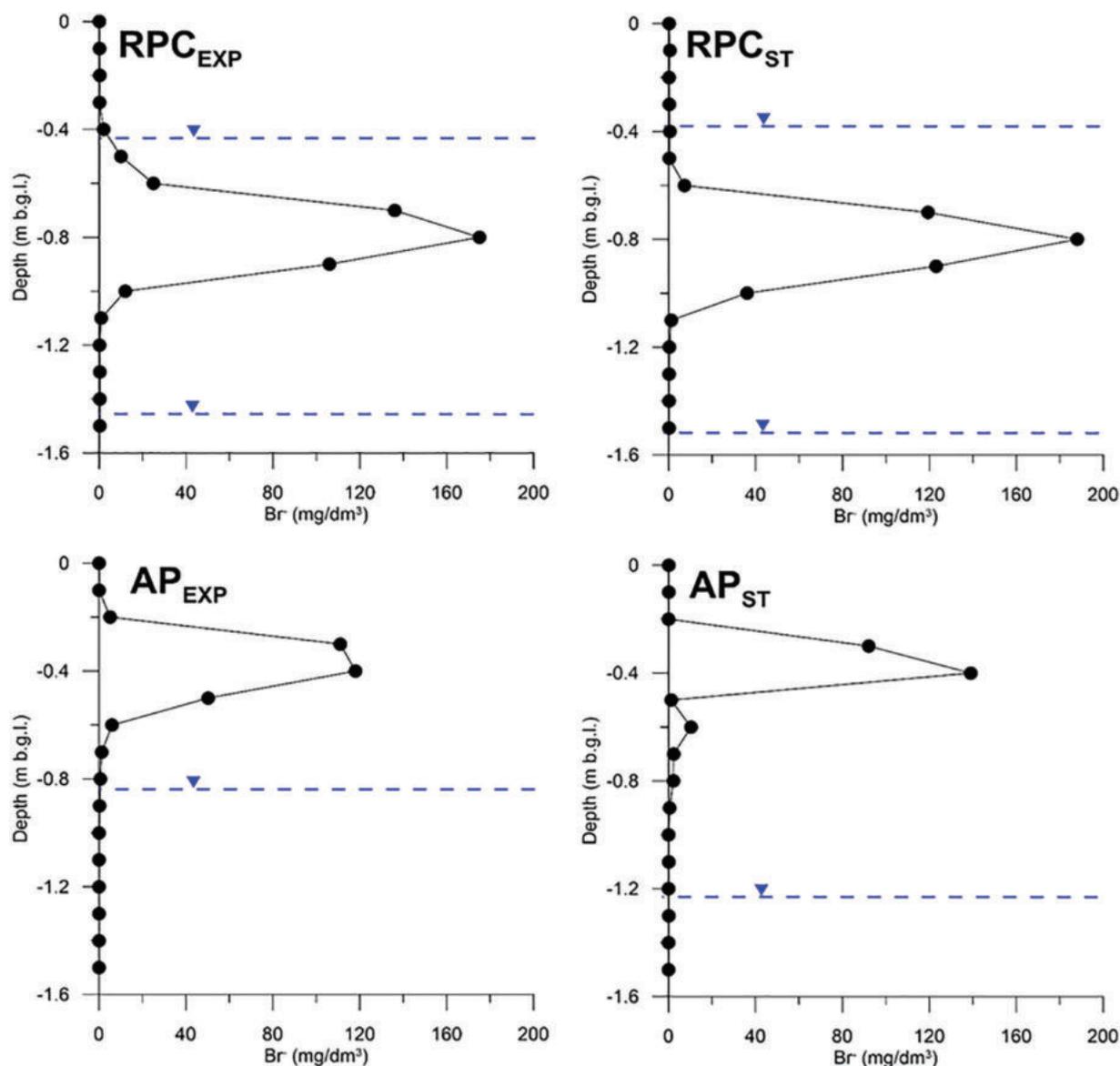


Fig. 5. Br^- soil depth profiles in RCP and AP, collected in April 2018 within the tracer test areas. The blue lines represent the water table maximum and minimum depths at the RCP site and a water table maximum at the AP site. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

on a Delta Finnigan Elemental analyser coupled with an Isotope Ratio Mass Spectrometer (IRMS). The precision associated with $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ analyses is generally better than $\pm 0.2\%$.

For SO_4^{2-} isotope analyses ($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$), 1 L samples were collected and stored at room temperature. Based on sample concentration, a target amount in the range of 20–50 μg of S was used for the analysis (Mayer and Krouse, 2004). The dissolved SO_4^{2-} was precipitated as BaSO_4 by adding $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, after acidifying the sample with HCl and boiling it to avoid interference by bicarbonates. $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ was determined by a Carlo Erba Elemental Analyser (EA) coupled in continuous flow to a Finnigan Delta IRMS, while analyses for $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ were run using an Isochrom IRMS Micromass coupled to the EA with a high temperature furnace. Reproducibility of the samples calculated from standards interspersed in the batches was 0.2% for $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$.

For $^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, water samples (50 mL) were injected in capped vacutainer 12 mL vials and few drops of 85% phosphoric acid were added. The vials were then shaken vigorously for 10 min and the analyses were carried out using an Agilent 6890 coupled to an Isochrom (Micromass UK) continuous flow IRMS. The precision associated with $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ analyses is $< \pm 0.2\%$. All results are reported in δ (‰) values

relative to international standards: Air for $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$; Vienna Canyon del Diablo Triolite (VCDT) for $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$; Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) for $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$; Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) for $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ and $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$, and $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$. All analytical results discussed in this paper are reported in the Supplementary Information.

3. Results and discussion

3.1. Hydrogeological information

The water table at both sites is affected by seasonal fluctuation due to recharge events occurring in winter and spring, while a marked drawdown is detected in summer (Fig. 1, lower panels). The latter is due to evapotranspiration processes that are quite pronounced in this area during the crop growing season (i.e. from April to September), since the water table is close to the ground surface and the soils are characterized by an elevated capillary rise (Colombani et al., 2016). Both sites host an unconfined aquifer superimposed to a confined aquifer. They are separated by a relatively thick and continuous clay and silt lens located at -3.5 m.a.s.l. in RCP, and by a silty-clay lens located at

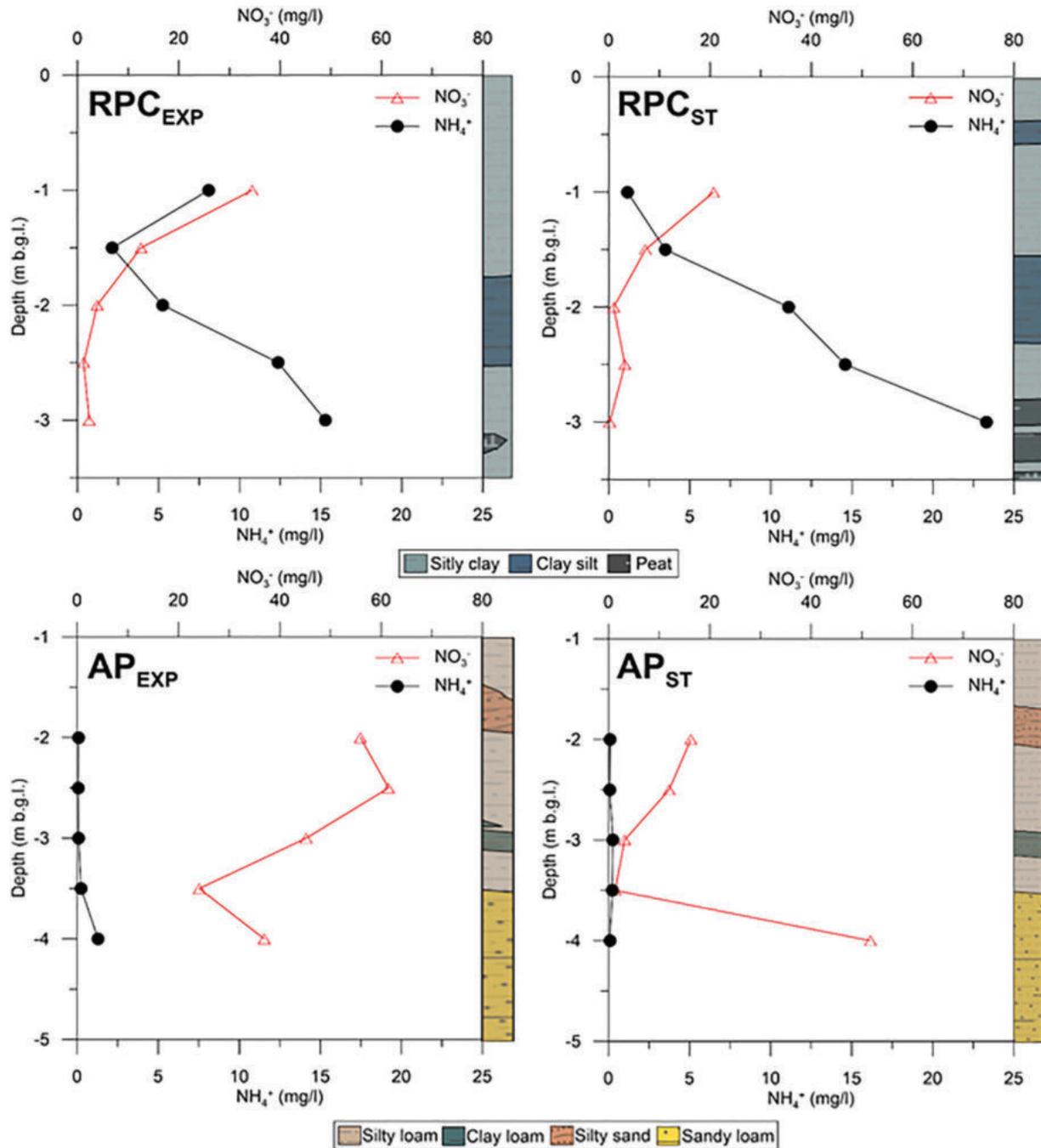


Fig. 6. NO_3^- and NH_4^+ groundwater concentrations depth profiles in RPC and AP sites.

0.0 m.a.s.l. in AP (Table 1). The degree of confinement is higher in RPC since the low hydraulic conductivity lenses are thicker than in AP, where the low hydraulic conductivity lenses are also thinning toward the AP_{EXP} plot, increasing the connectivity of the lower sandy aquifer with the upper soil horizons (Fig. 1).

3.2. EC and ORP profiles

In RPC (Fig. 2, upper panels), EC increases with depth reaching values up to 7 mS/cm. This is due to brackish paleo-marshes, which are quite widespread in the shallow coastal aquifers of the Po river lowland (Greggio et al., 2018). ORP shows a decreasing trend with depth reaching values as low as -300 mV, typical of very reduced redox conditions triggered by the concurrence of low hydraulic conductivity sediments with abundance of SOM within the peat lenses. In AP (Fig. 2,

lower panels), EC is lower than in RPC, with maximum values up to 2 mS/cm, reached within the clay loam lenses. ORP is always positive, suggesting oxic and sub-oxic redox conditions, due to a general lack of SOM and readily available substrates like low molecular weight organic acids (Mastrocicco et al., 2017).

The pH is circumneutral in RPC with an average value of 6.8 and slightly basic in AP with an average value of 7.8 (see Supplementary Information). These values are consistent with calcite buffered systems and the slightly acidic conditions of RPC are due to the excess of SOM.

3.3. $\delta^2\text{H}\text{-H}_2\text{O}$ and $\delta^{18}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ groundwater characterization

The stable isotope data show a relatively large range of isotope composition that varies from -6% to -10% for $\delta^{18}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ and from -40% to -70% for $\delta^2\text{H}\text{-H}_2\text{O}$ (Fig. 3, left plot). The most isotopically depleted

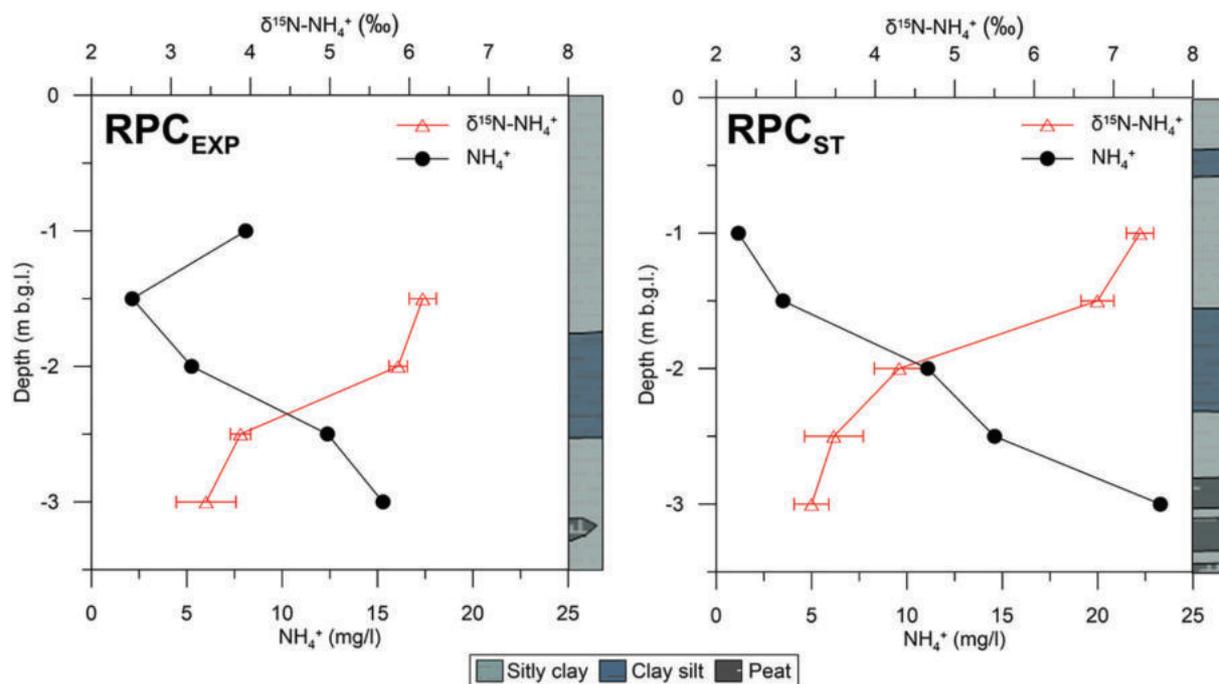


Fig. 7. $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ versus NH_4^+ groundwater concentrations depth profiles in RCP. Error bars for $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ represent the standard deviation over three replicates.

water pertains to AP while the most enriched one pertains to RCP and given that the altitude gradient is negligible between the two sites, the isotopic differences must be related to a different origin of recharge waters and/or to processes that have affected these waters. This observation is further explored by comparing the isotope data collected at both sites versus the Northern Italian Meteoric Water Line (NIMWL), recently revisited by Giustini et al. (2016). The $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ of local recharge in the study sites should be around -7% . Then, the most isotopically depleted groundwater at RCP represents water of different origin, probably recirculating water from the irrigation canals directly diverted from the Po River. Some groundwater samples at RCP show a small contribution from recirculating waters and some show a trend diverging from the NIMWL toward more enriched isotopes values. The latter is a typical pattern related to evaporation (Horita et al., 2008) and/or to the influence of residual seawater preserved in the low hydraulic conductivity sediments.

$\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$ values against Cl^- concentrations (Fig. 3, right plot), supports the role of residual seawater, since the samples characterized by concentration of Cl^- higher than 1000 mg/L tend to a common end-member, indicating mixing with brackish waters typical of back barrier and wetland environments present in this reclaimed area until a few centuries ago (Curzi et al., 2006).

The $\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$ and $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ depth profiles provide additional information about the water cycle in these shallow aquifers. First, these data clearly show large isotopic differences are observed among the two sites and among the standard and experimental plots within each site (Fig. 4). Despite the two sets of MLSs are in the same cultivated field, just a few meters apart from each other, the RCP_{EXP} profile shows the influence of the input of a more isotopically depleted recharge water compared to the RCP_{ST} isotope profile, especially in the shallow MLS ports. This pattern leads to hypothesise that groundwater recharge is highly spatially variable due to local heterogeneities that can enhance or limit infiltration. A distinct isotopic pattern is observed in the depth profiles of AP_{EXP} compared to AP_{ST} ones. The shallow MLS ports in AP_{EXP} show the influence of the recirculating water probably associated to irrigation from nearby ditches (connected to the Po River), while the deeper MLS ports tend toward more enriched isotopic values associated to the underlying aquifer. For AP_{ST} , the shallow MLS ports reflect the input of recharge by local precipitation, followed by a trend toward the

isotopic composition of the underlying aquifer. These different patterns show the complexity of the water cycle at the study sites. The contribution of the irrigation water could be associated to leakage from the irrigation ditches, that could explain the variability of both $\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$ and $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$. Due to the low hydraulic conductivity of the sediments in both sites, it can be postulated that the residence time in these aquitard-aquifer systems should be quite long. For this reason, the observed isotopic signatures are representative of the long-term processes that have affected these intensively cultivated agricultural landscapes in the last decades rather than the actual land use. This issue will be further debated in the next section where a Br^- tracer test experiment will be discussed.

3.4. Br^- tracer tests results

Fig. 5 shows the results of the natural gradient tracer test started at the beginning of the project.

The Br^- concentration was below the detection limit in cores collected down to -1.5 m.b.g.l. in both AP and RCP before the tracer test. It can be noticed that the centre of tracer's mass has been found at -0.8 m.b.g.l. in both RCP plots, while in AP it has been found at -0.4 m.b.g.l. This is not surprising, since RCP has a shallower water table than AP (see the blue lines in Fig. 5). Thus, the water table reached the Br^- centre of mass during the recharge periods and transported it downward when dropping down in the summer periods. On the other hand, in AP the water table is always lower than -0.8 m.b.g.l. and vertical solute transport in the vadose zone is much slower than in saturated conditions. Thus, given that Br^- profiles were obtained after 18 months, the vadose zone residence time in AP_{EXP} should be approximately 3 years, while in AP_{ST} should be approximately 4.5 years since the water table is lower than in AP_{EXP} . While, in both RCP_{EXP} and RCP_{ST} the vadose zone residence time should be approximately 1.5 years or less given that the water table is on average at -1 m.b.g.l.

The most important information gained by this tracer test is that the recharge waters infiltrated after the initiation of the controlled agricultural practice experiment (PSR research project started in October 2016, see Section 2.1) had not reached the sampling MLS ports at the time the chemical and isotope dataset was obtained (March 2018). Thus, the groundwater samples collected from the MLSs can be considered

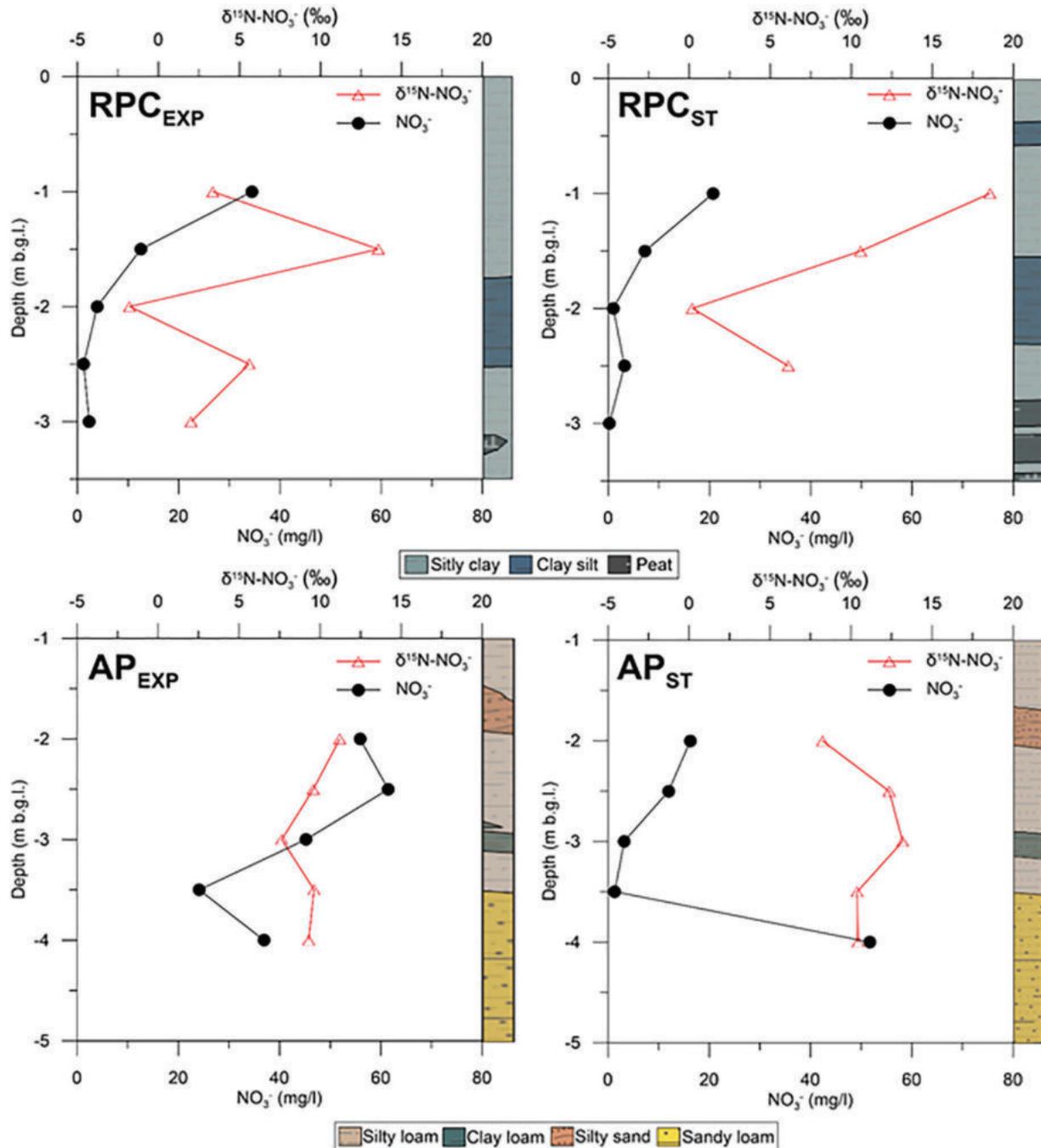


Fig. 8. $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ versus NO_3^- groundwater depth profiles in RCP and AP.

representative of waters infiltrated before the beginning of the project, resembling the typical fertilization practices and tillage techniques in all plots. This is extremely important for the development of a robust and correct conceptual model, since all the chemical and isotopic variability found in this study cannot be related to the actual agricultural practices but are related to the previous ones, that were similar at RCP and AP.

3.5. Nitrogen cycling

3.5.1. Reactive nitrogen concentration patterns

The vertical profiles of NO_3^- and NH_4^+ concentration for both sites are presented in Fig. 6. The NH_4^+ concentrations increase with depth at RCP_{EXP} and RCP_{ST}, from 8.1 and 1.1 mg/L in the shallow MLS ports to

15.3 and 23.3 mg/L in the deep MLS ports, respectively. An opposite trend is observed for NO_3^- , which decreases from 34.5 and 20.7 mg/L in the shallow MLS ports to 2.0 and 0.2 mg/L in the deep MLS ports. The presence of NH_4^+ and NO_3^- in the shallow MLS ports indicate oxidizing conditions and probably partial conversion of NH_4^+ to NO_3^- in the unsaturated zone. The high NH_4^+ concentration observed in the deepest part of the profiles is an indication of NH_4^+ production associated to the presence of peaty lenses that, in combination with the low hydraulic conductivity of the sediments, trigger SOM degradation and mineralization of organic N into NH_4^+ . This behaviour is quite common in the study area (Mastrocicco et al., 2013; Caschetto et al., 2017) and in other alluvial plains and deltas around the world (Griffioen et al., 2013; Wang et al., 2013). The NO_3^- concentration pattern indicates the production

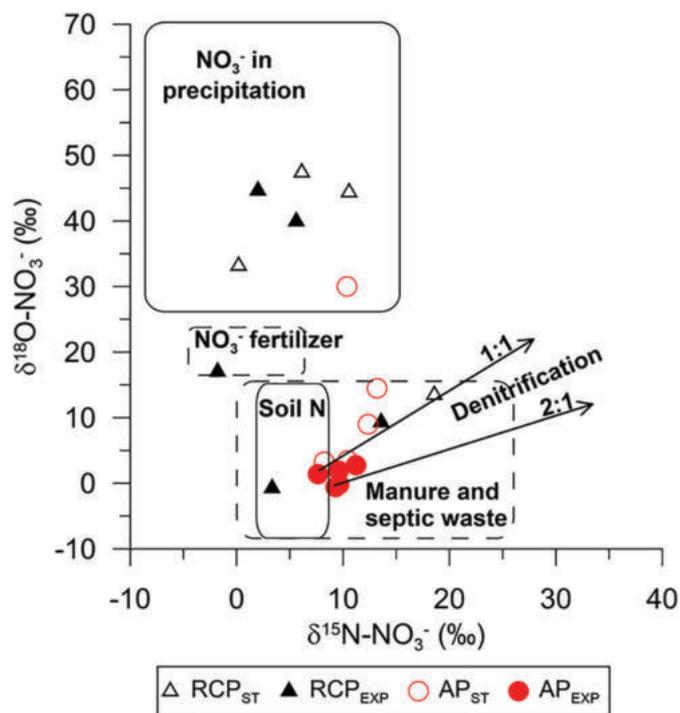


Fig. 9. Scatter plot of $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ versus $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ in groundwater of RCP and AP sites. The typical isotopic compositions of different sources of NO_3^- are also shown (Kendall et al., 2007).

of NO_3^- by nitrification of NH_4^+ in the unsaturated zone and nil transport to the lower layers due to the low hydraulic conductivity of the sediments and/or the attenuation by denitrification.

In AP, due to its mainly oxic conditions, NO_3^- is the main reactive N species, while NH_4^+ concentration is nil or very low. NO_3^- concentrations show values of 58.0 and 16.2 mg/L in the shallow MLS ports, a decrease with depth and show a reverse trend toward higher concentrations in the deep MLS ports, especially in AP_{ST} . The latest is most probably due to the horizontal transport of NO_3^- from upgradient sources located in other agricultural fields. A small amount of NH_4^+ is also observed in the deep MLS ports, especially in AP_{EXP} , again probably due to upgradient sources. NO_3^- concentrations pattern in AP_{EXP} and AP_{ST} suggests NO_3^- attenuation by denitrification and the contribution of an additional source of reactive N located upgradient respect to the monitored agricultural field and transported along the groundwater regional head gradient. The elevated difference in NO_3^- concentrations between AP_{EXP} and AP_{ST} , highlights that local heterogeneities of hydraulic conductivity, infiltration rates and fertilizer concentrations are very pronounced in AP.

3.5.2. Isotope data on NH_4^+ and NO_3^-

Further insight about the sources and the fate of N species at the study site can be provided by the isotope data on NH_4^+ and NO_3^- . Concerning NH_4^+ , a clear inverse trend between $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ and NH_4^+ concentration is observed at both RCP_{ST} and RCP_{EXP} (Fig. 7). $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ data show values around +7‰ near the water table, reaching +3.5‰ within the peat lenses. These results agree with previous results obtained in this area (Caschetto et al., 2017), where the upper part of the aquifer was characterized by enriched $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ values (from 4.4‰ up to 7.1‰) and the lower part of the aquifer was characterized by lower $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ values (from 1‰ to 2.7‰). Furthermore, $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ values of +2–3‰ are frequently associated with a natural organic N source (Kendall and Aravena, 2000), confirming that the source of the elevated NH_4^+ content in both RCP_{EXP} and RCP_{ST} profiles, at depth lower than –2 m.b.g.l., is the mineralization of organic N-rich peat lenses, as originally proposed by Mastrocicco et al. (2013). Conversely,

the higher than expected values of $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ found in the upper portion of both RCP_{EXP} and RCP_{ST} profiles could be due to partial NH_4^+ nitrification from fertilizers. In fact, nitrification processes tend to enrich the remaining NH_4^+ pool respect to the original N fertilizers median value of 0.0‰ (Vitòria et al., 2004; Aravena and Mayer, 2010).

Concerning NO_3^- pattern (Fig. 8), the RCP_{EXP} profile shows $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ values of +3.3‰ in the shallow port changing toward an enriched value of +13.6‰ and reversing to lower values of –1.8‰ and +5.6‰ in the deep port; while the RCP_{ST} profile shows an enriched $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ value of +18.6‰ in the shallow port and a trend toward more depleted values of +0.2‰ and +6.1‰ with depth. Both profiles show a trend of decreasing NO_3^- concentration with depth but with slightly different concentrations in the shallow MLS ports, 34.5 mg/L in RCP_{ST} and 30.7 mg/L in RCP_{EXP} . Due to the reducing condition at RCP, the enriched $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ values should be related to denitrification, as confirmed by the data in Fig. 9 that show the relationship between $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ vs $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$.

One set of data which included the enriched $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ values at RCP shows the typical trend associated to denitrification. The most interesting data are the low NO_3^- concentration samples corresponding to the deepest MLS ports, that plot within the box of atmospheric deposition. This implies that this part of the profile has been never affected by agriculture activities and preserves the isotope fingerprint of pre-agriculture activities.

A contrasting pattern is observed at AP compared to RCP (Fig. 8). No significant change is observed with depth at AP_{EXP} , that shows $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ values of +11.2‰ in the shallow port and values between +9.6‰ and +7.6‰ in the deep port. In AP_{ST} the shallow port shows a values of +8.2‰ tending toward more enriched values of +12.2‰ and +13.1‰ and again toward lower values with depth (around +10‰). Both profiles show a decrease of NO_3^- concentration with depth, but in the deepest port of AP_{ST} NO_3^- concentration increased significantly in the sandy aquifer. Most of the data plot within the box of manure and septic system (Fig. 9), however these values can be associated even to urea that have been affected by volatilization processes in the soil. The enriched $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ values of +12.2 and +13.1‰ at AP_{ST} are also accompanied by enriched $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ values, and plot in the trend associated to denitrification. This suggest that, despite of the oxic condition at the AP_{ST} site, denitrification probably associated to microsites under more reducing condition, is playing a role in nitrate cycling at the AP_{ST} site.

3.6. Sulphate isotope groundwater profiles

Since N and S cycles are controlled by redox conditions and sometimes are linked in groundwater, the stable isotope data on SO_4^{2-} will be analysed in the context of redox conditions and possible link with the N cycle. The isotope data on SO_4^{2-} will be used to evaluate the sources and the processes that can affect SO_4^{2-} in groundwater. Fig. 10 shows $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ profiles vs their respective SO_4^{2-} concentrations in RCP and AP; H_2S data, a by-product of SO_4^{2-} reduction, is also plotted for RCP.

$\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ values at RCP_{ST} are around 0.0‰ in the shallow MLS ports, tend toward enriched $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ values of +21.2‰ and +37.1‰ with depth, reversing to lower values in the deepest part of the profile. The shallow $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ values are typical of pyrite oxidation (Moncaster et al., 2000; Zhang et al., 2012), which could occur in the unsaturated zone. Besides, pyrite is common in these saline and organic rich environments (Colombani et al., 2015). The more enriched $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ values could be linked to SO_4^{2-} reduction (Böttcher et al., 2001), which is supported by the occurrence of high concentrations of H_2S (27.1 and 37.1 mg/L). The trend of decreasing SO_4^{2-} concentration in the interval of the enriched $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ values and the reducing conditions also support the occurrence of SO_4^{2-} reduction at RCP. A different pattern is observed in AP. First, a great variability in the shallow part of the aquifer is observed in the SO_4^{2-} concentration data, with values ranging from 326

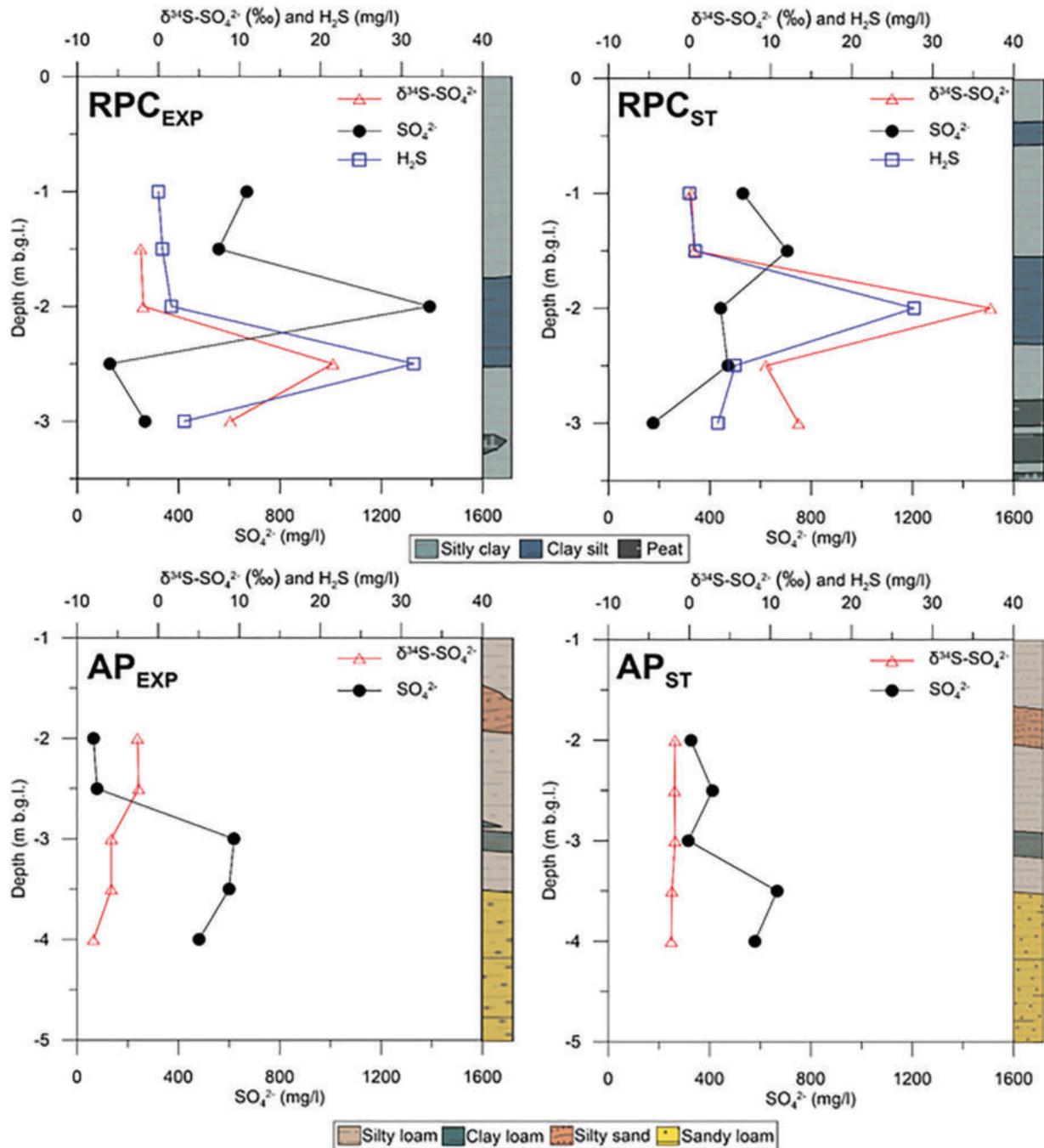


Fig. 10. $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ versus SO_4^{2-} groundwater concentration depth profiles in RCP and AP. H_2S was also plotted for RCP. Note that in RCP_{EXP} the upper $\delta^{18}\text{O-SO}_4^{2-}$ value is not plotted since there was not enough sample to run the analyses.

to 411 mg/L in AP_{ST} and from 65 to 78 mg/L in AP_{EXP} . A trend toward higher concentration is observed with depth. A $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ value of around -2% in the whole profile is observed at AP_{ST} while a trend from values around -2% to -7% is observed at AP_{EXP} with depth. These $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ values are typical of SO_4^{2-} originating from the oxidation of sulphide minerals (Moncaster et al., 2000; Zhang et al., 2012). No evidence of SO_4^{2-} reduction is observed at AP since the redox conditions are not suitable for the occurrence of SO_4^{2-} reduction.

The evaluation of sources of SO_4^{2-} and processes that can affect SO_4^{2-} in groundwater can be further analysed using the relation between $\delta^{18}\text{O-SO}_4^{2-}$ and $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ (Fig. 11). The data plotted in this figure tend to discard the proposition based only on the $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ data that one of the sources of SO_4^{2-} could be pyrite oxidation. In fact, most data

are within the box of the fertilizers, indicating that the source of SO_4^{2-} is more likely the use of fertilizers. SO_4^{2-} is present in the inorganic fertilizers used in the study area. However, $\delta^{18}\text{O-SO}_4^{2-}$ values in the range of 5 to 8‰ can be generated by oxidation of pyrite when oxygen plays a major role in the oxidation of pyrite (van Everdingen et al., 1985). Values greater than 8‰ could also be generated when water with more enriched $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ values than the current values measured at the study site has been involved in the oxidation of pyrite (van Everdingen et al., 1985). Furthermore, the very high SO_4^{2-} concentrations reaching values as 1390 mg/L at the RCP site support the role of pyrite oxidation as one of the sources of SO_4^{2-} at the study site. The two apparent outliers observed in Fig. 11, which correspond to the deeper samples at the RCP site (see supporting information), could be a

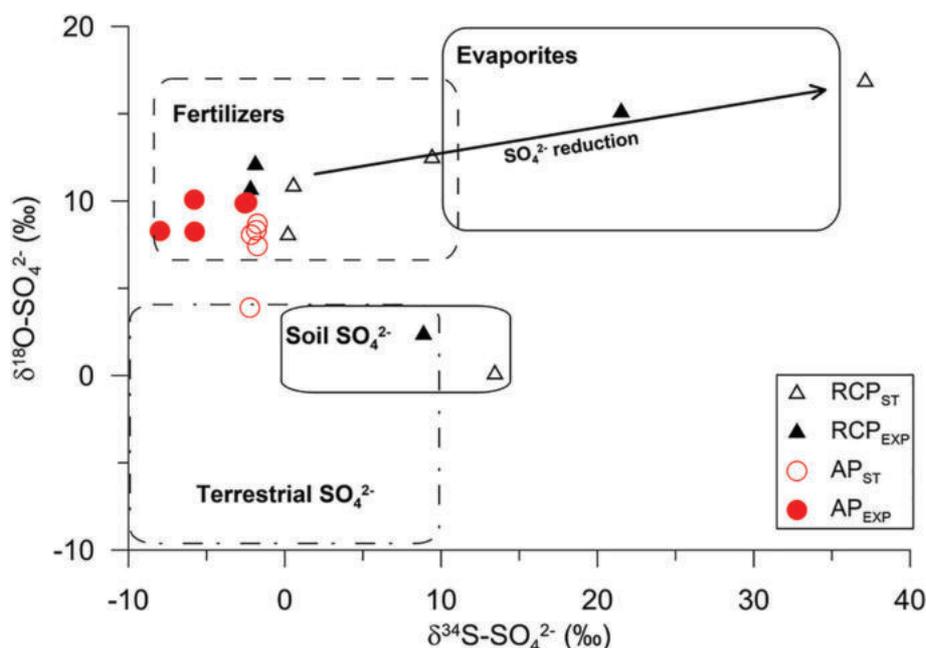


Fig. 11. Scatter plot of $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ versus $\delta^{18}\text{O-SO}_4^{2-}$ in groundwater of RCP and AP sites. The typical isotopic compositions of different sources of SO_4^{2-} are also shown (modified from Clark and Fritz, 1997 and Vitòria et al., 2004).

reflection of a complex sulphur cycling in the older lagoons system at the study site. Then, the trend toward enriched $\delta^{18}\text{O-SO}_4^{2-}$ and $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ values support the interpretation, based on the $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ and H_2S patterns, that SO_4^{2-} reduction is affecting the concentration of SO_4^{2-} at depth in RCP.

3.7. Organic and inorganic carbon isotopes groundwater profiles

The differences in redox conditions and reactivity between RCP and AP must be related to the nature of the sediments. RCP is characterized by the presence of organic rich sediments, which is reflected in the higher DOC content (from 13.2 to 54.55 mg-C/L) compared to the AP one (from 6.4 to 11.1 mg-C/L) (Table 2). The highly reducing condition of the groundwater at RCP is suitable not only for SO_4^{2-} reduction but also for methanogenesis. In fact, peaty lenses, like the ones found in RCP, usually trigger methanogenic conditions in shallow lowland

aquifers (Caschetto et al., 2017; Schloemer et al., 2018) or in shallow upland aquifers (Clague et al., 2019). The increase of CH_4 and DIC concentrations with depth and the trend toward more enriched $\delta^{13}\text{C-DIC}$ values with depth at RCP (Fig. 12) are typical patterns associated to methanogenesis (Simpkins and Parkin, 1993; Aravena et al., 1995). The isotopic enrichment in the residual CO_2 , that occurred during the formation of CH_4 by CO_2 reduction, is very pronounced respect to the original CO_2 (Nowak et al., 2017). The enriched CO_2 is further recycled into the DIC pool through carbonate equilibrium reactions, causing the enrichment of $\delta^{13}\text{C-DIC}$ and an increase of DIC in groundwater (Aravena and Wassenaar, 1993; Aravena et al., 1995).

Concerning the AP site, very low CH_4 is observed at this site excepting in the deeper sandy aquifer probably associated to an upgradient source. No appreciable changes are observed in the DIC and $\delta^{13}\text{C-DIC}$ values with depth (Fig. 12, lower plots). The C isotope and concentration patterns have shown, beside SO_4^{2-} reduction as inferred for the SO_4^{2-} isotope data, that methanogenesis is also occurring in groundwater at RCP.

Table 2

DOC, DIC, and CH_4 concentrations values in groundwater samples for both RCP and AP.

Sample ID	Depth (m.b.g.l.)	DOC (mg-C/L)	DIC (mg-C/L)	CH_4 ($\mu\text{g/L}$)	$\delta^{13}\text{C-DIC}$ (‰)
RCP _{EXP} 1	-1.0	16.27	29.9	5.7	Not analysed
RCP _{EXP} 1.5	-1.5	18.09	41.9	18.3	-10.9
RCP _{EXP} 2	-2.0	33.99	44.3	214	-11.7
RCP _{EXP} 2.5	-2.5	54.55	187	1254	-6.3
RCP _{EXP} 3	-3.0	40.44	192	4252	-1.6
RCP _{ST} 1	-1.0	13.21	36.0	12.8	-13.3
RCP _{ST} 1.5	-1.5	22.29	48.1	52.3	-12.1
RCP _{ST} 2	-2.0	23.12	84.0	64.5	-7.9
RCP _{ST} 2.5	-2.5	37.40	72.2	3633	0.9
RCP _{ST} 3	-3.0	36.36	198	9394	2.1
AP _{ST} 2	-2.0	11.08	53.9	2.8	-7.6
AP _{ST} 2.5	-2.5	7.34	60.2	2.7	-6.8
AP _{ST} 3	-3.0	6.90	55.1	2.9	-8.4
AP _{ST} 3.5	-3.5	10.89	72.0	2.7	-8.4
AP _{ST} 4	-4.0	8.40	36.0	49.4	-9.9
AP _{EXP} 2	-2.0	8.35	59.1	5.9	-8.7
AP _{EXP} 2.5	-2.5	7.45	56.1	5.1	-10.2
AP _{EXP} 3	-3.0	6.84	60.0	3.4	-9.4
AP _{EXP} 3.5	-3.5	6.40	53.1	25.9	-9.2
AP _{EXP} 4	-4.0	7.81	50.0	108	-10.4

4. Conclusions

This study has shown a clear distinction between different sources of reactive N species present in intensely cultivated freshwater paleo-river environments (AP) and reclaimed brackish swamp environments (RCP) of the Po Delta, from synthetic fertilizers to sedimentary N pool and atmospheric input. The presence of sedimentary N and atmospheric N input were well documented at the RCP site, which is characterized by rich organic sediments deposited in a marshy environment. Denitrification was documented to occur in the RCP and AP_{ST} sites. The SO_4^{2-} isotope data shown that pyrite and fertilizers are the main sources of the large amount of SO_4^{2-} found in groundwater in both sites. The occurrence of SO_4^{2-} reduction and methanogenesis were also documented at RCP, by the isotope data on SO_4^{2-} and DIC, respectively. The presence of relative high amount of CH_4 and H_2S at RCP supports the interpretation of the isotope data. Conversely, at AP no appreciable concentrations of H_2S and CH_4 were recorded, confirming the prevailing oxic conditions of this freshwater environment.

This study was part of a controlled agriculture experiment aiming to evaluate the effect that a change in the agriculture practices (from

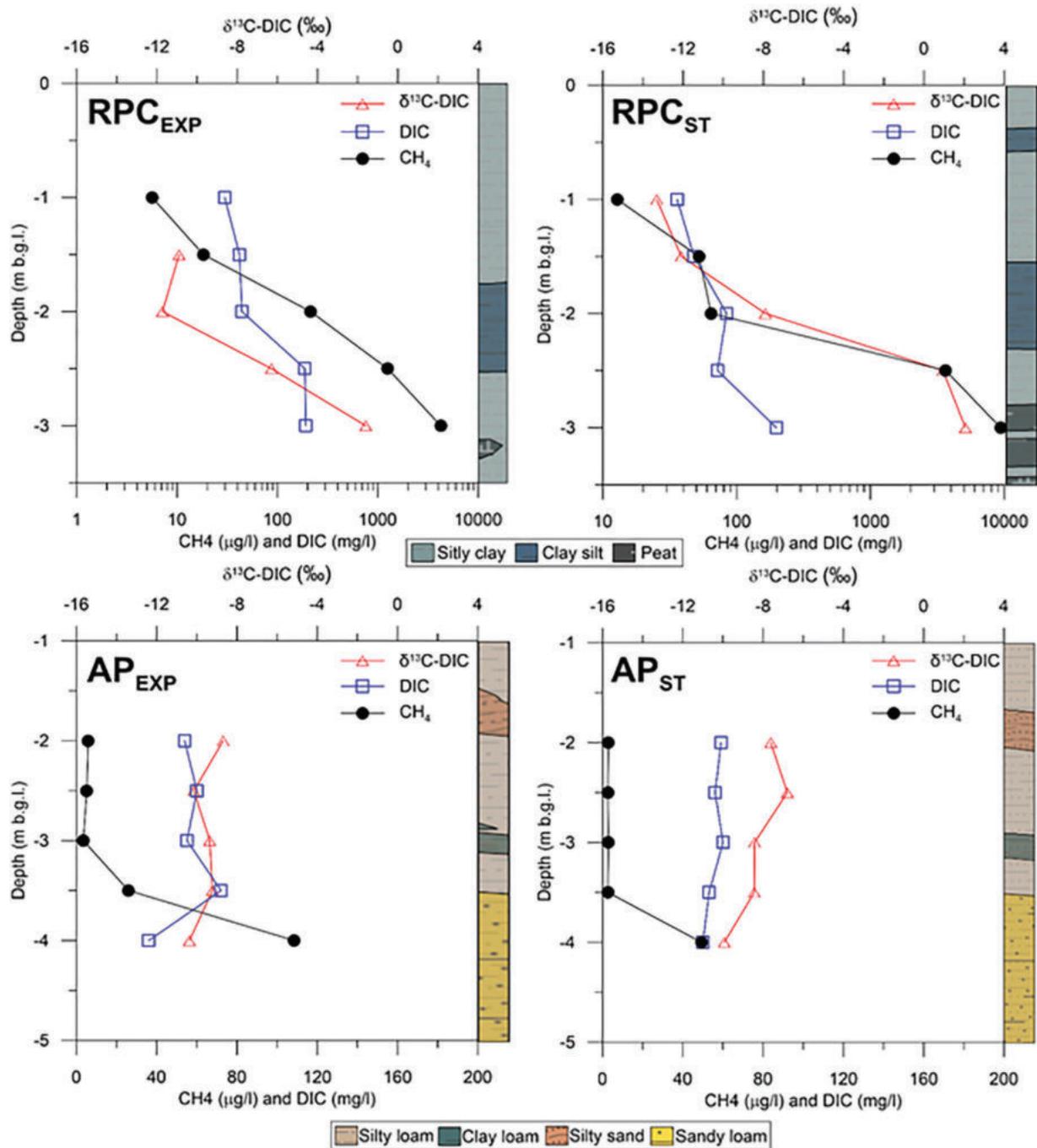


Fig. 12. $\delta^{13}\text{C-DIC}$ versus DIC and CH_4 groundwater concentration depth profiles in RCP and AP sites. Note that in RCP_{EXP} the upper $\delta^{13}\text{C-DIC}$ value is not plotted since there was not enough sample to run the analyses.

classical fertilization and tillage techniques to compost and no-tillage) may have in groundwater quality. However, the Br^- tracer test results show that the chemical and isotopic variability found in this study cannot be related to the actual agricultural practices but are instead related to historical practices, when the same fertilizers amount and ploughing techniques were employed in every plot at both sites. Thus, the different geochemical patterns observed between the two sites, and even within each site at different plots, could be related only to the nature of the sediments and the source of irrigation water. For instance, at RCP high SOM and low hydraulic conductivity created different redox conditions with respect to the AP site. Furthermore, the sources of water, which include local precipitation and irrigation water associated to the Po river, could

be also an element to be considered to explain the different geochemical responses at the study sites.

A key outcome of this study is that high resolution monitoring and tracer tests in the unsaturated zone are key elements that must be implemented to evaluate the response in groundwater quality to changes in agriculture practices aiming to reduce the amount of N reaching shallow groundwaters.

Acknowledgments

This work was financially supported by the Emilia-Romagna Region within the Rural Development Programme (PSR) 2014–2020 and

within the POR FESR 2007–2013 Programme for the development of the regional High Technology Network.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.238>.

References

- Aravena, R., Mayer, B., 2010. *Isotopes and processes in the nitrogen and sulfur cycles. Environmental Isotopes in Biodegradation and Bioremediation*. CRC Press/Lewis, Boca Raton, FL, USA. ISBN: 9781566706612, pp. 203–246.
- Aravena, R., Robertson, W.D., 1998. Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in ground water: study of nitrate from a large-flux septic system plume. *Groundwater* 36, 975–982. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb02104.x>.
- Aravena, R., Wassenaar, L.L., 1993. Dissolved organic carbon and methane in a regional confined aquifer, southern Ontario, Canada: carbon isotope evidence for associated subsurface sources. *Appl. Geochem.* 8 (5), 483–493. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(93\)90077-T](https://doi.org/10.1016/0883-2927(93)90077-T).
- Aravena, R., Wassenaar, L.L., Plummer, L.N., 1995. Estimating ^{14}C groundwater ages in a methanogenic aquifer. *Water Resour. Res.* 31 (9), 2307–2317. <https://doi.org/10.1029/95WR01271>.
- Biddau, R., Cidu, R., Da Pelo, S., Carletti, A., Ghiglieri, G., Pittalis, D., 2019. Source and fate of nitrate in contaminated groundwater systems: assessing spatial and temporal variations by hydrogeochemistry and multiple stable isotope tools. *Sci. Total Environ.* 647, 1121–1136. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.007>.
- Böhlke, J.K., 2002. Groundwater recharge and agricultural contamination. *Hydrogeol. J.* 10, 153–179. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0183-3>.
- Böhlke, J.K., Denver, J.M., 1995. Combined use of groundwater dating, chemical, and isotopic analyses to resolve the history and fate of nitrate contamination in two agricultural watersheds, Atlantic coastal plain, Maryland. *Water Resour. Res.* 31 (9), 2319–2339. <https://doi.org/10.1029/95WR01584>.
- Böttcher, M.E., Thamdrup, B., Vennemann, T.W., 2001. Oxygen and sulphur isotope fractionation during anaerobic bacterial disproportionation of elemental sulphur. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65 (10), 1601–1609. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00628-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00628-1).
- Bouwer, H., Rice, R.C., 1976. A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resour. Res.* 12 (3), 423–428. <https://doi.org/10.1029/WR012i003p0423>.
- Caschetto, M., Colombani, N., Mastrocicco, M., Petitta, M., Aravena, R., 2017. Nitrogen and sulphur cycling in the saline coastal aquifer of Ferrara, Italy. A multi-isotope approach. *Appl. Geochem.* 76, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.11.014>.
- Castaldelli, G., Soana, E., Racchetti, E., Pierobon, E., Mastrocicco, M., Tesini, E., Fano, E.A., Bartoli, M., 2013. Nitrogen budget in a lowland coastal area within the Po river basin (Northern Italy): multiple evidences of equilibrium between sources and internal sinks. *Environ. Manag.* 52 (3), 567–580. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0052-6>.
- Clague, J.C., Stenger, R., Morgenstern, U., 2019. The influence of unsaturated zone drainage status on denitrification and the redox succession in shallow groundwater. *Sci. Total Environ.* 600, 1232–1244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.383>.
- Clark, I.D., Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology* (Lewis, New York, 328 pp).
- Colombani, N., Mastrocicco, M., Dinelli, E., 2015. Trace elements mobility in a saline coastal aquifer of the Po river lowland (Italy). *J. Geochem. Explor.* 159, 317–328. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.10.009>.
- Colombani, N., Di Giuseppe, D., Faccini, B., Ferretti, G., Mastrocicco, M., Coltorti, M., 2016. Inferring the interconnections between surface water bodies, tile-drains and an unconfined aquifer–aquitar system: a case study. *J. Hydrol.* 537, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.046>.
- Criss, R.E., Davisson, M.L., 1996. Isotopic imaging of surface water/groundwater interactions, Sacramento Valley, California. *J. Hydrol.* 178 (1–4), 205–222. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(96\)83733-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(96)83733-4).
- Curzi, P.V., Dinelli, E., Lucchi, M.R., Vaiani, S.C., 2006. Palaeoenvironmental control on sediment composition and provenance in the late Quaternary deltaic successions: a case study from the Po delta area (Northern Italy). *Geol. J.* 41 (5), 591–612. <https://doi.org/10.1002/gj.1060>.
- Fernández, E., Grilli, A., Alvarez, D., Aravena, R., 2017. Evaluation of nitrate levels in groundwater under agricultural fields in two pilot areas in central Chile: a hydrogeological and geochemical approach. *Hydrol. Proc.* 31 (6), 1206–1224. <https://doi.org/10.1002/hyp.11103>.
- Giustini, F., Brilli, M., Patera, A., 2016. Mapping oxygen stable isotopes of precipitation in Italy. *J. Hydrol. Region. Stud.* 8, 162–181. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.04.001>.
- Green, C.T., Liao, L., Nolan, B.T., Juckem, P.F., Shope, C.L., Tesoriero, A.J., Jurgens, B.C., 2018. Regional variability of nitrate fluxes in the unsaturated zone and groundwater, Wisconsin, USA. *Water Resour. Res.* 54 (1), 301–322. <https://doi.org/10.1002/2017WR022012>.
- Greggio, N., Giambastiani, B.M.S., Campo, B., Dinelli, E., Amorosi, A., 2018. Sediment composition, provenance, and Holocene paleoenvironmental evolution of the Southern Po River coastal plain (Italy). *Geol. J.* 53 (3), 914–928. <https://doi.org/10.1002/gj.2934>.
- Griffioen, J., Vermooten, S., Janssen, G., 2013. Geochemical and palaeohydrological controls on the composition of shallow groundwater in the Netherlands. *Appl. Geochem.* 39, 129–149. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.10.005>.
- Horita, J., Rozanski, K., Cohen, S., 2008. Isotope effects in the evaporation of water: a status report of the Craig-Gordon model. *Isot. Environ. Health Stud.* 44 (1), 23–49. <https://doi.org/10.1080/10256010801887174>.
- Hosono, T., Tokunaga, T., Kagabu, M., Nakata, H., Orishikida, T., Lin, I.T., Shimada, J., 2013. The use of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ tracers with an understanding of groundwater flow dynamics for evaluating the origins and attenuation mechanisms of nitrate pollution. *Water Res.* 47 (8), 2661–2675. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.020>.
- Kaown, D., Koh, D.-C., Mayer, B., Lee, K.-K., 2009. Identification of nitrate and sulphate sources in groundwater using dual stable isotope approaches for an agricultural area with different land use (Chuncheon, mid-eastern Korea). *Agric. Ecosyst. Environ.* 132, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.004>.
- Kendall, C., Aravena, R., 2000. Nitrate isotopes in groundwater systems. In: Cook, P.G., Herczeg, A.L. (Eds.), *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*. Kluwer Academic Press, New York, pp. 261–297.
- Kendall, C., Elliott, E.M., Wankel, S.D., 2007. Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems. In: Lajtha, K., Michener, R.H. (Eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*, 2nd ed. Blackwell Publishing, London.
- Martinelli, G., Dadomo, A., De Luca, D.A., Mazzola, M., Lasagna, M., Pennisi, M., Pilla, G., Sacchi, E., Saccon, P., 2018. Nitrate sources, accumulation and reduction in groundwater from Northern Italy: insights provided by a nitrate and boron isotopic database. *Appl. Geochem.* 91, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.01.011>.
- Mastrocicco, M., Colombani, N., Palpacelli, S., Castaldelli, G., 2011. Large tank experiment on nitrate fate and transport: the role of hydraulic conductivity distribution. *Environ. Earth Sci.* 63 (5), 903–914. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0759-0>.
- Mastrocicco, M., Giambastiani, B.M.S., Colombani, N., 2013. Ammonium occurrence in a salinized lowland coastal aquifer (Ferrara, Italy). *Hydrol. Process.* 27 (24), 3495–3501. <https://doi.org/10.1002/hyp.9467>.
- Mastrocicco, M., Di Giuseppe, D., Vincenzi, F., Colombani, N., Castaldelli, G., 2017. Chlorate origin and fate in shallow groundwater below agricultural landscapes. *Environ. Pollut.* 231, 1453–1462. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.007>.
- Mayer, B., Krouse, H.R., 2004. *Procedures for sulphur isotope abundance studies. Handb. Stable Isotope Anal. Tech.*, pp. 538–596.
- Moncaster, S.J., Bottrell, S.H., Tellam, J.H., Lloyd, J.W., Konhauser, K.O., 2000. Migration and attenuation of agrochemical pollutants: insights from isotopic analysis of groundwater sulphate. *J. Cont. Hydrol.* 43 (2), 147–163. [https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(99\)00104-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(99)00104-7).
- Nowak, M., Schwab, V.F., Lazar, C.S., Behrendt, T., Kohlhepp, B., Totsche, K.U., Kirsten Küsel, K., Trumbore, S.E., 2017. Carbon isotopes of dissolved inorganic carbon reflect utilization of different carbon sources by microbial communities in two limestone aquifer assemblages. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21 (9), 4283–4300. <https://doi.org/10.5194/hess-21-4283-2017>.
- Oenema, O., van Liere, L., Schoumans, O., 2005. Effects of lowering nitrogen and phosphorus surpluses in agriculture on the quality of groundwater and surface water in the Netherlands. *J. Hydrol.* 304 (1–4), 289–301. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.07.044>.
- Paradis, D., Ballard, J.M., Lefebvre, R., Savard, M.M., 2018. Multi-scale nitrate transport in a sandstone aquifer system under intensive agriculture. *Hydrogeol. J.* 26 (2), 511–531. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1668-z>.
- Pauwels, H., Ayraud-Vergnaud, V., Aquilina, L., Molénat, J., 2010. The fate of nitrogen and sulfur in hard-rock aquifers as shown by sulphate-isotope tracing. *Appl. Geochem.* 25 (1), 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.11.001>.
- Puig, R., Soler, A., Widory, D., Mas-Pla, J., Domènech, C., Otero, N., 2017. Characterizing sources and natural attenuation of nitrate contamination in the Baix Ter aquifer system (NE Spain) using a multi-isotope approach. *Sci. Total Environ.* 580, 518–532. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.206>.
- Rivett, M.O., Buss, S.R., Morgan, P., Smith, J.W., Bemmet, C.D., 2008. Nitrate attenuation in groundwater: a review of biogeochemical controlling processes. *Water Res.* 42 (16), 4215–4232. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.07.020>.
- Ryabenko, E., Altabet, M.A., Wallace, D.W., 2009. Effect of chloride on the chemical conversion of nitrate to nitrous oxide for $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Limnol. Oceanogr.* 7, 545–552. <https://doi.org/10.4319/lom.2009.7.545>.
- Schloemer, S., Oest, J., Illing, C.J., Elbracht, J., Blumenberg, M., 2018. Spatial distribution and temporal variation of methane, ethane and propane background levels in shallow aquifers—a case study from Lower Saxony (Germany). *J. Hydrol. Region. Stud.* 19, 57–79. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.07.002>.
- Simpkins, W.W., Parkin, T.B., 1993. Hydrogeology and redox geochemistry of CH_4 in a late Wisconsinian till and loess sequence in central Iowa. *Water Resour. Res.* 29 (11), 3643–3657. <https://doi.org/10.1029/93WR01687>.
- Taylor, P.G., Townsend, A.R., 2010. Stoichiometric control of organic carbon–nitrate relationships from soils to the sea. *Nature* 464 (7292), 1178–1181. <https://doi.org/10.1038/nature08985>.
- van Everdingen, R.O., Asif Shakur, M., Michel, F.A., 1985. Oxygen- and sulfur-isotope geochemistry of acidic groundwater discharge in British Columbia, Yukon, and District of Mackenzie, Canada. *Can. J. Earth Sci.* 22, 1689–1695. <https://doi.org/10.1139/e85-177>.
- Vitória, L., Otero, N., Soler, A., Canals, À., 2004. Fertilizer characterization: isotopic data (N, S, O, C, and Sr). *Environ. Sci. Technol.* 38 (12), 3254–3262. <https://doi.org/10.1021/es0348187>.
- Wang, X.S., Jiao, J.J., Wang, Y., Cherry, J.A., Kuang, X., Liu, K., Lee, C., Gong, Z., 2013. Accumulation and transport of ammonium in aquitards in the Pearl River Delta (China) in the last 10,000 years: conceptual and numerical models. *Hydrogeol. J.* 21 (5), 961–976. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-0976-1>.
- Wu, J., Sun, Z., 2016. Evaluation of shallow groundwater contamination and associated human health risk in an alluvial plain impacted by agricultural and industrial activities, mid-west China. *Expo. Health* 8 (3), 311–329. <https://doi.org/10.1007/s12403-015-0170-x>.

- Yan, S., Liu, Y., Liu, C., Shi, L., Shang, J., Shan, H., Zachara, J., Fredrickson, J., Kennedy, D., Resch, C.T., Thompson, C., Fansler, S., 2016. Nitrate bioreduction in redox-variable low permeability sediments. *Sci. Total Environ.* 539, 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.122>.
- Zhang, Y.C., Slomp, C.P., Broers, H.P., Bostick, B., Passier, H.F., Böttcher, M.E., Omeregic, E.O., Lloyd, J.R., Poly, D.A., Van Cappellen, P., 2012. Isotopic and microbiological signatures of pyrite-driven denitrification in a sandy aquifer. *Chem. Geol.* 300, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.01.024>.
- Zhang, Y.C., Prommer, H., Broers, H.P., Slomp, C.P., Greskowiak, J., Van Der Grift, B., Van Cappellen, P., 2013. Model-based integration and analysis of biogeochemical and isotopic dynamics in a nitrate-polluted pyritic aquifer. *Environ. Sci. Technol.* 47 (18), 10415–10422. <https://doi.org/10.1021/es4023909>.



Effect of ebullition and groundwater temperature on estimated dinitrogen excess in contrasting agricultural environments

Micòl Mastrocicco^a, Elisa Soana^b, Nicolò Colombani^{c,*}, Fabio Vincenzi^b,
Simona Castaldi^a, Giuseppe Castaldelli^b

^a DISTABIF - Department of Environmental, Biological and Pharmaceutical Sciences and Technologies, Campania University "Luigi Vanvitelli", Via Vivaldi 43, 81100 Caserta, Italy

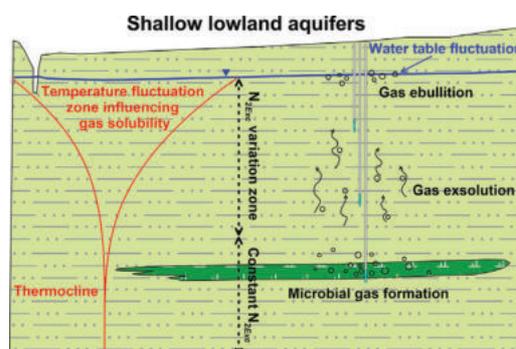
^b SVEB - Department of Life Sciences and Biotechnology, University of Ferrara, Via L. Borsari 46, 44121 Ferrara, Italy

^c SIMAU - Department of Materials, Environmental Sciences and Urban Planning, Polytechnic University of Marche, Via Breccia Bianche 12, 60131 Ancona, Italy

HIGHLIGHTS

- Seasonal variation of dissolved gasses induced by CO₂ N₂ CH₄ exsolution is reported.
- Large differences were found in 2 contrasting sites typical of lowland environments.
- Exsolution during water level declines may result in ebullition.
- Ebullition and GW temperature fluctuation could hamper the calculation of N₂ excess.
- Denitrification estimated by N₂ excess may be biased in shallow groundwater.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 May 2019

Received in revised form 10 July 2019

Accepted 26 July 2019

Available online 27 July 2019

Editor: Jurgen Mahlknecht

Keywords:

Dissolved gasses

Denitrification

Exsolution

Groundwater temperature

Gas partial pressure

ABSTRACT

Denitrification is a key microbial-mediated reaction buffering the impact of agriculturally-derived nitrate loads. Groundwater denitrification capacity is often assessed by measuring the magnitude and patterns of dinitrogen excess, although this method can be biased by dissolved gasses exsolution and ebullition. To address this issue, shallow groundwater was sampled in two field sites via nested mini-wells on a monthly basis over an entire hydrological year and analysed for dissolved gasses, nitrate and physical parameters. Both sites are located in lowland areas of the Po River basin (Italy) and are characterized by intensive agriculture. The GUA site, a freshwater paleo-river environment, with a low content of organic matter (SOM) and oxic sub-oxic groundwater. The BAN site, a reclaimed brackish swamp environment, with abundant SOM and sulphidic-methanogenic groundwater. Groundwater samples evidenced a general deficit of dinitrogen and Argon concentrations, because of ebullition induced by a total dissolved gasses pressure exceeding the hydrostatic pressure. Ebullition was recorded only during winter at the reclaimed brackish soil and was triggered by methane exsolution. While in summer both sites were affected by ebullition because of the water table drawdown. Denitrification evaluated using dinitrogen excess via dinitrogen-Argon ratio technique, was not only affected by gas exsolution, but also by groundwater temperature fluctuations. In fact, the latter induced large biases in the calculated N₂ excess even in the freshwater paleo-river environment. For these reasons, dinitrogen excess estimate with standard methods resulted to be unreliable in both lowland environments and a modified method is here presented to overcome this issue.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

* Corresponding author.

E-mail address: n.colombani@univpm.it (N. Colombani).

1. Introduction

In terrestrial ecosystems, denitrification, the microbial anaerobic respiration leading to reduction of nitrate (NO_3^-) or nitrite (NO_2^-) to gaseous N oxides and molecular N_2 , is frequently occurring in water saturated soils rich in SOM (Taylor and Townsend, 2010) and in particular of labile organic substrates which provide electron donors (Castaldelli et al., 2019; Castaldelli et al., 2013). These soils are easily characterized by hypoxic conditions and are most typical of poorly drained lowland environments (Vepraskas, 2015). Where lowland areas are used for agriculture only extensive ditching allows to increase the drainage to the point of creating suitable conditions for root growth of crops (Ward et al., 2018). In hydric soils of agricultural lands, denitrification can be measured in relatively shallow groundwater at significant depths below the rooting zone (Anderson et al., 2014; Starr and Gillham, 1993; Tesoriero et al., 2000), although at higher depth the lower availability of organic substrates might represent a limiting factor for denitrification activity (Chen et al., 2018; Mastrocicco et al., 2011b). At landscape level, the spatial and temporal variability of denitrification rates is mainly dependent on the soil texture, the agricultural practices and climatic factors (Aguilera et al., 2013; Barakat et al., 2016). However, where agricultural soils are characterized by shallow aquifers, the seasonal trend of denitrification activity and the key drivers of such trends are not yet accurately characterized.

Reduced gaseous compounds like N_2 , CO_2 , H_2S and CH_4 are among the main products of anaerobic decomposition of organic matter, which is carried out by many different facultative and obliged anaerobic microorganisms, including denitrifiers (Anderson et al., 2014; Rivett et al., 2008). The general order of production in anaerobic conditions is generally following the Gibbs free energy (Chapelle et al., 1995): N_2 from denitrification, CO_2 from manganese and iron reduction, H_2S from sulphate reduction, CH_4 from CO_2 reduction and/or acetate fermentation. These gasses usually accumulate in groundwater along the soil profile and might be degassed into the atmosphere at significant rates when the water table drops, as the reduction of in pore pressure lowers dissolved gasses solubility and results in exsolution (Fortuin and Willemssen, 2005). Then, the total gas pressure may increase above the hydrostatic pressure and the vertical transport of gas bubbles driven by buoyancy forces may occur. This phenomenon, known as ebullition (Amos and Mayer, 2006), can have important implications on gas transport to the atmosphere from aquifers and within the aquifer and the unsaturated zone.

Denitrification capacity in groundwater is often assessed by measuring the magnitude and patterns of groundwater N_2 excess, i.e. biogenic N_2 water concentration, in excess of atmospheric equilibrium (Denver et al., 2014; Fox et al., 2014; Vogel et al., 1981; Weymann et al., 2008). Since now the approach followed to calculate N_2 excess is to use a constant groundwater temperature, but this assumption is hardly verified when the water table is shallow (Colombani et al., 2016a; Kurylyk et al., 2014). Moreover, there is not clear evidence if this approach can be considered reliable over an entire hydrological year or might pose problems of interpretation when the water table fluctuations and the consequent changes in dissolved gas partial pressure alter the gas/groundwater equilibrium.

To fill this knowledge gap, dissolved gasses were monitored monthly during a whole hydrological year in two areas characterized by soils with contrasting textures and content of SOM. The main objectives of the study were: i) to verify whether denitrification can be accurately estimated in shallow aquifers of agricultural soils by simply monitoring N_2 excess; ii) to evaluate the influence of key environmental parameters like temperature, water table elevation, biogeochemical conditions and reactions, on the variability of dissolved gasses concentration in groundwater.

2. Material and methods

2.1. Study sites

The two field sites are located in the Po Delta, the lowest territory of the Po River watershed (5 m to -3 m a.s.l.). The GUA site, located at

$44^\circ 47' 42'' \text{N}$ and $11^\circ 42' 22'' \text{E}$ (Fig. 1), pertains to a freshwater paleo-river environment characterized by a moderately alkaline silty-loam soil (Hypocalcic Haplic Calcisols), with upper horizons characterized by silty clay loamy texture and lower horizons by calcareous silty loamy texture. The BAN site, located at $44^\circ 39' 32'' \text{N}$ and $11^\circ 52' 14'' \text{E}$ (Fig. 1), is part of a reclaimed brackish swamp area, characterized by a silty-clay soil (Calcaric Gleyic Cambisols), moderately alkaline, with silty clay or clay loamy textures and peaty lenses at depths of 2.0–2.5 m below ground level (b.g.l.).

Both sites are cultivated with a rotation of wheat and maize, while only occasionally with beetroot and sorghum. Each site receives a N fertilization based on NPK mineral fertilizers, NH_4NO_3 and/or synthetic urea, in different combinations and for a total amount of about 160 kg N/ha/y and 240 kg N/ha/y, for wheat and maize respectively. These rates are lower than most of the intensive agricultural cultivations in Northern Italy, since this area is classified as vulnerable to NO_3^- following the enactment of the European Water Framework Directive (2000/60/CE). In November 2016 both sites were equipped with a series (4 replicates) of multi-level samplers (MLS), i.e. three PVC nested mini-wells with an internal diameter of 2 cm, filled in the last 20 cm with a 50 μm Nitex mesh, placed just below the maximum water table elevation and at -1 m and -2 m below the latter.

The sites were selected since they are representative of the most common environments of the Po River lowland with >60% of the territory covered by these soil textures (Mastrocicco et al., 2010). The area, which accounts for >1000 km^2 , has been intensively cultivated since the last century because of its flat topography and the large surface water availability. Despite many information existing on the most important hydrogeological mechanisms regulating the aquifers and microbial processes affecting NO_3^- fate and transport in groundwater (Caschetto et al., 2017; Mastrocicco et al., 2017; Mastrocicco et al., 2011a; Sacchi et al., 2013), there is still a limited comprehension of the role of denitrification in attenuating NO_3^- pollution in these shallow aquifers.

2.2. Sampling and analytical methods

Groundwater samples were collected from the MLS monthly, over an entire hydrological year starting from 10 January 2017. Groundwater sampling was performed with a low flow inertial pump to avoid dissolved gasses stripping. At all sampling events, temperature, electric conductivity (EC), dissolved oxygen, pH and oxygen reduction potential (ORP) were also measured using a portable HANNA Instr. Probes.

To estimate the hydraulic conductivity (K) variability, slug tests were performed in all the piezometers with a pneumatic initiation system to instantaneously lower the static groundwater level of approximately 0.5 m. All the acquired slug test responses were analysed using the Bouwer and Rice method (Bouwer and Rice, 1976). The hydrostatic pressure at the screened depth of each piezometer was calculated from the pressure head (meters of water column above the piezometer screen, which was converted into barometric pressure).

A total of 185 samples were analysed for dissolved N_2 , Ar, CO_2 , H_2S , CH_4 . Samples for Ar, N_2 and CH_4 determinations were collected by overflowing at least 3 times 12-mL gas-tight glass vials (Exetainer®, Labco, High Wycombe, UK) and preserved by adding 100 μL of 7 M ZnCl_2 solution. Water samples were analysed at the laboratory of Aquatic Ecology, University of Ferrara, by MIMS-Membrane Inlet Mass Spectrometry (Bay Instruments, USA; Kana et al., 1994), a PrismaPlus quadrupole mass spectrometer with an inline furnace operating at 600°C to allow for O_2 removal. The CH_4 , N_2 and Ar concentrations were quantified by the ion current detected at m/z ratios of 15, 28, and 40, respectively. The primary standard for MIMS analyses is de-ionized water maintained at a constant temperature (20°C) in a circulating bath with headspace at 100% relative humidity and equilibrated to atmospheric gasses by low stirring. The ion currents were standardized by applying the gas solubility equations of Weiss (1970) and the

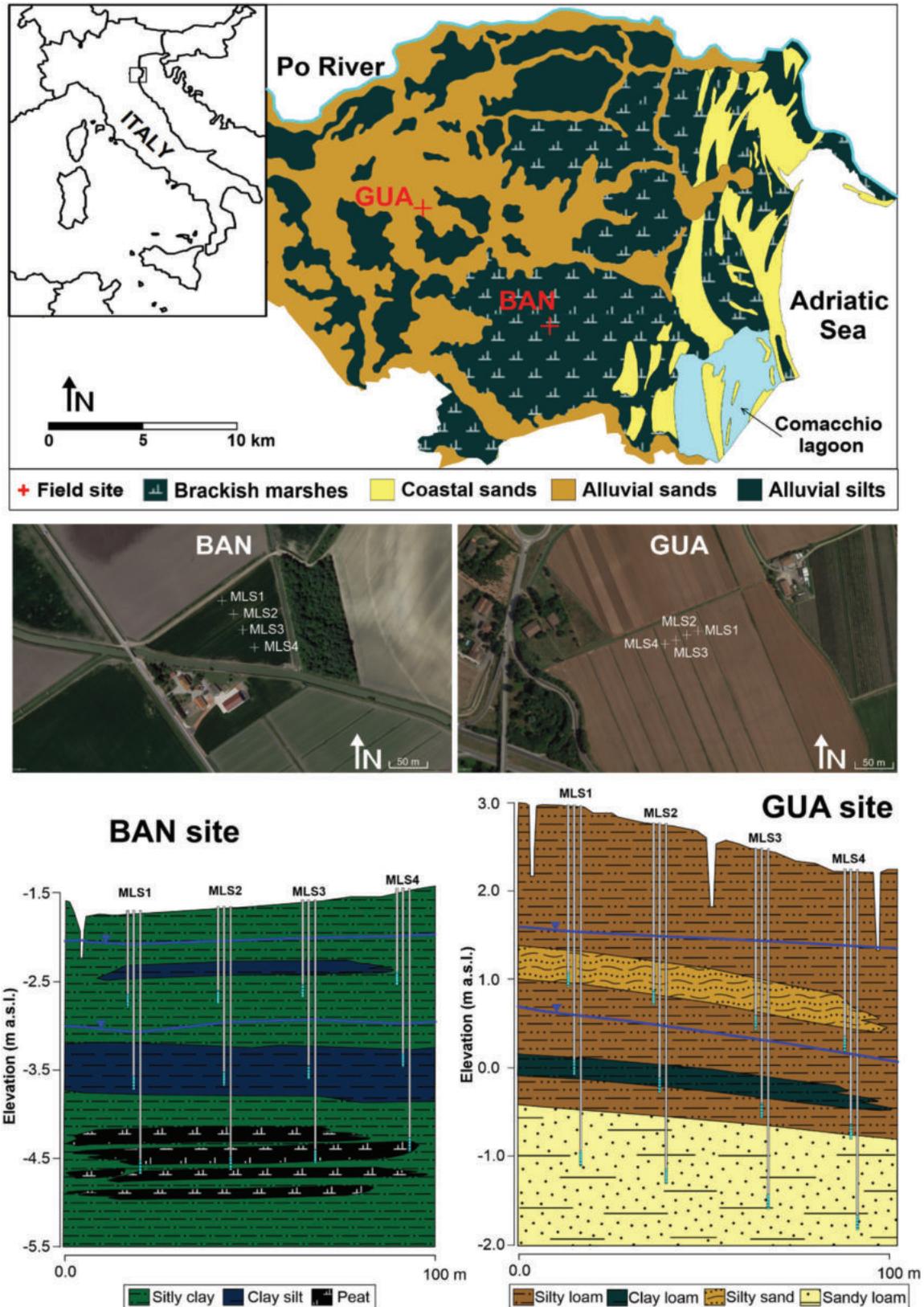


Fig. 1. The upper panel shows the location of the two field sites with their soil texture. The middle panel shows the satellite images of both sites with the location of MLSs. The lower panel shows the hydrogeological profiles along the MLSs' location, the major lenses and the minimum and maximum water table position during the monitoring period (blue lines). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

instrument drift was corrected by measuring thermally equilibrated water every six samples. Due to the very low concentration in air, a separate standard procedure for CH₄ was used following the headspace

equilibration technique. Standards were prepared by injecting known amounts of pure gas (>99.0%, Sigma Aldrich) into the headspace of 12-mL gas-tight glass vials filled with de-ionized water. Prior to MIMS



DESCRIZIONE
ATTIVITA' FONDAZIONE PER
L'AGRICOLTURA FRATELLI
NAVARRA



Università
degli Studi
di Ferrara

SEGUE L'ELENCO DEI PRINCIPALI RISULTATI ANALITICI DELLA AZIONE 3 – MONITORAGGIO DELLE TRASFORMAZIONE E DEL TRASPORTO DELL'AZOTO

Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di sviluppo 2014-2020 – Tipo di operazione 16.1.01 – Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione: "produttività dell'agricoltura" – Focus Area 4B



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

Temperatura (°C) a varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
Temperatura (°C)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			9.7		9.8		9.8	9.8		10.9	10.9			9.4		10.2
15/02/17	10.0		10.2		10.4	10.0	10.9	11.6	10.0	11.1	11.2	10.3		11.1		11.2
14/03/17	13.7		13.2		11.6	13.4	13.7	13.0	13.0	11.8	11.8	13.3		12.9		12.8
11/05/17	15.2		15.0		14.6	14.4	14.1	14.0	15.7	14.8	14.5	15.3		14.5		15.4
13/06/17			18.4		16.7		17.8	15.7		17.3	15.9			17.3		17.0
11/07/17			18.6		17.1		19.0	17.4		18.6	18.4			20.0		17.7
26/09/17			19.1		18.2		19.6	18.4		18.3	17.7			21.3		19.8
02/11/17			16.0		16.0		16.3	16.3		16.3	16.6			16.6		16.6
13/12/17	11.9		12.5		12.3	11.2	12.9	12.7	12.1	14.3	12.7	12.0		12.8		12.5
30/01/18	10.3		11.8		12.6	9.6	11.5	11.7	10.5	11.2	11.4	10.4		11.2		12.0
24/05/18	17.8	15.8	16.5	16.4	14.6	18.1	15.8	17.3	16.5	15.0	16.6	17.0	15.5	15.0	16.3	16.5
06/09/18		23.5	22.8	21.3	21.0		21.0	18.9		21.6	21.1		23.7	22.0	22.0	22.1
15/11/18	16.2	16.5	16.7	16.6	16.7	16.4	16.3	16.8	16.3	16.6	16.6	16.1	16.2	16.5	16.6	16.3
07/02/19	8.1	8.8	9.7	11.3	11.5	7.9	8.7	9.0	9.0	9.0	10.4	7.6	8.2	9.2	10.2	12.2
10/04/19	13.2	12.3	13.4	13.1	13.1	13.0	12.4	12.4	14.1	13.5	13.8	12.4	12.7	12.8	12.4	13.2
10/06/19	15.6	15.7	14.3	14.2	15.7	16.4	15.2	15.6	15.6	14.5	15.2	16.0	15.6	15.3	15.9	15.7
01/10/19	19.6	19.0	18.9	18.9	19.0	20.1	19.3	18.4	19.8	19.0	19.4	19.4	18.9	18.8	19.2	19.4

Temperatura (°C) a varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Temperatura (°C)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	8.0		8.0		9.5	5.6	7.5	8.5		7.5	9.0			8.4		9.9
15/02/17	8.5		9.8		10.8	8.7	8.8	10.8	9.4	9.8	10.0	10.4		10.6		11.5
14/03/17	12.2		11.6		11.0	9.6	11.3	11.0	10.8	10.5	10.0			12.4		13.0
11/05/17			14.2		15.5		15.0	14.2		14.2	13.8			14.5		15.9
13/06/17			19.0		17.5		18.5	18.6		19.2	18.7			20.0		16.8
11/07/17			20.2		18.4		21.0	19.8		20.0	19.0			19.1		18.4
26/09/17			20.3		19.0		20.3	20.0		20.1	19.8			19.8		19.1
02/11/17			16.8		16.9		17.4	17.4		17.5	17.3			16.9		16.9
13/12/17	9.8		11.8		12.7	9.8	12.0	13.2	9.9	11.5	12.4	9.9		11.8		13.3
30/01/18			9.3		12.2		9.6	10.9		9.2	11.4			9.3		10.8
24/05/18	18.9	17.2	17.1	15.0	17.5	19.2	18.0	16.5	20.4	16.9	16.1	17.7	16.8	16.4	16.0	15.2
06/09/18		22.9	22.3	20.7	19.7		21.4	20.8		21.5	19.9		22.6	21.4	21.7	22.1
15/11/18		16.9	16.7	16.7	17.1		17.1	17.3		17.0	17.0		16.5	16.9	17.0	16.9
07/02/19	7.8	8.2	8.9	10.8	10.7		8.9	10.5	9.9	9.4	11.6		8.5	9.5	10.3	11.3
10/04/19		12.0	12.3	13.0	12.6		12.3	12.4		12.4	12.8		13.9	12.9	13.0	13.4
10/06/19		16.0	15.6	15.6	15.7		15.5	14.5		15.9	16.6		18.1	16.9	16.9	16.7

Conducibilità specifica (mS/cm) a varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
Conducibilità specifica (mS/cm)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			1.32		3.10		3.30	4.30		2.60	4.50			2.80		3.75
15/02/17	1.00		1.40		3.10	3.70	4.50	4.20	1.40	2.20	3.40	1.20		2.50		3.90
14/03/17	1.10		1.10		2.30	3.60	4.20	4.00	1.60	2.00	1.90	1.30		2.20		3.70
11/05/17	1.54		1.35		3.05	3.72	4.63	4.34	1.70	2.00	2.40	2.05		2.43		4.20
13/06/17			1.30		2.70		4.30	3.80		2.20	2.20			2.20		3.80
11/07/17			1.00		2.90		4.80	3.90		2.40	2.70			2.40		4.10
26/09/17			1.50		3.10		5.25	4.20		2.40	4.10			2.50		3.80
02/11/17			1.62		3.07		4.80	4.10		2.72	4.26			2.66		4.26
13/12/17	1.20		1.30		2.70	3.30	4.80	4.00	1.70	2.40	1.70	1.50		2.30		1.10
06/09/18		1.22	1.40	1.65	1.16		4.24	1.45		2.10	2.70		1.10	1.20	1.70	1.30
24/05/18	1.73	2.32	0.72	4.65	1.62	1.20	1.12	1.44	1.12	1.87	1.05	1.12	2.02	2.40	0.91	0.88
06/09/18	0.91	0.87	1.15	1.15	1.15	0.90	0.89	0.92	0.81	0.76	0.80	0.63	0.62	0.64	0.82	0.78
15/11/18	1.02	1.21	1.47	1.79	1.86	1.60	4.00	3.10	1.27	2.24	4.12	1.20	1.20	2.23	2.35	2.10
07/02/19	2.06	1.12	1.18	1.45	0.86	1.31	3.75	1.91	1.35	1.78	1.14	0.64	0.74	1.72	1.93	2.37
10/04/19	0.93	0.97	1.12	1.37	1.45	1.37	3.36	1.39	1.38	1.38	1.53	0.94	0.83	1.42	1.79	1.89
10/06/19	0.92	0.94	1.13	1.34	0.88	0.93	3.37	1.38	1.25	1.74	1.32	1.02	0.75	1.82	1.79	1.03
01/10/19	1.07	1.02	1.14	1.35	2.08	1.71	2.43	2.48	1.41	1.81	1.42	1.30	1.58	1.89	1.32	1.24

Conducibilità specifica (mS/cm) a varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Conducibilità specifica (mS/cm)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	2.20		3.50		5.30	2.60	4.10	4.90		2.60	6.00			3.80		4.30
15/02/17	1.80		3.80		6.10	2.90	4.90	6.50	1.50	4.60	6.30	1.50		3.60		4.40
14/03/17	2.20		3.70		6.60	2.60	4.90	7.00	1.60	4.50	6.20			3.00		4.50
11/05/17			4.00		6.70		4.90	6.90		4.70	6.40			3.50		5.00
13/06/17			3.70		6.70		4.60	6.80		4.70	6.40			4.00		4.70
11/07/17			3.20		6.70		5.00	5.90		3.90	6.20			4.00		4.90
26/09/17			3.50		7.00		4.80	7.30		4.60	6.60			3.50		5.00
02/11/17			3.99		6.96		5.36	7.76		4.93	7.13			3.80		5.37
13/12/17	1.90		3.70		6.80	2.50	4.30	7.50	1.20	4.70	7.00			3.00		5.30
30/01/18																
24/05/18																
06/09/18		1.90	3.50	6.50	7.00		4.90	7.50		4.10	7.00		1.90	2.80	1.90	5.20
15/11/18		2.00	3.60	4.70	7.10		5.70	7.60		4.30	6.80		1.70	2.70	4.10	5.10
07/02/19	0.84	1.72	3.30	4.26	5.75		4.24	5.96	1.18	3.45	5.70		1.03	2.25	3.71	4.41
10/04/19		2.00	3.33	3.82	5.84		3.86	5.00	3.40	3.40	5.47		1.49	2.06	3.65	4.16
10/06/19		1.39	2.99	4.33	5.54		4.10	6.12		3.26	5.71		1.48	2.19	3.46	4.37

Potenziale redox (mV) a varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
Potenziale redox (mV)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			190		177		150	130		160	160			150		156
15/02/17	190		110		40	170	200	230	160	130	100	170		130		10
14/03/17	180		180		0	2	2	1	-15	130	-10	110		180		-9
11/05/17	88		-161		-120	135	87	-14	150	151	80	146		36		-103
13/06/17			-78		-79		25	-33		-70	15			15		-42
11/07/17			-130		-88		-171	-171		-93	-68			-27		-84
26/09/17			-82		-185		-50	-120		-108	-125			-6		-80
02/11/17			37		-80		50	-70		41	-67			78		-61
13/12/17	131		120		125	128	134	113	153	100	142	150		160		138
30/01/18	146		165		189	156	171	153	69	118	-4	188		201		10
24/05/18	139	-40	156	-94	-34	142	30	77	140	147	-27	102	103	98	96	132
06/09/18		-152	30	-195	-14		-58	104		49	-32		-64	45	47	72
15/11/18	-366	-393	-424	-410	-373	104	-60	-70	122	106	-91	50	70	90	-410	5
07/02/19	189	205	183	203	239	136	150	181	131	183	195	155	224	202	157	-35
10/04/19	201	176	190	104	204	180	132	186	179	176	148	173	150	173	104	102
10/06/19	174	182	170	61	204	194	104	125	165	107	191	193	222	188	-43	168
01/10/19	62	-12	71	-143	-27	123	119	-12	137	-152	-136	116	-57	-40	-115	110

Potenziale redox (mV) a varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Potenziale redox (mV)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	150		200		-260	75	50	-230		55	-210			75		50
15/02/17	70		-150		-300	0	-170	-260	-20	-40	-170	150		100		100
14/03/17	40		-4		-230	-160	-186	-240	-70	-120	-230			-170		-100
11/05/17			-220		-330		-230	-310		-170	-310			-70		-200
13/06/17			-136		-321		-276	-300		-120	-300			-160		-199
11/07/17			-141		-332		-286	-321		-182	-273			-157		-280
26/09/17			-170		-330		-280	-310		-145	-305			-130		-260
02/11/17			-51		-306		-282	-318		-109	-312			-157		-278
13/12/17	74		130		-280	4	15	-279	-83	60	-245			74		-259
30/01/18			56		-210		-140	-260		-70	-200			-20		-35
24/05/18	46	-26	-156	-332	-305	-170	-306	-303	-130	-125	-301	50	-24	-68	-155	-289
06/09/18		11	-572	-348	-334		-293	-321		-162	-317		-102	-229	-273	-309
15/11/18		15	-140	-242	-320		-290	-350		-168	-300		-110	-200	-253	-288
07/02/19	204	119	135	-239	-286		-234	-281	31	32	-234		103	-109	-243	74
10/04/19		37	-213	-305	-320		-300	-309		189	-294		98	-245	-297	-269
10/06/19		35	-29	-295	-300		-281	-325		-169	-255		-100	-215	-293	-297

pH a varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
pH																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			7.68		7.40		6.50	7.10		7.45	7.15			7.50		7.20
15/02/17	7.70		7.50		7.20	7.00	6.50	7.00	7.60	7.40	7.30	7.80		7.60		7.20
14/03/17	7.87		7.90		5.55	8.30	7.80	7.60	7.50	7.50	7.60	7.60		7.60		7.30
11/05/17	7.80		7.80		7.00	6.90	7.10	6.80	8.00	7.70	7.40	7.70		7.50		6.80
13/06/17			7.50		6.90		6.63	6.50		7.40	7.42			7.34		6.90
11/07/17			7.60		6.87		6.70	6.70		7.12	6.88			7.24		6.67
26/09/17			7.51		7.00		6.40	6.78		7.38	6.88			7.27		6.88
02/11/17			7.37		6.90		6.36	6.44		7.08	6.57			6.96		6.51
13/12/17	7.37		7.20		7.02	6.15	6.36	6.38	7.30	7.11	7.45	5.55		7.20		7.47
30/01/18	7.38		7.28		7.05	6.00	6.35	6.67	7.16	7.10	6.70	7.38		7.29		6.66
24/05/18	7.70	7.66	7.52	7.42	7.00	6.99	6.72	7.33	7.82	7.50	7.02	7.74	7.85	7.70	7.33	7.44
06/09/18		7.75	7.70	7.51	7.55		7.43	7.70		7.58	7.00		7.75	7.60	7.48	7.50
15/11/18	7.58	7.00	7.48	7.39	7.15	6.39	6.40	6.54	7.01	7.06	7.25	7.12	7.69	7.54	7.23	7.11
07/02/19	7.04	7.44	7.54	7.47	7.30	6.50	6.70	6.96	7.35	7.37	7.47	7.71	7.60	7.35	7.35	6.92
10/04/19	7.54	7.61	7.57	7.44	7.38	6.67	6.95	7.24	7.77	7.67	7.73	7.66	7.62	7.52	7.48	7.36
10/06/19	7.58	7.47	7.36	7.17	7.22	7.75	7.20	7.25	7.32	7.10	7.20	7.59	7.38	7.02	7.36	7.46
01/10/19	7.42	7.41	7.37	7.24	7.02	6.60	6.90	6.74	7.52	7.21	7.31	7.50	7.43	7.28	7.30	7.33

pH a varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
pH																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	8.13		7.50		7.20	7.85	7.50	7.20		7.60	7.00			7.70		7.30
15/02/17	7.70		7.30		7.20	7.40	7.30	7.20	7.80	7.50	7.30	7.80		7.80		7.60
14/03/17	7.90		7.70		7.40	7.90	7.80	7.10	7.70	7.40	7.40			7.60		7.30
11/05/17			7.00		7.12		7.00	7.10		6.90	7.50			7.20		7.60
13/06/17			6.80		6.81		7.70	7.20		6.90	6.82			7.20		6.30
11/07/17			6.76		6.86		6.75	7.07		6.52	6.81			7.14		7.00
26/09/17			6.90		6.73		7.50	7.06		7.50	6.99			7.90		7.44
02/11/17			6.73		6.89		6.96	6.92		7.13	6.73			7.23		7.00
13/12/17	7.41		7.00		6.98	7.86	7.54	7.17	7.96	7.30	7.22	8.36		7.64		7.29
30/01/18			7.26		7.13		7.70	7.20		7.50	7.21			7.42		7.31
24/05/18	7.51	7.13	6.75	6.88	7.07	8.00	7.08	7.13	8.08	7.04	6.89	8.10	8.04	7.17	7.17	7.01
06/09/18		6.63	6.71	7.00	7.02		6.92	7.05		7.00	7.01		7.30	6.86	7.07	7.08
15/11/18		7.04	6.81	7.21	7.01		6.88	6.97		6.90	6.90		7.09	6.87	6.97	7.04
07/02/19	7.80	7.29	7.06	6.96	7.24		7.40	7.43	7.84	7.27	7.03		8.12	7.01	7.31	7.67
10/04/19		6.77	6.60	6.89	7.08		7.01	7.15	6.69	6.97			7.91	7.35	7.06	7.40
10/06/19		7.21	76.51	6.04	6.68		6.50	6.57		6.99	6.52		7.17	6.35	6.62	6.75

Dotazione di azoto ammoniacale (mg-N/l) alle varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Fondazione Navarra																
Azoto ammoniacale - NH ₄ ⁺ (mg-N/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			0.04		1.40		0.62	1.90		0.08	4.03			0.10		3.43
15/02/17	0.07		0.01		1.36	0.09	0.30	1.92	0.38	0.02	3.10	0.29		0.30		4.73
14/03/17	0.12		0.14		1.64	0.06	0.08	2.41	0.18	0.01	6.27	0.06		0.04		5.53
11/05/17	0.39		0.37		1.56	0.16	0.18	2.39	0.13	0.10	2.26	0.08		0.17		5.55
13/06/17			0.16		2.06		0.14	2.96		0.29	2.00			0.22		6.77
11/07/17			0.34		2.24		0.28	3.06		0.28	2.99			0.32		6.73
26/09/17			0.30		2.64		0.47	3.78		0.23	8.56			0.19		6.98
02/11/17			0.12		1.73		0.29	2.65		0.28	8.03			0.23		6.82
13/12/17	0.15		0.09		1.96	0.09	0.06	2.98	0.26	0.18	0.79	0.28		0.12		0.12
30/01/18	0.26		0.14		1.87		0.20	3.06	0.04	0.25	8.83	0.11		0.18		5.73
24/05/18	0.83	3.08	2.61	5.88	20.23	2.33	6.50	1.74	0.85	1.07	3.73	2.79	1.98	1.17	4.16	1.72
06/09/18	0.06	0.20	0.06	0.48	0.16	0.16	0.83	0.68	0.22	0.20	3.38	0.11	0.17	0.09	0.21	0.55
15/11/18	0.03	0.00	0.09	0.49	0.32	0.12	0.51	1.34	0.19	0.08	1.29	0.17	0.05	0.16	0.28	1.45
07/02/19	0.93	0.03	0.89	0.85	0.86	0.97	0.88	0.94	1.06	0.83	0.85	0.89	0.85	0.86	0.81	3.34
10/04/19	0.01	0.05	0.00	0.02	0.37	0.05	0.28	0.73	0.10	0.03	1.71	0.03	0.14	0.05	0.36	2.35
10/06/19	0.07	0.05	0.04	0.48	0.25	0.05	0.25	0.15	0.08	0.09	0.16	0.05	0.04	0.13	0.75	0.30
01/10/19	0.06	0.03	0.03	0.64	1.04	0.09	0.00	0.10	0.07	0.18	0.12	0.23	0.03	0.49	0.53	0.13

Dotazione di azoto ammoniacale (mg-N/l) alle varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Azoto ammoniacale - NH ₄ ⁺ (mg-N/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	0.12		3.17		15.23	0.57	8.02	11.60		1.33	14.07			0.70		5.27
15/02/17	0.26		5.06		16.87	1.27	8.98	19.60	0.77	5.58	17.05	0.95		1.88		7.06
14/03/17	0.05		8.91		11.80	0.79	6.37	16.24	0.71	6.14	17.77			2.53		5.76
11/05/17					1.46		12.61	4.53		8.68	11.88			3.24		8.40
13/06/17			7.12		16.27		11.49	21.31		7.73	20.06			6.89		9.14
11/07/17			10.41		22.31		10.85	20.19		8.29	19.53			0.01		0.01
26/09/17			10.52		23.65		10.03	21.47		6.77	16.60			2.60		10.23
02/11/17			8.82		23.12		11.97	21.14		6.56	19.52			3.46		10.91
13/12/17	0.17		4.04		11.32	0.47	7.35	10.61	0.70	1.16	10.06	0.77		0.22		6.27
30/01/18			1.90		13.19		6.57	6.72		1.31	10.97			0.48		7.06
24/05/18	0.26	1.20	8.22	23.10	24.78	1.48	6.71	22.91	1.32	4.52	21.42	1.76	0.67	1.32	3.64	8.34
06/09/18	42.62	2.26	6.27	20.39	14.22	51.13	9.39	7.97	45.73	5.57	10.44	50.89	4.43	2.48	2.67	9.68
15/11/18		2.54	9.09	11.54	17.16		10.68	22.05		6.88	16.29		2.22	2.22	7.64	10.47
07/02/19	0.89	2.36	2.36	14.41	18.97		13.45	10.20	1.45	0.80	15.29		1.19	0.82	7.46	10.29
10/04/19		2.17	6.90	13.31	9.48		8.63	22.73		6.39	15.56		2.32	2.23	9.01	11.17
10/06/19		1.39	9.22	13.02	18.70		10.02	94.25		3.68	18.51		1.01	2.13	5.82	9.71

Dotazione di azoto nitroso (mg-N/l) alle varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
Azoto nitroso - NO ₂ ⁻ (mg-N/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			0.01		0.01		0.04	0.02		0.00	0.04			0.01		0.00
15/02/17	0.00		0.00		0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01		0.08		0.01
14/03/17	0.01		0.00		0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.06	0.03	0.01		0.21		0.07
11/05/17	0.02	0.00	0.01	0.47	0.03	0.07	0.04	0.00		0.02		0.00	0.04	0.02	0.07	
13/06/17			0.01		0.00		0.01	0.00		0.01	0.06			0.00		0.02
11/07/17			0.01		0.01		0.01	0.00		0.03	0.01			0.02		0.01
26/09/17			0.42		0.01		0.02	0.00		0.02	0.02			0.02		0.11
02/11/17			0.00		0.02		0.01	0.02		0.00	0.03			0.00		0.01
13/12/17	0.00		0.00		0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02		0.00		0.01
30/01/18	0.00		0.00		0.02		0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00		0.00		0.01
24/05/18	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	0.10	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.06	1.21	0.26	1.21	0.22
06/09/18	0.03	0.03	0.06	0.02	0.03	0.06	0.08	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	1.20	0.20
15/11/18	0.03	0.02	0.22	0.02	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01
07/02/19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
10/04/19	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03	0.08	0.87	0.02	0.04	0.03	0.80	0.15	0.15	0.02	0.26	2.17
10/06/19	0.04	0.03	0.10	0.06	0.28	0.07	0.53	0.21	0.08	0.02	0.19	0.06	0.02	0.04	0.02	0.38
01/10/19	0.03	0.12	0.17	0.08	0.08	0.21	0.23	0.07	0.02	0.01	0.04	0.10	0.02	0.01	0.02	0.03

Dotazione di azoto nitroso (mg-N/l) alle varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Azoto nitroso - NO ₂ ⁻ (mg-N/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	0.02		0.52		0.03	0.32	0.42	0.02		0.05	0.02			0.03		0.02
15/02/17	0.03		0.09		0.01	0.28	0.03	0.03	0.06	0.02	0.01	0.02		0.00		0.01
14/03/17	0.17		0.01		0.00	0.06	0.01	0.02	0.29	0.03	0.01			0.02		0.01
11/05/17					0.02		0.09	0.03		0.07	0.02			0.02		0.01
13/06/17			0.07		0.03		0.07	0.02		0.12	0.02			0.05		0.04
11/07/17			0.06		0.01		0.02	0.02		0.06	0.01			0.04		0.02
26/09/17			0.05		0.01		0.01	0.00		0.02	0.01			0.05		0.01
02/11/17			0.02		0.01		0.01	0.01		0.01	0.00			0.02		0.00
13/12/17	0.01		0.05		0.01	0.13	0.04	0.00	0.01	0.16	0.01	0.32		0.04		0.01
30/01/18			0.09		0.01		0.06	0.01		0.10	0.02			0.01		0.01
24/05/18	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.05	0.02	0.03	0.08	0.03	0.02	0.28	0.18	0.07	0.70	0.11
06/09/18	0.93	0.08	0.05	0.06	0.02	0.94	0.01	0.02	0.94	0.06	0.02	0.94	0.09	0.02	0.01	0.02
15/11/18		0.04	0.06	0.03	0.04		0.01	0.02		0.02	0.03		0.06	0.03	0.02	0.02
07/02/19	0.04	0.02	0.05	0.03	0.01		0.03	0.03	0.05	0.03	0.02		0.04	0.03	0.06	0.02
10/04/19		0.06	0.11	0.15	0.01		0.03	0.03		0.07	0.02		0.12	0.06	0.10	0.03
10/06/19		0.07	0.04	0.07	0.04		0.04	0.02		0.05	0.02		0.12	0.07	0.21	0.06

Dotazione di azoto nitrico (mg-N/l) alle varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
Azoto nitrico - NO ₃ ⁻ (mg-N/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			0.15		0.27		0.37	0.29		0.53	0.47			0.21		0.17
15/02/17	8.78		0.68		0.24	2.32	0.23	0.42	2.55	0.69	0.83	1.45		0.55		0.34
14/03/17	1.62		0.17		0.03	1.79	0.26	0.19	0.93	0.12	0.10	1.08		0.24		0.05
11/05/17	0.36		0.13		0.29	1.07	0.29	0.10	0.47	0.06	0.25	1.30		0.07		0.03
13/06/17			0.11		0.06		0.23	0.13		0.08	0.24			0.04		0.06
11/07/17			0.12		0.08		0.28	0.07		0.06	0.08			0.10		0.10
26/09/17			0.36		0.10		0.19	0.07		0.14	0.10			0.19		0.30
02/11/17			0.21		0.15		0.45	0.10		0.12	0.16			0.11		0.14
13/12/17	1.22		0.15		0.19	1.37	0.31	0.05	2.77	0.36	4.63	18.86		0.81		21.69
30/01/18	0.41		0.21		0.11		0.47	0.10	1.28	0.25	4.13	7.83		0.44		3.61
24/05/18	11.64	0.44	2.09	0.22	0.36	10.23	0.89	37.69	7.13	0.53	1.41	16.01	12.22	9.80	8.58	15.62
06/09/18	10.13	1.27	4.51	0.56	42.31	2.23	0.68	27.63	2.38	0.38	0.51	9.07	9.45	8.73	7.38	14.74
15/11/18	19.20	8.47	3.79	0.40	15.13		3.37	10.02	37.10	1.73	5.96	24.56	54.48	6.80	1.33	16.49
07/02/19	35.69	8.81	3.73	0.67	48.86	90.02	2.02	79.02	11.84	1.27	15.52	15.55	38.13	5.83	0.80	19.03
10/04/19	4.36	2.78	1.38	0.29	25.75	72.84	3.10	57.47	2.26	0.00	2.18	4.28	4.51	2.16	0.29	3.52
10/06/19	12.84	16.24	0.87	0.33	45.28	102.38	3.12	53.29	8.38	0.29	0.55	15.12	34.30	3.32	0.36	23.27
01/10/19	0.33	12.08	5.87	0.20	0.31	14.07	7.13	0.77	5.87	0.20	0.31	14.07	7.13	0.77	0.33	12.08

Dotazione di azoto nitrico (mg-N/l) alle varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Azoto nitrico - NO ₃ ⁻ (mg-N/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	12.65		4.34		0.21	8.91	0.61	0.23		3.57	0.22			2.31		0.14
15/02/17	35.73		3.45		0.47	5.75	0.28	0.07	30.53	1.41	0.15	30.86		2.28		0.26
14/03/17	11.95		0.23		0.07	1.16	0.04	0.05	27.09	0.11	0.39			0.08		0.04
11/05/17					0.01		0.24	0.10		0.88	0.11			0.12		0.14
13/06/17			1.33		0.12		0.42	0.14		1.14	0.17			0.46		1.20
11/07/17			0.39		0.03		0.37	0.10		0.38	0.15			0.71		0.24
26/09/17			0.18		0.16		0.24	0.03		0.85	0.12			0.36		0.30
02/11/17			0.60		1.21		0.26	0.05		0.86	0.07			0.20		0.27
13/12/17	0.25		1.27		0.30	0.01	0.70	0.63	0.09	0.86		0.22		2.69		0.35
30/01/18			3.46		1.52		1.42	4.33		4.18	1.02			1.05		0.65
24/05/18	0.41	0.09	0.49	0.08	0.05	8.83	1.02	0.28	0.79	0.56	0.24	22.18	26.83	0.68	0.80	1.13
06/09/18		4.47	1.26	0.67	0.12		0.11	0.20		0.79	0.10		0.41	2.30	21.79	1.07
15/11/18		1.49	1.27	16.26	1.03		0.44	0.12	0.48	0.75	0.21		5.41	2.95	3.42	1.88
07/02/19		2.46	1.98	4.28	0.56	43.38	0.46	0.48	51.52	4.76	0.30		38.80	1.54	0.42	0.15
10/04/19		0.08	0.20	4.36	0.49		0.10	0.41	1.09	0.15	0.20		5.36	0.15	0.16	0.13
10/06/19		3.01	0.78	19.79	2.55		1.67	1.90			0.93		18.49	0.96	2.24	1.78

Dotazione di azoto totale (mg-N/l) alle varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
Azoto totale - NT (mg-N/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			0.42		1.90		1.71	2.89		0.94	9.87			0.57		3.79
15/02/17	8.88		0.81		2.56	2.44	1.50	3.50	3.69	1.02	5.51	1.87		1.08		5.85
14/03/17	2.43		0.55		2.52	2.22	3.86	3.44	2.08	0.73	8.36	1.47		0.70		7.10
11/05/17	1.49		1.05		2.96	3.63	1.27	3.84	1.39	0.78	4.36	2.66		0.90		7.61
13/06/17			2.74		2.36		1.74	4.03		1.58	2.79			0.90		7.63
11/07/17			1.48		3.09		1.88	4.22		1.68	4.32			1.61		8.01
26/09/17			1.41		3.49		2.23	4.65		1.20	8.75			1.10		7.57
02/11/17			0.92		2.90		1.80	4.46		1.28	8.31			0.87		7.22
13/12/17	1.87		0.95		4.13	2.06	1.47	4.04	3.04	1.10	5.61	19.37		1.24		26.66
30/01/18	0.89		0.81		2.44		1.35	4.43	2.01	0.50	8.36	8.88		1.02		9.36
24/05/18	12.70	3.81	4.75	1.87	3.27	15.60	2.53	45.66	1.99	34.18	5.86	19.53	18.69	12.73	10.81	17.96
06/09/18		3.07	6.11	2.46	43.83		2.22	34.79	2.67	1.84	5.22	10.16	35.86	12.11	8.81	21.87
15/11/18	26.06	14.16	4.20	1.00	22.93	102.10	3.93	12.66	67.87	1.82	10.87	36.47	140.43	7.04	1.63	24.75
07/02/19	22.58	13.90	4.70	1.53	91.69	102.23	3.49	105.44	20.28	2.13	23.15	24.68	64.10	6.95	1.63	24.83
10/04/19	19.98	36.53	4.15	1.41	36.08	95.74	7.33	58.54	7.14	0.64	8.84	12.28	23.16	9.66	1.91	14.41
10/06/19	31.05	25.17	7.45	2.08	47.47		12.33	53.91	18.16	1.31	11.33	34.63	45.22	3.75	2.78	30.86
01/10/19	12.15	14.09	3.96	2.03	3.08	56.22	38.84	49.77	6.04	1.82	1.68	15.10	6.79	1.86	1.64	14.54

Dotazione di azoto totale (mg-N/l) alle varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Azoto totale - NT (mg-N/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	13.48		14.33		15.68	13.51	9.59	13.79		13.91	17.07			5.05		7.91
15/02/17	43.24		27.15		18.38	11.31	22.71	22.64	25.43	7.62	18.94	38.78		4.36		10.54
14/03/17	12.32		12.81		28.65	5.19	15.91	27.96	32.88	8.82	25.16	4.96		4.96		9.04
11/05/17					25.37		13.18	25.27		9.70	21.29			5.46		10.70
13/06/17			10.40		17.10		12.04	22.85		9.52	20.75			8.87		13.19
11/07/17			11.94		24.45		12.31	9.87		9.63	21.38			5.54		22.07
26/09/17			12.42		24.01		11.20	22.02		9.65	17.66			4.55		19.73
02/11/17			9.76		24.92		13.46	22.39		10.52	25.58			5.89		12.33
13/12/17	1.18		8.42		19.64	21.60	12.80	21.60	2.38	7.95	18.67			4.11		13.25
30/01/18			7.12		20.81		25.35	12.12		10.52	20.70			1.68		12.60
24/05/18	0.82	1.43	12.44	26.81	33.91	10.75	13.82	25.52	2.21	11.79	34.18		20.43	29.14	1.04	9.92
06/09/18		21.10	11.25	21.49	20.29		11.14	17.71		10.01	16.84		5.48	8.00	35.86	12.11
15/11/18		10.54	12.09	27.97	18.25		17.34	22.27		20.93	17.99		21.31	25.48	11.19	12.69
07/02/19	54.75	4.95	4.73	19.04	21.36	54.62	25.09	12.90	53.16	7.43	22.15	46.55	46.29	3.50	13.84	15.42
10/04/19		3.81	9.30	26.99	16.23		9.35	23.30		6.72	16.27		28.11	8.97	3.88	3.52
10/06/19		5.47	11.43	36.00	25.38		20.58	20.00		16.25	19.66		19.79	18.81	17.88	14.57

Dotazione di fosforo ortofosfato reattivo (mg-P/l) alle varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
Fosforo ortofosfato reattivo - PO ₄ ³⁻ (mg-P/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			0.01		0.01		0.01	0.00		0.00	0.00			0.00		0.00
15/02/17	0.00		0.01		0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01		0.00		0.00
14/03/17	0.01		0.00		0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01		0.02
11/05/17	0.01		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00		0.01		0.00
13/06/17			0.00		0.00		0.01	0.00		0.01	0.01			0.00		0.01
11/07/17			0.02		0.00		0.07	0.03		0.03	0.01			0.00		0.00
26/09/17			0.00		0.00		0.01	0.00		0.00				0.00		0.00
02/11/17	2.05		0.00		0.00		0.01	0.01		0.00	0.00			0.00		0.00
13/12/17	0.00		0.00		0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00		0.00
30/01/18	0.02		0.01		0.00		0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00		0.01		0.00
24/05/18	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
06/09/18	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
15/11/18	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00
07/02/19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/04/19	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00
10/06/19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
01/10/19	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.03	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01

Dotazione di fosforo ortofosfato reattivo (mg-P/l) alle varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Fosforo ortofosfato reattivo - PO ₄ ³⁻ (mg-P/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	0.01		0.00		0.58	0.02	0.03	0.24		0.01	0.42			0.01		0.05
15/02/17	0.01		0.01		1.29	0.06	0.23	0.54	0.03	0.00	1.01	0.05		0.00		0.54
14/03/17	0.02		0.04		1.31	0.03	0.56	0.27	0.00	0.00	0.38			0.00		0.00
11/05/17					0.98		0.60	0.37		0.01	0.26			0.00		0.80
13/06/17			0.02		1.10		0.29	0.70		0.04	0.92			0.05		0.98
11/07/17			0.00		0.65		0.13	0.62		0.01	0.22			0.00		0.67
26/09/17	2.14		0.24		0.82		0.40	0.21		0.00	0.59	2.09		0.01		0.83
02/11/17			0.00		0.78		0.20	0.67		0.01	0.69			0.02		0.91
13/12/17	0.00		0.00		0.94	0.04	0.43	0.18	0.00	0.01	0.37	0.02		0.03		0.66
30/01/18			0.01		1.23		0.53	0.51		0.07	1.10			0.14		1.05
24/05/18	0.00	0.00	0.01	1.02	0.73	0.31	1.07	0.43	0.06	0.00	0.56	0.52	0.37	0.05	1.60	1.13
06/09/18	2.06	0.01	0.37	0.36	1.05	2.10	1.20	0.73	2.15	0.15	1.66	2.09	0.09	0.06	0.71	0.64
15/11/18		0.01	0.09	0.25	0.52		0.71	0.38		0.04	1.60		0.06	0.05	1.58	1.13
07/02/19	0.00	0.01	0.01	1.03	1.74	0.08	1.07	1.06	0.03	0.01	0.53	0.02	0.01	0.00	1.89	2.01
10/04/19		0.01	0.15	0.73	1.68		1.13	1.77		0.06	1.78		0.24	0.03	1.42	
10/06/19		0.19	0.03	1.23	1.66		0.35	0.51		0.04	1.14		0.06	0.01	1.31	1.99

Dotazione di fosforo totale (mg-P/l) alle varie profondità (2 m siglato GA2, GC2, GM2, GS2, 2,5 m siglato GA2.5, GS2.5, 3 m siglato GA3, GC3, GM3, GS3, 3,5 m siglato GA3.5, GS3.5 e 4 m siglato GA4, GC4, GM4, GS4) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																
Fosforo totale - PT (mg-P/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo Compost				
Stazione	GA2	GA2.5	GA3	GA3.5	GA4	GC2	GC3	GC4	GM2	GM3	GM4	GS2	GS2.5	GS3	GS3.5	GS4
17/01/17			0.43		0.02		0.04	0.03		0.18	0.18			0.44		0.14
15/02/17	0.01		0.02		0.09	0.01	0.02	0.03	0.17	0.01	0.09	0.12		0.02		0.02
14/03/17	0.01		0.09		0.04	0.15	0.12	0.12	0.06	0.06	0.06	0.03		0.06		0.16
11/05/17	0.01		0.03		0.10	0.05	0.13	0.03	0.04	0.01	0.07	0.01		0.01		0.04
13/06/17			0.01		0.01		0.03	0.03		0.01	0.01			0.00		0.01
11/07/17			0.02		0.00		0.07	0.03		0.09	0.01			0.03		0.63
26/09/17			0.00		0.00		0.02	0.00		0.00	0.00			0.07		0.00
02/11/17			0.00		0.00		0.02	0.01		0.06	0.01			0.00		0.03
13/12/17	0.01		0.01		0.01	0.03	0.01	0.01	0.08	0.01	0.03	0.00		0.01		0.11
30/01/18	0.08		0.05		0.01		0.12	0.04	0.02	0.45	0.08	0.01		0.07		0.60
24/05/18	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.03	0.23	0.05	0.03	0.01	0.31	0.04	0.03	0.06
06/09/18		0.02	0.02	0.02	0.02		0.02	0.01	0.09	0.02	0.01	0.13	0.02	0.01	0.02	0.01
15/11/18	0.04	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.03	0.02	0.02	0.07	0.03	0.02	0.01	0.06
07/02/19	0.32	0.05	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.13	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.07	0.01	0.02
10/04/19	0.04	0.01	0.04	0.03	0.02	0.15	0.05	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.06	0.03	0.03	0.03
10/06/19	0.02	0.02	0.04	0.04	0.07	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.05	0.01	0.02	0.01
01/10/19	0.08	0.03	0.05	0.06	0.04	0.07	0.03	0.03	0.06	0.01	0.02	0.04	0.00	0.02	0.03	0.02

Dotazione di fosforo totale (mg-P/l) alle varie profondità (1 m siglato BA1, BC1, BM1, BS1, 1,5 m siglato BA1.5, BS1.5, 2 m siglato BA2, BC2, BM2, BS2, 2,5 m siglato BA2.5, BS2.5 e 3 m siglato BA3, BC3, BM3, BS3) nella falda freatica delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																
Fosforo totale - PT (mg-P/l)																
Lavorazione	Arato					Arato Compost			Minima Compost			Sodo				
Stazione	BA1	BA1.5	BA2	BA2.5	BA3	BC1	BC2	BC3	BM1	BM2	BM3	BS1	BS1.5	BS2	BS2.5	BS3
17/01/17	0.08		0.03		0.62	0.06	0.36	0.35		0.40	0.81			0.03		0.34
15/02/17	0.02		1.39		2.09	0.45	1.35	0.57	0.06	0.21	1.20	0.05		0.03		0.77
14/03/17	0.59		0.35		1.81	0.18	0.92	0.82	0.02	0.13	1.11			0.11		0.61
11/05/17					1.08		1.01	1.10		0.13	0.97			0.03		1.07
13/06/17			0.12		1.27		0.45	0.84		0.05	0.97			0.19		0.98
11/07/17			0.16		0.72		0.30	0.67		0.07	1.03			0.03		0.92
26/09/17			0.28		0.86		0.43	0.77		0.04	0.77			0.01		1.52
02/11/17			0.01		2.11		0.21	2.11		0.01	0.70			0.06		0.92
13/12/17	0.03		0.15		1.01	0.10	0.92	1.29	0.31	0.07	1.02			0.08		1.13
30/01/18			0.15		1.39		0.80			0.95		0.00		0.15		1.24
24/05/18	0.11	0.04	0.42	1.29	1.82	0.35	1.33	1.37	0.26	0.15	1.11		1.68	1.35	1.79	1.40
06/09/18		0.06	0.48	1.13	1.63		1.49	0.80		0.27	1.67		0.15	0.23	0.91	1.12
15/11/18		0.02	1.18	0.84	0.86		1.25	1.87		1.14	1.76		1.22	0.60	1.63	1.37
07/02/19	0.02	0.03	0.03	1.14	1.81	1.66	1.10	1.24	0.05	0.09	1.61	0.34	0.08	0.03	1.92	2.06
10/04/19		0.08	0.17	0.78	1.96		1.18	2.12		0.08	1.84		0.31	1.27	1.58	1.88
10/06/19		0.23		1.23	1.73		0.82	1.04		0.04	1.28		0.34	0.05	1.44	2.03

Dotazione di azoto ammoniacale e nitroso (kg-N/ha), nei tre strati di spessore 20 cm alle profondità di 0-20 cm, 50-70 cm e 90-110 cm, nelle parcelle delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																	
Parametro		Azoto ammoniacale - NH ₄ ⁺ (kg-N/ha)								Azoto nitroso - NO ₂ ⁻ (kg-N/ha)							
Lavorazione		Arato		Arato Comp.		Minima Comp.		Sodo Comp.		Arato		Arato Comp.		Minima Comp.		Sodo Comp.	
Data	Prof. (cm)	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.
22/02/17	0-20	1.68	2.57	0.90	0.76	1.13	0.98	0.58	0.52	0.72	1.32	0.28	0.32	0.20	0.12	0.17	0.12
26/07/17	0-20	1.16	0.25	1.05	0.81	0.73	0.21	0.75	0.62	0.49	0.34	0.55	0.55	0.37	0.24	0.33	0.29
27/03/18	0-20	4.05	3.59	1.72	1.41	1.84	3.07	0.84	0.42	1.09	1.22	0.46	0.62	0.60	1.37	0.08	0.01
04/10/18	0-20	1.06	0.73	0.63	0.16	0.86	0.21	0.85	0.33	0.86	0.70	1.05	1.20	0.68	0.70	0.24	0.11
16/07/19	0-20	0.55	0.22	1.13	1.32	0.61	0.31	1.45	2.78	0.26	0.10	0.27	0.10	0.26	0.07	0.37	0.32
22/02/17	50-70	1.22	0.72	1.12	0.55	1.15	0.36	1.23	0.51	0.45	0.25	0.31	0.26	0.20	0.18	0.14	0.13
26/07/17	50-70	0.75	0.16	1.10	0.48	0.59	0.20	0.79	0.20	0.41	0.24	0.35	0.39	0.43	0.19	0.31	0.25
27/03/18	50-70	1.67	0.94	0.92	0.21	1.19	0.86	1.05	0.26	1.46	0.79	0.88	0.70	1.38	1.20	1.19	0.48
04/10/18	50-70	1.25	0.64	1.12	1.18	1.35	1.19	0.85	0.20	1.35	0.82	1.03	0.72	0.90	0.35	0.88	0.34
16/07/19	50-70	0.67	0.26	0.75	0.41	0.61	0.19	0.70	0.28	0.98	0.79	0.64	0.80	0.67	0.26	1.03	0.49
22/02/17	90-110	1.52	1.02	0.88	0.54	1.00	0.33	1.09	0.49	0.40	0.40	0.34	0.24	0.19	0.13	0.18	0.06
26/07/17	90-110	0.63	0.13	0.68	0.37	0.43	0.17	0.72	0.18	0.32	0.20	0.17	0.05	0.35	0.19	0.29	0.18
27/03/18	90-110	1.24	0.14	0.92	0.20	1.09	0.47	1.10	0.25	0.68	0.27	0.89	0.40	0.96	0.50	0.75	0.29
04/10/18	90-110	1.03	0.57	0.75	0.23	0.98	0.43	0.82	0.12	0.62	0.56	0.38	0.16	0.77	0.58	0.55	0.29
16/07/19	90-110	0.84	0.30	0.80	0.21	0.75	0.16	0.76	0.16	0.79	0.45	1.06	0.63	0.75	0.32	0.72	0.34

Dotazione di azoto nitrico (kg-N/ha) e di fosforo ortofosfato reattivo (kg-P/ha), nei tre strati di spessore 20 cm alle profondità di 0-20 cm, 50-70 cm e 90-110 cm, nelle parcelle delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo con compost) dell'azienda Fondazione Navarra nelle varie date di campionamento

Azienda Fondazione Navarra																	
Parametro		Azoto nitrico - NO ₃ ⁻ (kg-N/ha)								Fosforo ortofosfato reattivo - PO ₄ ³⁻ (kg-P/ha)							
Lavorazione		Arato		Arato Comp.		Minima Comp.		Sodo Comp.		Arato		Arato Comp.		Minima Comp.		Sodo Comp.	
Data	Prof. (cm)	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.
22/02/17	0-20	11.01	3.74	8.46	2.87	10.54	7.12	9.43	3.80	0.21	0.12	0.18	0.04	0.20	0.07	0.16	0.13
26/07/17	0-20	26.52	7.60	31.63	8.37	23.25	5.98	26.03	10.48	0.19	0.05	0.17	0.07	0.22	0.10	0.23	0.08
27/03/18	0-20	15.31	8.85	18.50	11.48	16.21	7.36	11.99	4.29	0.68	0.58	0.40	0.45	0.33	0.60	0.12	0.05
04/10/18	0-20	26.45	12.13	41.74	25.26	32.08	19.61	45.92	16.32	0.04	0.06	0.29	0.46	0.33	0.63	0.18	0.27
16/07/19	0-20	12.65	6.22	22.31	10.73	14.78	3.68	12.66	6.95	0.13	0.06	0.14	0.06	0.18	0.19	0.17	0.10
22/02/17	50-70	12.99	4.32	16.18	6.35	16.30	15.65	9.86	3.96	0.14	0.16	0.22	0.32	0.11	0.08	0.07	0.07
26/07/17	50-70	22.27	0.64	23.15	10.60	20.77	15.27	13.48	11.72	0.03	0.02	0.07	0.06	0.21	0.38	0.04	0.03
27/03/18	50-70	26.10	1.03	40.50	14.03	19.23	7.22	15.62	6.44	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.05	0.34	0.96
04/10/18	50-70	29.44	1.05	29.14	13.96	15.61	8.03	13.12	6.72	0.34	0.67	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
16/07/19	50-70	30.25	2.30	13.74	5.77	8.33	3.55	6.68	4.35	0.10	0.04	0.10	0.03	0.12	0.07	0.15	0.12
22/02/17	90-110	10.15	4.21	7.97	4.38	11.55	12.75	5.40	2.19	0.21	0.26	0.14	0.16	0.11	0.15	0.18	0.36
26/07/17	90-110	8.72	3.88	13.89	6.40	15.64	18.47	10.90	8.36	0.12	0.25	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03
27/03/18	90-110	19.82	4.89	34.44	9.20	30.22	21.13	13.13	4.21	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.23	0.60
04/10/18	90-110	25.17	18.23	41.75	27.07	33.98	27.89	6.99	3.17	0.06	0.09	0.22	0.44	0.26	0.70	0.18	0.28
16/07/19	90-110	5.26	2.72	10.38	3.82	5.24	3.11	3.02	0.86	0.09	0.05	0.08	0.03	0.06	0.06	0.09	0.06

Dotazione di azoto ammoniacale e nitroso (kg-N/ha), nei tre strati di spessore 20 cm alle profondità di 0-20 cm, 50-70 cm e 90-110 cm, nelle parcelle delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																	
Parametro		Azoto ammoniacale - NH ₄ ⁺ (kg-N/ha)								Azoto nitroso - NO ₂ ⁻ (kg-N/ha)							
Lavorazione		Arato		Arato Comp.		Minima Comp.		Sodo		Arato		Arato Comp.		Minima Comp.		Sodo	
Data	Prof. (cm)	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.
22/02/17	0-20	2.02	1.73	3.48	2.15	5.83	3.14	3.30	2.44	2.25	2.33	1.83	1.29	6.27	5.66	2.25	2.15
26/07/17	0-20	1.94	0.74	2.63	1.63	1.88	0.73	1.85	0.12	2.02	1.22	0.85	0.90	0.27	0.66	0.41	0.58
05/02/18	0-20	0.80	0.58	1.66	0.56	0.80	0.18	1.01	0.38	0.10	0.03	0.21	0.05	0.11	0.04	0.10	0.02
03/10/18	0-20	0.91	0.67	5.31	4.84	1.53	1.10	1.31	1.10	0.79	0.45	0.57	0.60	0.64	0.33	0.04	0.04
17/07/19	0-20	0.72	0.31	0.16	0.18	0.32	0.47	0.59	1.18	0.25	0.10	0.20	0.08	0.25	0.05	0.33	0.26
22/02/17	50-70	1.84	3.22	2.85	1.24	3.95	2.04	4.17	4.35	0.62	0.57	0.51	0.44	0.48	0.25	0.49	0.62
26/07/17	50-70	2.76	0.19	2.34	0.49	2.27	0.39	2.69	0.45	1.51	0.66	2.20	1.03	0.96	0.46	0.19	0.11
05/02/18	50-70	0.58	0.35	1.17	0.22	0.72	0.15	1.05	0.38	0.26	0.20	0.25	0.06	0.29	0.16	0.81	0.48
03/10/18	50-70	1.00	0.39	0.98	0.54	1.54	1.62	1.34	0.35	0.55	0.51	0.91	0.91	0.82	0.56	0.39	0.18
17/07/19	50-70	0.65	0.20	0.40	0.88	0.31	0.28	0.33	0.13	0.27	0.14	0.17	0.07	0.25	0.10	0.47	0.18
22/02/17	90-110	0.68	0.55	2.87	1.01	2.31	0.58	2.15	0.51	0.26	0.18	0.41	0.40	0.37	0.41	0.15	0.08
26/07/17	90-110	3.22	0.29	3.20	0.80	2.08	0.41	1.81	0.22	0.34	0.14	0.48	0.16	0.20	0.09	0.13	0.04
05/02/18	90-110	0.81	0.24	1.06	0.29	1.10	0.27	1.01	0.34	0.30	0.13	0.09	0.01	0.59	0.37	0.45	0.27
03/10/18	90-110	1.45	1.46	1.96	1.52	1.09	0.44	0.91	0.40	0.66	0.55	0.76	0.67	0.36	0.32	0.13	0.11
17/07/19	90-110	0.75	0.18	0.13	0.12	1.13	1.53	0.41	0.11	0.27	0.21	0.22	0.19	0.74	0.47	0.33	0.13

Dotazione di azoto nitrico (kg-N/ha) e di fosforo ortofosfato reattivo (kg-P/ha), nei tre strati di spessore 20 cm alle profondità di 0-20 cm, 50-70 cm e 90-110 cm, nelle parcelle delle quattro tesi (arato, arato con compost, minima con compost, sodo) dell'azienda Graziano Sarto nelle varie date di campionamento

Azienda Graziano Sarto																	
Parametro		Azoto nitrico - NO ₃ ⁻ (kg-N/ha)								Fosforo ortofosfato - PO ₄ ³⁻ (kg-P/ha)							
Lavorazione		Arato		Arato Comp.		Minima Comp.		Sodo		Arato		Arato Comp.		Minima Comp.		Sodo	
Data	Prof. (cm)	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.
22/02/17	0-20	18.98	13.45	10.83	5.53	19.89	10.87	35.43	27.46	0.25	0.08	0.18	0.05	0.17	0.04	0.50	0.19
26/07/17	0-20	12.43	8.25	45.26	31.28	11.28	4.74	16.80	7.47	0.19	0.19	1.02	1.80	0.23	0.26	0.24	0.39
05/02/18	0-20	18.51	7.45	8.31	2.39	11.72	4.02	8.50	3.40	0.24	0.11	0.16	0.09	0.09	0.06	0.12	0.07
03/10/18	0-20	48.03	13.45	65.72	32.73	35.49	31.53	10.85	3.54	0.17	0.29	0.04	0.03	0.10	0.18	0.05	0.02
17/07/19	0-20	18.87	10.69	23.81	15.31	39.06	12.08	31.15	20.76	0.40	0.23	0.29	0.26	0.38	0.35	0.28	0.17
22/02/17	50-70	13.29	7.90	8.70	4.88	24.42	10.53	26.52	6.22	0.08	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.17	0.45
26/07/17	50-70	13.74	6.55	19.52	14.48	19.93	7.16	14.72	3.80	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
05/02/18	50-70	44.40	14.31	37.39	11.25	22.37	5.52	15.87	4.95	0.04	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
03/10/18	50-70	39.41	48.50	42.85	23.83	18.07	8.95	38.90	44.96	0.06	0.05	0.06	0.05	0.03	0.04	0.13	0.30
17/07/19	50-70	14.53	20.13	17.01	14.64	23.63	14.24	19.23	11.89	0.40	0.27	0.23	0.13	0.18	0.06	0.16	0.04
22/02/17	90-110	18.35	10.53	11.09	5.82	13.93	9.02	17.14	4.41	0.15	0.40	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.07
26/07/17	90-110	7.30	3.80	8.64	8.00	5.10	1.13	7.86	1.39	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02
05/02/18	90-110	42.29	12.81	43.92	15.94	21.98	7.18	10.89	5.22	0.05	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.10	0.20
03/10/18	90-110	78.88	32.53	34.92	27.45	7.32	4.40	19.81	14.83	0.15	0.14	0.02	0.03	0.07	0.15	0.04	0.02
17/07/19	90-110	4.54	3.91	9.24	7.11	18.07	14.70	7.84	4.56	0.46	0.62	0.17	0.15	0.25	0.32	0.16	0.05

Nella tabella sono riportati i contenuti di carbonio totale, carbonio inorganico e carbonio organico, espressi in percentuale della massa secca dei suoli, a due orizzonti di profondità (0-20 cm e 50-70 cm) nelle parcelle di due (arato, arato con compost) delle quattro tesi dell'azienda Fondazione Navarra, nelle varie date di campionamento. Le abbreviazioni indicano i termini anglosassoni per dette frazioni della sostanza organica: TC = Total Carbon, IC = Inorganic Carbon e TOC = Total Organic Carbon. I valori sono le medie e deviazioni standard di tre repliche campionarie

Azienda Fondazione Navarra													
Data	Prof. (cm)	Arato						Arato Compost					
		TC (%)	TC (%)	IC (%)	IC (%)	TOC (%)	TOC (%)	TC (%)	TC (%)	IC (%)	IC (%)	TOC (%)	TOC (%)
		media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.
22/02/17	0-20	2.31	0.14	0.79	0.69	1.51	0.83	2.84	0.66	0.95	0.11	1.89	0.76
26/07/17	0-20	2.47	0.06	1.01	0.12	1.46	0.07	2.45	0.09	1.06	0.06	1.40	0.04
27/03/18	0-20	2.42	0.11	1.08	0.17	1.33	0.15	2.32	0.06	0.98	0.02	1.35	0.05
04/10/18	0-20	2.39	0.26	1.14	0.10	1.24	0.36	2.55	0.14	1.25	0.21	1.31	0.18
16/07/19	0-20	2.21	0.12	1.41	0.56	0.79	0.59	2.27	0.28	1.09	0.12	1.18	0.37
22/02/17	0-20	2.21	0.06	1.00	0.88	1.21	0.85	2.51	0.28	1.03	0.06	1.48	0.34
04/10/18	0-20	2.38	0.21	1.77	0.23	0.61	0.40	2.31	0.21	1.13	1.01	1.17	1.16
16/07/19	0-20	2.00	0.28	1.46	0.29	0.53	0.49	2.31	0.41	1.29	0.29	1.02	0.60
22/02/17	50-70	2.21	0.06	1.00	0.88	1.21	0.85	2.51	0.28	1.03	0.06	1.48	0.34
04/10/18	50-70	2.38	0.21	1.77	0.23	0.61	0.40	2.31	0.21	1.13	1.01	1.17	1.16
16/07/19	50-70	2.00	0.28	1.46	0.29	0.53	0.49	2.31	0.41	1.29	0.29	1.02	0.60

Nella tabella sono riportati i contenuti di carbonio totale, carbonio inorganico e carbonio organico, espressi in percentuale della massa secca dei suoli, a due orizzonti di profondità (0-20 cm e 50-70 cm) nelle parcelle di due (minima con compost, sodo con compost) delle quattro tesi dell'azienda Fondazione Navarra, nelle varie date di campionamento. Le abbreviazioni indicano i termini anglosassoni per dette frazioni della sostanza organica: TC = Total Carbon, IC = Inorganic Carbon e TOC = Total Organic Carbon. I valori sono le medie e deviazioni standard di tre repliche campionarie

Azienda Fondazione Navarra													
Data	Prof. (cm)	Minima Compost						Sodo Compost					
		TC (%)	TC (%)	IC (%)	IC (%)	TOC (%)	TOC (%)	TC (%)	TC (%)	IC (%)	IC (%)	TOC (%)	TOC (%)
		media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.
22/02/17	0-20	2.60	0.22	1.05	0.19	1.55	0.37	2.73	0.15	1.13	0.10	1.60	0.15
26/07/17	0-20	2.61	0.26	1.18	0.09	1.43	0.35	2.47	0.36	1.07	0.09	1.40	0.30
27/03/18	0-20	2.54	0.29	1.32	0.14	1.22	0.20	2.52	0.14	1.14	0.08	1.39	0.21
04/10/18	0-20	2.39	0.19	1.32	0.22	1.07	0.37	2.61	0.09	1.32	0.12	1.30	0.21
16/07/19	0-20	2.36	0.31	1.54	0.39	0.82	0.69	2.19	0.32	1.27	0.15	0.92	0.47
22/02/17	0-20	2.30	0.28	1.67	0.16	0.63	0.22	2.32	0.19	1.64	0.38	0.68	0.19
04/10/18	0-20	2.49	0.11	1.80	0.18	0.70	0.10	2.78	0.33	2.26	0.42	0.51	0.14
16/07/19	0-20	2.33	0.21	2.22	0.31	0.11	0.10	2.25	0.28	1.73	0.31	0.53	0.24
22/02/17	50-70	2.30	0.28	1.67	0.16	0.63	0.22	2.32	0.19	1.64	0.38	0.68	0.19
04/10/18	50-70	2.49	0.11	1.80	0.18	0.70	0.10	2.78	0.33	2.26	0.42	0.51	0.14
16/07/19	50-70	2.33	0.21	2.22	0.31	0.11	0.10	2.25	0.28	1.73	0.31	0.53	0.24

Nella tabella sono riportati i contenuti di carbonio totale, carbonio inorganico e carbonio organico, espressi in percentuale della massa secca dei suoli, a due orizzonti di profondità (0-20 cm e 50-70 cm) nelle parcelle di due (arato, arato con compost) delle quattro tesi dell'azienda Graziano Sarto, nelle varie date di campionamento. Le abbreviazioni indicano i termini anglosassoni per dette frazioni della sostanza organica: TC = Total Carbon, IC = Inorganic Carbon e TOC = Total Organic Carbon. I valori sono le medie e deviazioni standard di tre repliche campionarie

Azienda Graziano Sarto													
Data	Prof. (cm)	Arato						Arato Compost					
		TC (%)	TC (%)	IC (%)	IC (%)	TOC (%)	TOC (%)	TC (%)	TC (%)	IC (%)	IC (%)	TOC (%)	TOC (%)
		media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.
22/02/17	0-20	3.37	0.10	0.98	0.28	2.39	0.18	3.49	1.01	0.79	0.27	2.70	1.10
26/07/17	0-20	3.31	0.23	1.03	0.38	2.28	0.22	3.07	0.53	0.82	0.31	2.26	0.61
05/02/18	0-20	3.02	0.13	0.99	0.15	2.04	0.07	2.77	0.22	0.76	0.36	2.01	0.57
03/10/18	0-20	3.14	0.12	1.07	0.20	2.07	0.19	2.88	0.45	0.63	0.62	2.25	0.55
17/07/19	0-20	2.88	0.23	1.00	0.13	1.88	0.21	2.57	0.46	0.59	0.42	1.98	0.42
22/02/17	50-70	3.00	0.13	1.04	0.29	1.96	0.16	2.89	0.36	0.94	0.70	1.95	0.86
03/10/18	50-70	2.92	0.27	1.72	0.72	1.20	0.46	2.47	1.11	0.61	0.60	1.86	0.65
17/07/19	50-70	2.86	0.33	1.13	0.22	1.73	0.42	2.35	0.47	0.74	0.60	1.61	0.36

Nella tabella sono riportati i contenuti di carbonio totale, carbonio inorganico e carbonio organico, espressi in percentuale della massa secca dei suoli, a due orizzonti di profondità (0-20 cm e 50-70 cm) nelle parcelle di due (minima con compost, sodo) delle quattro tesi dell'azienda Graziano Sarto, nelle varie date di campionamento. Le abbreviazioni indicano i termini anglosassoni per dette frazioni della sostanza organica: TC = Total Carbon, IC = Inorganic Carbon e TOC = Total Organic Carbon. I valori sono le medie e deviazioni standard di tre repliche campionarie

Azienda Graziano Sarto													
Data	Prof. (cm)	Minima Compost						Sodo					
		TC (%)	TC (%)	IC (%)	IC (%)	TOC (%)	TOC (%)	TC (%)	TC (%)	IC (%)	IC (%)	TOC (%)	TOC (%)
		media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.	media	dev. st.
22/02/17	0-20	2.66	0.31	0.52	0.30	2.14	0.16	2.46	0.11	0.28	0.25	2.19	0.23
26/07/17	0-20	2.89	0.29	0.55	0.17	2.34	0.36	2.57	0.23	0.23	0.18	2.33	0.10
05/02/18	0-20	2.89	0.18	0.59	0.27	2.30	0.31	2.91	0.42	0.25	0.12	2.65	0.30
03/10/18	0-20							2.94	0.46	0.41	0.20	2.53	0.26
17/07/19	0-20	2.52	0.33	0.54	0.16	1.99	0.19	2.23	0.55	0.34	0.11	1.89	0.44
22/02/17	50-70	2.81	0.12	0.71	0.45	2.10	0.33	1.93	0.38	0.30	0.16	1.63	0.22
03/10/18	50-70	1.88	0.78	0.34	0.49	1.54	0.32	2.43	1.26	0.34	0.23	2.09	1.04
17/07/19	50-70	2.38	0.46	0.71	0.75	1.66	0.68	1.39	0.43	0.16	0.18	1.23	0.53