

PIANO DI MONITORAGGIO DEI SUOLI E DEI SISTEMI AGRICOLI

2024

RAPPORTO FINALE

1	Articolazione del piano di monitoraggio	3
2	Rete per il monitoraggio diffuso dei suoli	7
2.1	Metodica di campionamento	9
2.2	Parametri analizzati	10
2.3	RISULTATI 2024	11
2.3.1	<i>Azoto residuale</i>	11
2.3.1.1	<i>Analisi statistica</i>	13
3	Rete per il monitoraggio della falda acquifera ipodermica	16
3.1	Metodica di campionamento	17
3.2	Parametri analizzati	17
3.3	RISULTATI 2024	18
3.3.1	<i>Nitrati disciolti</i>	18
3.3.2	<i>Fosfati disciolti</i>	27
4	BIBLIOGRAFIA	28

1 Articolazione del piano di monitoraggio

Le attività di monitoraggio dei suoli e dei sistemi agricoli rispondono a quanto previsto dalle prescrizioni della procedura VAS a cui è stato assoggettato il Programma d'Azione per le Zone Vulnerabili ai Nitrati 2024-2027 (di seguito PdA) approvato con d.g.r. n. XII/3634 del 16 dicembre 2024. Tali attività sono estese anche alle aree del territorio regionale caratterizzate da una zootecnia intensiva non incluse nell'attuale designazione delle ZVN, in sintonia con gli obiettivi programmatici e la regolamentazione delle pratiche di fertilizzazione delle colture agricole stabilite da Regione Lombardia per tali aree.

L'obiettivo del monitoraggio è creare un modello di verifica della sostenibilità delle pratiche di fertilizzazione basato su aziende rappresentative della pianura lombarda monitorate in continuo al fine di fornire un quadro generale dello stato qualitativo dei suoli agricoli e della soluzione circolante attraverso la valutazione di una serie di indicatori agro-ambientali determinati in funzione dell'ambiente pedoclimatico (*Focus Area*) e dell'ordinamento colturale.

Al fine di implementare la rete di monitoraggio a scala aziendale sono state quindi individuate 6 *Focus Area* (FA):

- Alta Pianura Est (APE)
- Alta Pianura Ovest (APO)
- Media Pianura (MP)
- Bassa Pianura Est (BPE)
- Bassa Pianura Centrale (BPC)
- Bassa Pianura Ovest (BPO)

Le FA sono state delineate e caratterizzate inizialmente nel 2018 prendendo in considerazione diversi fattori agro-ambientali, tra cui la caratterizzazione pedoclimatica (a partire dalla carta pedologica prodotta da ERSAF nel 2011) (**Tabella 1**), il carico zootecnico, la Superficie Agricola Utilizzata (SAU) e le tipologie di coltura per ogni FA partendo dall'Uso Agricolo del Suolo.

Tale suddivisione geografica delle FA rimarrà quindi in vigore per tutto il periodo di validità del Piano di Monitoraggio dei Suoli e dei Sistemi Agricoli nell'ambito del programma di sorveglianza per la verifica dell'efficacia del vigente PdA Regionale 2024-2027.

Tabella 1. Caratterizzazione dei suoli prevalenti per ciascuna FA

Denominazione FA	Caratteristiche dei suoli prevalenti
Alta Pianura Est	<i>Caratterizzata da suoli da franco-argillosi a franco-sabbiosi con scheletro che va da comune in superficie ad abbondante in profondità, scarsamente calcarei con permeabilità moderata e drenaggio buono.</i>
Alta Pianura Ovest	<i>Suoli da franco-sabbiosi con scheletro comune a (in superficie) a sabbioso-franchi con scheletro abbondante in profondità, non calcarei, moderatamente profondi con permeabilità moderatamente elevata e drenaggio da moderatamente rapido a buono.</i>
Media Pianura	<i>Suoli franchi con substrato sabbioso senza scheletro, da scarsamente calcarei a calcarei in superficie, limitati dalla falda (mediamente tra 85 e 170 cm) con segni di idromorfica in profondità, permeabilità moderata e drenaggio lento.</i>
Bassa Pianura Est	<i>Suoli da franco-argillosi ad argillosi-limosi senza scheletro, alcalini e da mediamente a calcarei (talvolta fortemente calcarei con caratteri vertici), con permeabilità da moderatamente bassa a bassa e drenaggio da lento a buono. Nella valle del Po suoli da argillosi a franco-argillosi, senza scheletro, profondi con permeabilità bassa e drenaggio lento.</i>
Bassa Pianura Centrale	<i>Suoli franchi con substrato sabbioso senza scheletro, scarsamente calcarei: suoli profondi, limitati dalla falda profonda e/o da orizzonti sabbiosi (mediamente tra 110 e 150 cm), permeabilità moderata e drenaggio da buono a mediocre con caratteri di idromorfia.</i>
Bassa Pianura Ovest	<i>Suoli da franco a franco-sabbiosi, da subacidi ad acidi, non calcarei, moderatamente profondi limitati dalla falda e/o dallo scheletro abbondante (in media tra 60 e 120 cm), con permeabilità moderata e drenaggio da buono a mediocre.</i>

Al fine di caratterizzare ulteriormente le FA di seguito si riportano:

- **Tabella 2:** in cui è riportato il carico zootecnico di partenza (2018) che ha contribuito alla definizione delle FA. Nel 2024 il carico zootecnico è stato aggiornato partendo dal quantitativo di azoto dichiarato nella Procedura di Gestione Nitrati dalle aziende agricole, incrociato con la consistenza zootecnica aziendale, e, tenendo conto delle cessioni e acquisizioni, distribuito sulla superficie agricola utilizzata dalle singole aziende. In questo modo è stato ottenuto il quantitativo totale di azoto distribuito a scala comunale che è poi stato ripartito per la SAU comunale, stimata partendo dal Piano colturale grafico delle aziende agricole di Regione Lombardia (scaricato da Sis.Co 2024); le eventuali mancanze di informazioni sono state colmate utilizzando il Dusaf 2021 che ha quindi portato alla definizione dell'Uso Agricolo del Suolo (USAGR 2024). Tale aggiornamento ha determinato una consistente riduzione nel carico zootecnico rispetto ai valori di partenza.
- **Tabella 3:** la SAU e le tipologie di coltura per ogni FA partendo dall'Uso Agricolo del Suolo (USAGR 2024, Piano Colturale Grafico 2024 e Dusaf 2021).

Tabella 2. Caratterizzazione delle FA: carico zootecnico (kg/ha) e % SAU (DUSAF 2021 – Sis.Co. 2024)

Denominazione FA	Carico di N da e.a. 2018	Carico di N da e.a. su USAGR 2024 (kg N/ha)	% SAU sul territorio 2024
Alta Pianura Est	188	139	53%
Alta Pianura Ovest	62	55	29%
Media Pianura	269	179	80%
Bassa Pianura Est	134	110	78%
Bassa Pianura Centrale	132	154	79%
Bassa Pianura Ovest	52	60	69%

Tabella 3. Caratterizzazione delle FA: % delle principali colture (DUSAF 2021 – Sis.Co. 2024)

FA	SAU (ha)	MAIS	FORAGGERE	ALTRI CEREALI	COLTURE ARBOREE	ALTRO
APE	125.833	29,13%	26,60%	7,13%	10,24%	26,89%
APO	73.691	14,60%	21,43%	11,04%	0,69%	52,23%
MP	123.092	42,13%	30,44%	6,96%	0,20%	20,26%
BPE	127.417	23,50%	26,57%	17,12%	1,28%	31,53%
BPC	128.183	36,48%	20,70%	12,83%	0,43%	29,57%
BPO	281.039	18,23%	16,75%	8,39%	4,23%	52,40%

Nella seguente **Figura 1** si riporta la delimitazione delle FA in pianura.

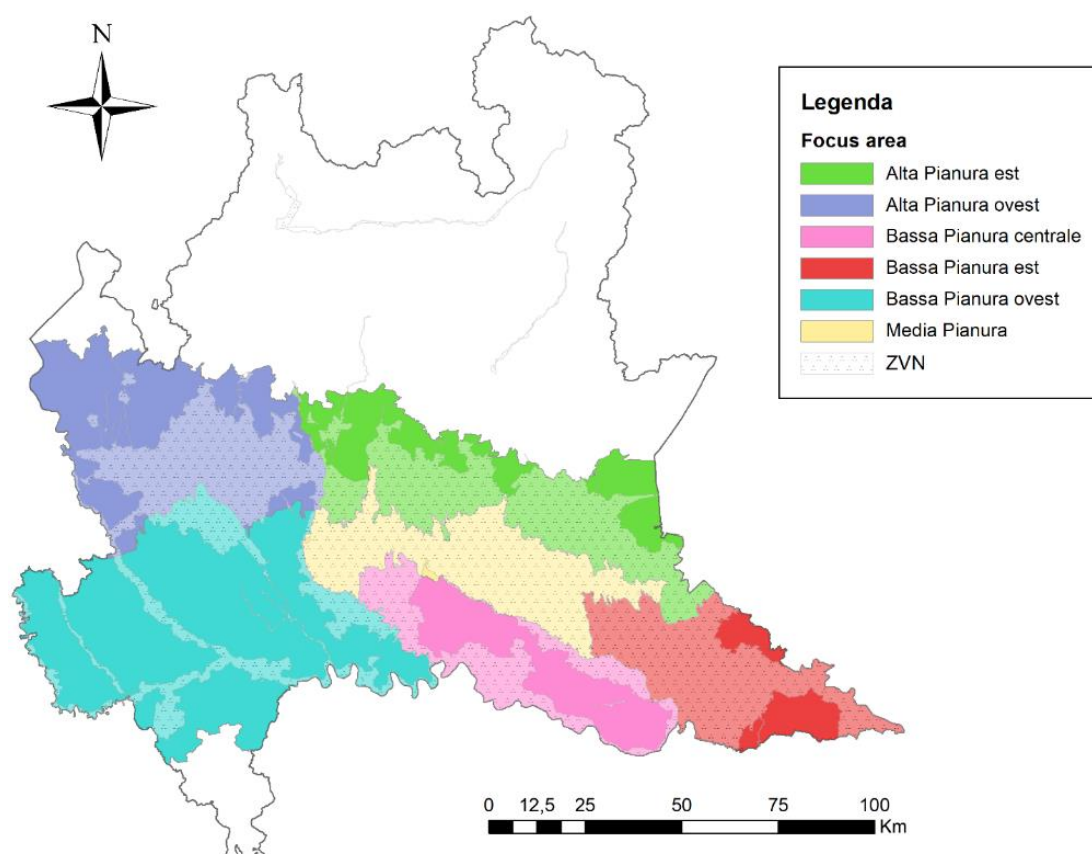


Figura 1. Delimitazione delle FA in pianura e zone vulnerabili ai nitrati (ZVN 2020) - Regione Lombardia.

Nell'ambito del programma di sorveglianza per la verifica dell'efficacia del Programma d'Azione nelle ZVN è stato definito da ERSAF un Piano di Monitoraggio (di seguito PdM) finalizzato a valutare gli effetti conseguenti e potenziali delle pratiche agricole e dei loro effetti sullo stato delle acque circolanti nel suolo, in particolare per quanto attiene la concentrazione dei nitrati e del fosforo. Ciò ha comportato il monitoraggio di alcuni indicatori chiave come le pratiche agricole nella loro evoluzione, la presenza dei nitrati e del fosforo nei suoli coltivati e nelle falde ipodermiche.

L'impostazione dello schema di monitoraggio si fonda su 2 azioni complementari:

1. Il campionamento dei suoli eseguito in circa 90 punti di monitoraggio/anno (vedi § 2).
2. Il campionamento della falda acquifera ipodermica (profondità 0-3 m) eseguito attraverso il prelievo di campioni di acqua tramite una rete di piezometri (vedi § 3).

2 Rete per il monitoraggio diffuso dei suoli

Come riportato nel PdM, in una prima fase sono stati individuati oltre 120 punti potenziali, scelti attraverso un'analisi statistica di base delle aziende presenti nelle *Focus Area* e aderenti alla Procedura Nitrati, dei quantitativi di N prodotti e delle loro caratteristiche principali rappresentative della pianura in termini di tipologia di suolo, superficie coltivata, ordinamenti colturali e modalità di gestione. Inoltre, è stata tenuta in considerazione la ripartizione dei campionamenti tra zone vulnerabili ai nitrati (ZVN) e zone non vulnerabili ai nitrati (ZnVN).

L'obiettivo definito nel PdM consisteva nel monitorare circa 90 punti/anno, per un totale indicativo di circa 120 campionamenti/anno, così ripartiti:

- fino a 30 punti campionati 2 volte all'anno: in presemina (gennaio-febbraio, prima delle lavorazioni principali e distribuzioni per la preparazione del terreno) e post-raccolta (agosto-ottobre);
- fino a 60 punti campionati 1 volta all'anno, in post-raccolta (agosto-ottobre).

Nella seguente **Tabella 4** si riporta il totale di campioni raccolti nell'anno 2024 in funzione del periodo e della profondità di raccolta raggiunta.

Tabella 4. Numero totale di campioni raccolti dal 2024 alle diverse profondità

ANNUALITÀ	PERIODO	profondità 0-30 cm	profondità 30-60 cm	profondità 60-90 cm
2024	PRE-SEMINA	23	23	22
	POST-RACCOLTA	95	94	88
	TOTALE	118	117	110

La localizzazione dei punti oggetto dell'attività di monitoraggio nell'anno 2024 e la relativa ripartizione degli stessi tra ZVN e ZnVN sono riportati in **Figura 2** e **Figura 3**; in **Figura 4** sono indicate le principali tipologie di colture praticate sui campi monitorati in post-raccolta: la maggior parte dei campi risultava coltivato a mais (~68%), ma sono stati eseguiti campionamenti anche in aree coltivate a riso, soia, cereali autunno vernini, prati, ecc.

Per quanto riguarda le tipologie aziendali oggetto del monitoraggio, la maggioranza delle aziende zootecniche utilizzano effluenti da allevamenti di bovini (>40%) e suini (>23%); inoltre, sono presenti aziende che utilizzano fanghi (~10%) e gessi (~4%).

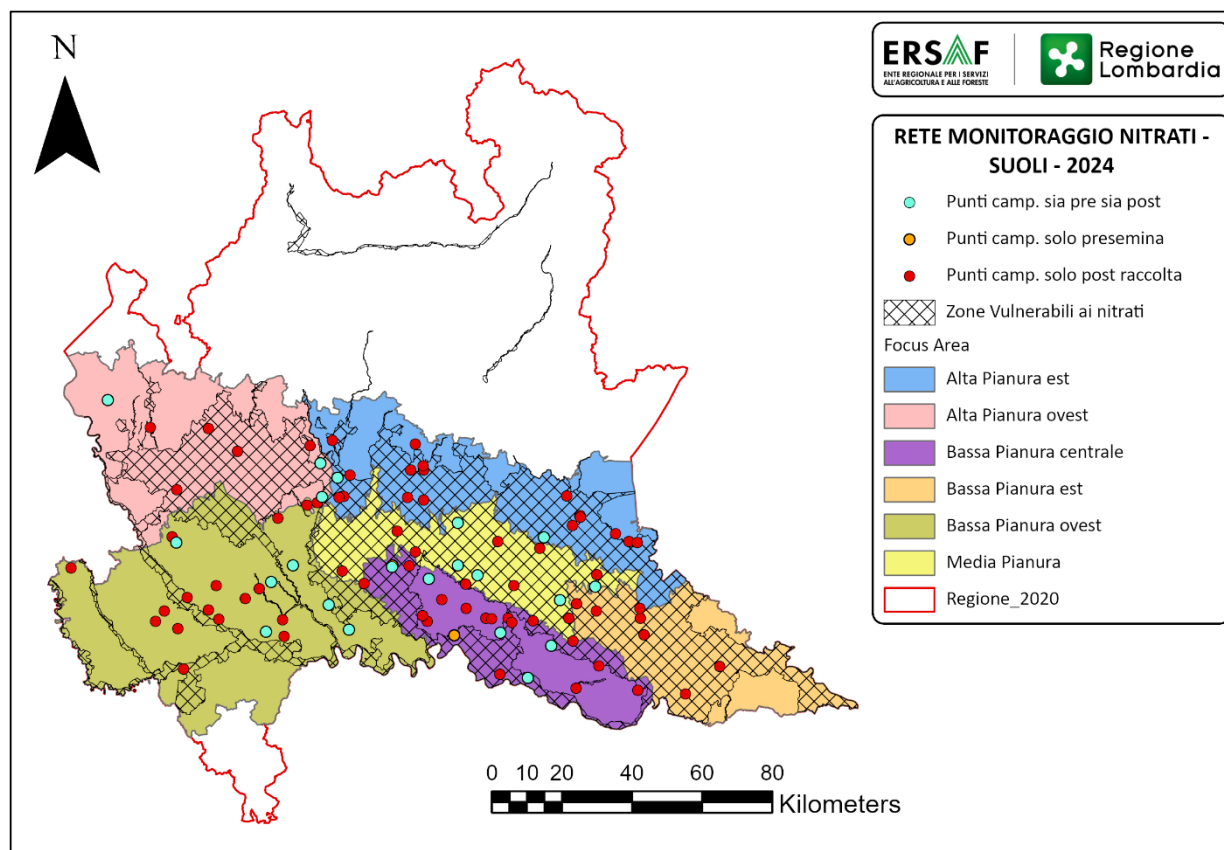


Figura 2. Localizzazione dei punti di campionamento oggetto del monitoraggio dei suoli nel 2024.

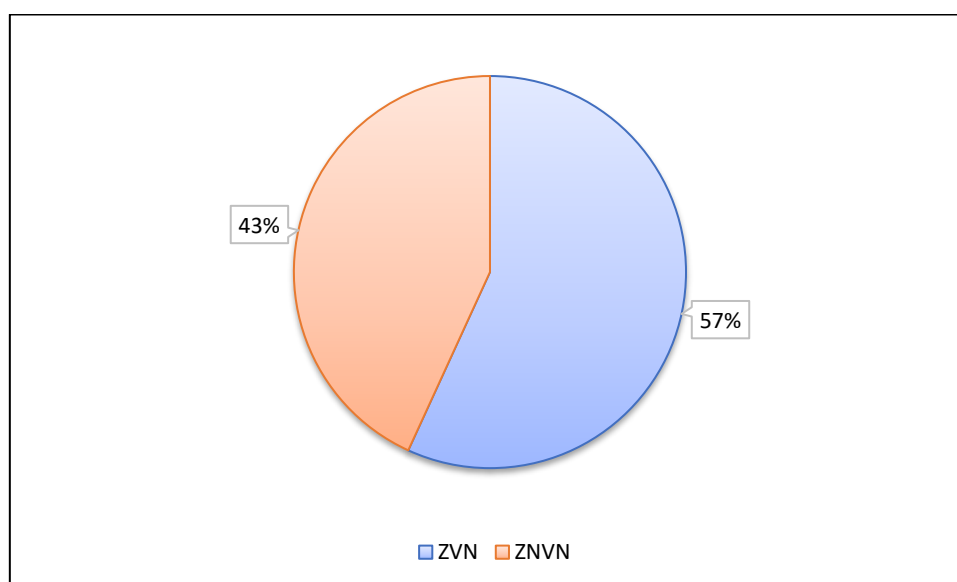


Figura 3. Ripartizione % dei campioni eseguiti in post-raccolta nel 2024 in ZVN e ZNVN.

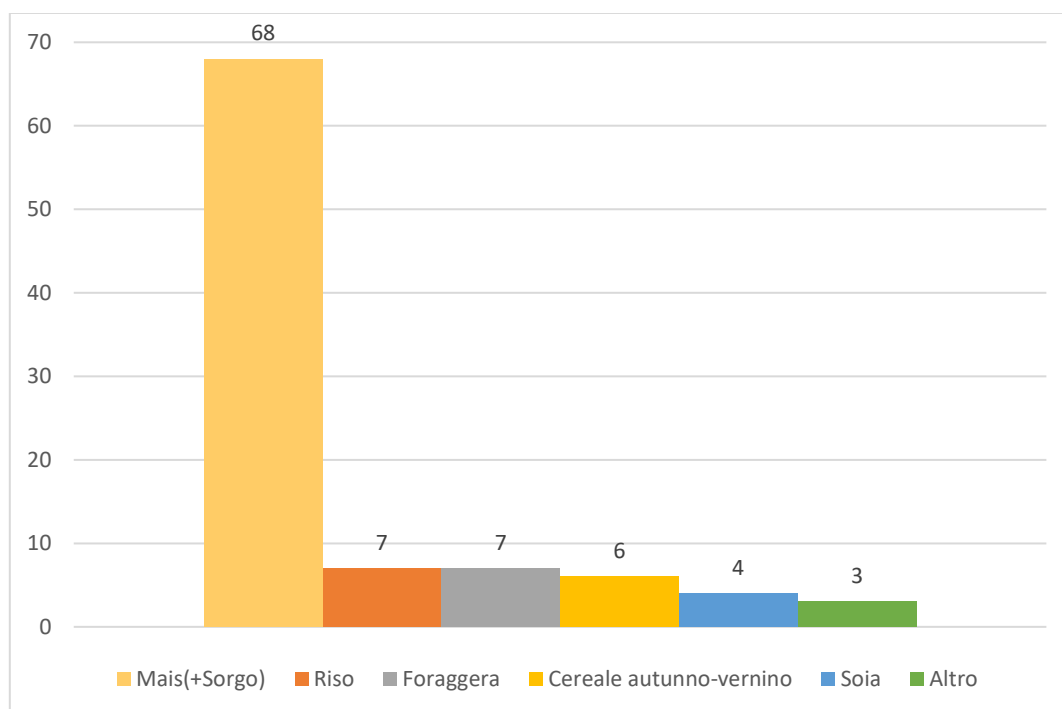


Figura 4. Ripartizione delle colture praticate sui campi campionati in post-raccolta nel 2024.

2.1 Metodica di campionamento

Il campionamento dei suoli è stato eseguito secondo le modalità previste dal Decreto Ministeriale del 13/09/1999 “Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo” e successive modifiche, mediante un posizionamento dei punti di prelievo di tipo non sistematico a X, evitando i bordi dei campi e tutte le eventuali situazioni non rappresentative dell’area nel suo complesso; inoltre, il prelievo dei campioni di suolo nello strato superficiale è avvenuto dopo aver asportato il cotico erboso/residui colturali e gli eventuali frammenti grossolani eccedenti i 2 cm di diametro.

In ogni area di campionamento, utilizzando una trivella manuale di tipo olandese, sono quindi stati prelevati 5 campioni elementari che, in seguito a miscelazione e omogeneizzazione, sono andati a costituire “campioni compositi” per 3 diverse profondità (laddove possibile):

- 0-30 cm
- 30-60 cm
- 60-90 cm

Da ciascuno di tali campioni compositi è stato ricavato circa 1 kg di terreno, trasportato in sede, stoccato in congelatore e successivamente consegnato al laboratorio di analisi esterno.

2.2 Parametri analizzati

Come definito nel PdM, le determinazioni analitiche eseguite sui campioni di suolo hanno riguardato il contenuto di nitrati (azoto nitrico [NO₃-N]), azoto totale (metodo Kjeldahl - TKN) e fosforo disponibile [P₂O₅] per ognuna delle tre profondità; inoltre, anche la determinazione del contenuto di carbonio organico (CO) (e il conseguente rapporto C/N) è stata oggetto delle analisi eseguite in tutti i punti di campionamento.

Nella seguente **Tabella 5** si riportano i metodi di analisi chimica e fisica applicati dal laboratorio di analisi. A tal riguardo, si segnala che nel corso del 2024 si è reso necessario bandire una nuova gara per l'esecuzione delle determinazioni analitiche nell'ambito delle attività di monitoraggio che ha portato all'affidamento a un laboratorio diverso da quello che aveva eseguito le analisi nelle precedenti annate.

Tabella 5. *Elenco delle determinazioni analitiche e dei relativi metodi utilizzati*

PARAMETRO	METODO
Sostanza secca (Residuo secco a 105 °C)	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984
Carbonio organico (come C)	DM 13/09/1999 SO n 185 GU n 248 21/10/1999 Met. VII.2
Azoto totale (come N)	DM n°185 13/09/1999 S.O.GU n°248 21/10/99 Met. XIV.2 + DM n°185 13/09/1999 S.O.GU n°248 21/10/99 Met. XIV.3
Azoto nitrico (come N)	EPA 9056A 2007
Fosforo assimilabile (come P ₂ O ₅)	D.M. n° 185 del 13/09/99 SO G.U. n° 248 del 21/10/99 Metodo XV.3 + UNI EN ISO 11885:2009

2.3 RISULTATI 2024

Nel presente paragrafo si riportano i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dei suoli nell'ambito della campagna di campionamento 2024. Come detto in precedenza, nel corso di quest'anno l'affidamento del servizio di analisi a un laboratorio diverso dalle precedenti campagne ha determinato delle criticità nella validazione e nella elaborazione dei dati che risultano essere in parte tuttora oggetto di verifiche. Pertanto, in questo report si riporta la discussione dei risultati relativa ai soli dati già verificati, ovvero al contenuto di azoto residuale nei suoli agricoli oggetto del monitoraggio.

2.3.1 Azoto residuale

Nella **Tabella 6** sono riportati i dati di sintesi descrittiva relativi al contenuto medio (\pm deviazione standard) di azoto nitrico ($\text{NO}_3\text{-N}$) nei suoli, suddivisi per *Focus Area* (FA) in funzione delle diverse profondità di campionamento in post-raccolta nel 2024. Si può notare come in tutte le FA le concentrazioni di azoto nitrico presentino valori mediamente bassi, con trend in diminuzione scendendo in profondità. I valori più elevati sono stati riscontrati nella zona orientale della pianura (caratterizzata da una maggiore incidenza della zootecnia); nella Bassa Pianura Ovest (prevalentemente caratterizzata dalla coltivazione del riso) si riscontrano invece i valori più bassi per ciascuna profondità con una certa costanza lungo il profilo. Tali risultati risultano in linea con i dati pregressi, confermando che, in generale, i suoli agricoli della pianura non presentano un contenuto di nitrati preoccupante; occorre però sottolineare che anche in questa campagna di monitoraggio tutto il dataset è caratterizzato da una notevole variabilità, dovuta prevalentemente ai vari sistemi di gestione agronomica, alle diverse matrici utilizzate per la fertilizzazione e, soprattutto, ai differenti input di azoto.

Tabella 6. Concentrazione media (\pm SQM) di $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg) residuale per FA a diverse profondità in post-raccolta 2024

Focus Area	Profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta Pianura Est	16,1 \pm 10,3	10,8 \pm 7,6	8,9 \pm 6,2
Alta Pianura Ovest	8,1 \pm 9,2	5,0 \pm 2,9	4,1 \pm 2,4
Media Pianura	18,4 \pm 8,2	14,5 \pm 6,7	9,5 \pm 3,9
Bassa Pianura Est	19,5 \pm 6,8	16,2 \pm 9,2	13,6 \pm 13,0
Bassa Pianura Centrale	15,3 \pm 9,8	12,5 \pm 8,4	9,9 \pm 10,9
Bassa Pianura Ovest	5,5 \pm 3,4	4,9 \pm 5,8	4,6 \pm 6,1
Totale Pianura	13,4 \pm9,6	10,3 \pm8,0	8,2 \pm8,2

Il contenuto di nitrati del suolo può fornire utili informazioni sia sul rischio potenziale di lisciviazione di nitrati (non assorbiti dalla coltura), sia sul grado di efficienza nella gestione dell'azoto. Sullivan e Cogger (2003) hanno ipotizzato 3 possibili intervalli di concentrazioni di $\text{NO}_3\text{-N}$ cui corrispondono differenti consigli sulla gestione dell'azoto (**Tabella 7**).

Tabella 7. Possibili intervalli di concentrazioni di $\text{NO}_3\text{-N}$ secondo Sullivan e Cogger (2003)

	$\text{NO}_3\text{-N}$ mg kg^{-1}	Suggerimenti di gestione
Classe I	< 20	Continuare con il piano di concimazione attuale.
Classe II	20 - 45	Ridurre la concimazione in copertura nella stagione successiva, utilizzando il test dell'azoto nitrico in copertura effettuato tra la 4-6 foglia (15-30 cm per il mais) per decidere il quantitativo di azoto da apportare. Non apportare più del 125% dell'azoto asportato mediamente della coltura. Ridurre del 10-25% la quantità di N organico apportata.
Classe III	> 45	Non effettuare la concimazione in copertura nell'anno successivo, ridurre i quantitativi di N organico in presemina. Apportare azoto non superiore alla quantità asportata mediamente della coltura. Ridurre del 20-40% la quantità di N organico apportata.

La **Figura 5** rappresenta i siti campionati (n. totale 95) suddivisi secondo l'appartenenza alle classi di Sullivan e Cogger in funzione del contenuto di azoto nitrico nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) in post-raccolta 2024: la maggioranza dei siti monitorati (ca. 74%) ricade nella Classe I, mentre nelle zone centrali della pianura risultano concentrati la maggior parte di quelli ricadenti in Classe II (ca. 25%); infine, solo 1 punto ricade in Classe III, in APE.

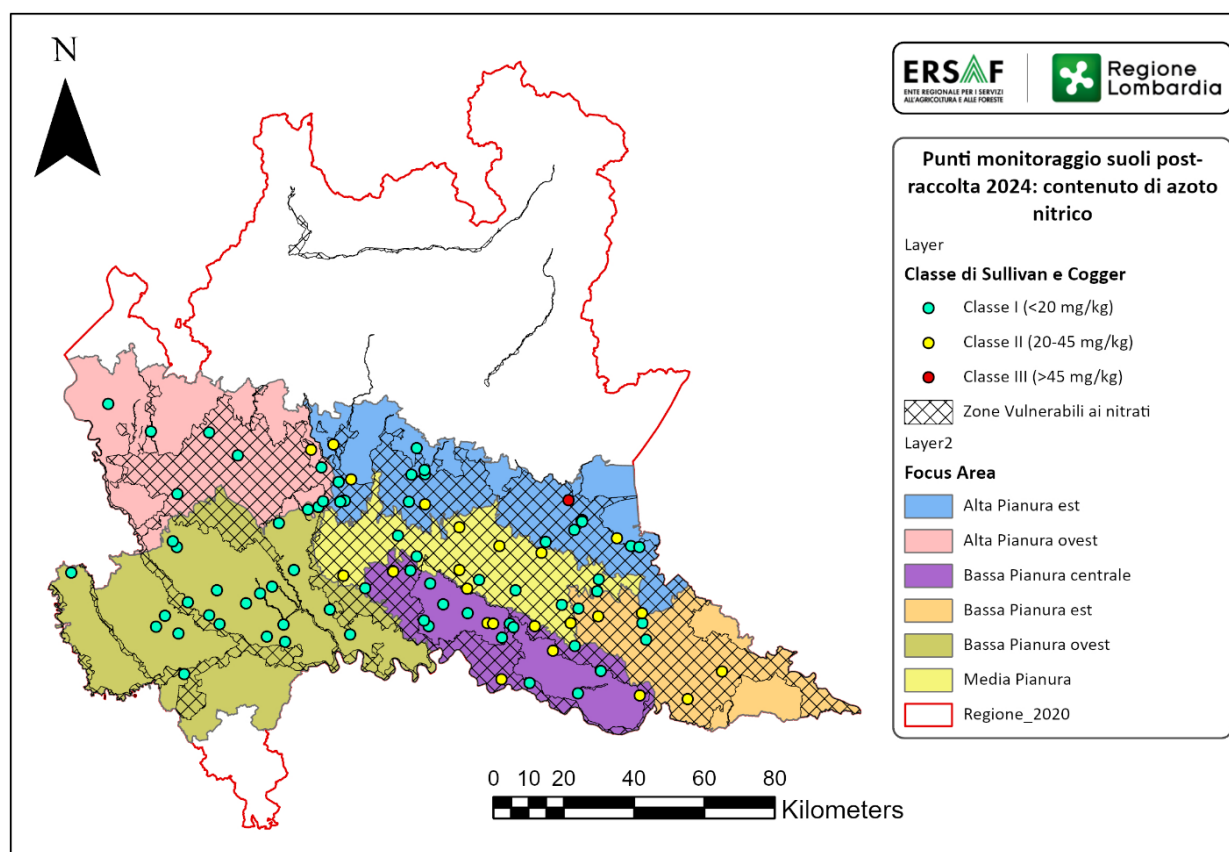


Figura 5. Carta del contenuto di $\text{NO}_3\text{-N}$ nel primo strato di suolo (0-30 cm) nelle diverse FA in post-raccolta 2024, in relazione all'appartenenza alle classi di Sullivan e Cogger (**Tabella 7**).

2.3.1.1 Analisi statistica

Nel presente paragrafo si riportano alcune elaborazioni statistiche relative ai risultati ottenuti. Nella **Figura 6** è stato confrontato il contenuto di $\text{NO}_3\text{-N}$ residuale nel suolo con le colture presenti al momento del campionamento in post-raccolta 2024.

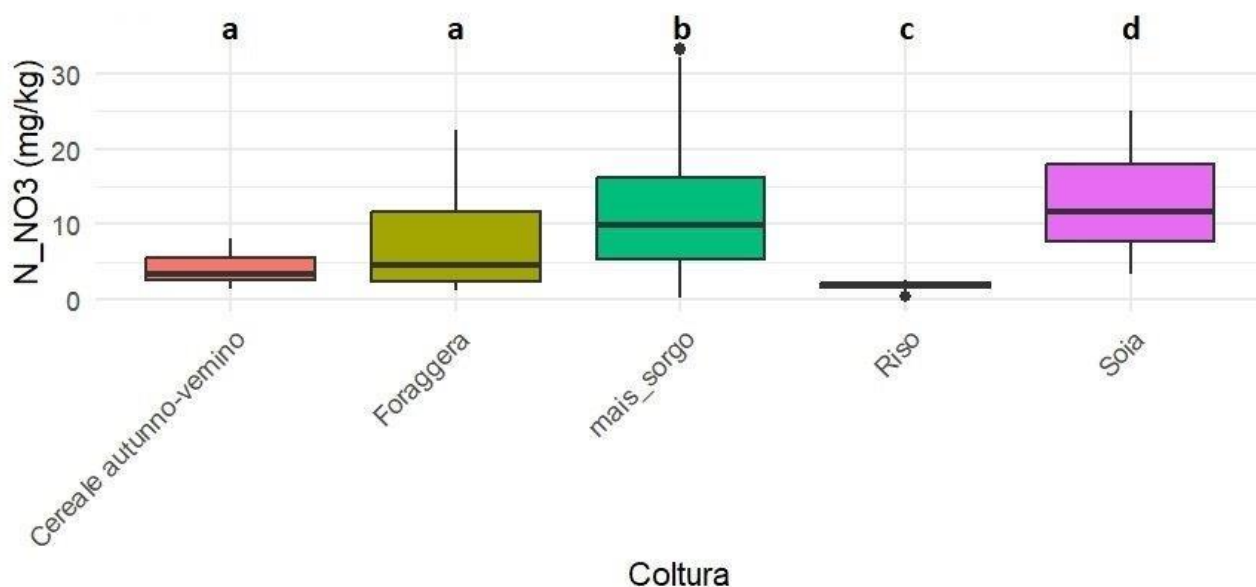


Figura 6. Analisi della correlazione tra il contenuto di $\text{NO}_3\text{-N}$ e la tipologia di coltura presente al momento del campionamento in post-raccolta 2024.

Dal grafico si osserva che i terreni su cui è stata coltivata la soia presentano un contenuto medio di nitrati superiore (12,9 mg/kg) rispetto alle altre colture in quanto la soia è una leguminosa azotofissatrice. Il mais e il sorgo sono stati raggruppati nella stessa classe viste le loro similitudini sia nella coltivazione che nel loro fabbisogno di azoto: nei terreni è stata misurata una concentrazione media di nitrati di 11,4 mg/kg, inferiore rispetto alla soia ma superiore rispetto ad altre colture (come cereali autunno vernini e foraggere) che richiedono un apporto di azoto minore durante il loro ciclo di sviluppo.

I suoli coltivati a cereali autunno vernini e colture foraggere presentano, rispettivamente, un contenuto medio di nitrati di ca. 4 e 8 mg/kg; per quanto riguarda i cereali il motivo può essere legato anche al fatto che i campionamenti sono stati fatti nel periodo di settembre/ottobre e quindi a distanza di alcuni mesi dalla raccolta (orientativamente giugno) durante i quali la mancanza di copertura vegetale dei terreni può aver accentuato fenomeni di lisciviazione dei nitrati. Per le colture foraggere (prati ed erba medica) si osserva una maggiore variabilità all'interno della classe dovuta alle differenze fisiologiche (l'erba medica è una leguminosa e quindi tende ad aumentare il contenuto di azoto nel terreno); i valori mediamente bassi riscontrati possono essere legati alla gestione di queste colture in cui i ripetuti sfalci aumentano le esigenze nutrizionali.

Infine, i terreni su cui è stato coltivato riso presentano il minore contenuto medio di nitrati (1,8 mg/kg) presumibilmente dovuto alle basse esigenze di azoto della coltura.

Nella **Figura 7** è stato confrontato il contenuto di nitrati residuali nel suolo nelle varie FA anche in rapporto con il relativo carico medio di azoto proveniente da effluenti di allevamento.

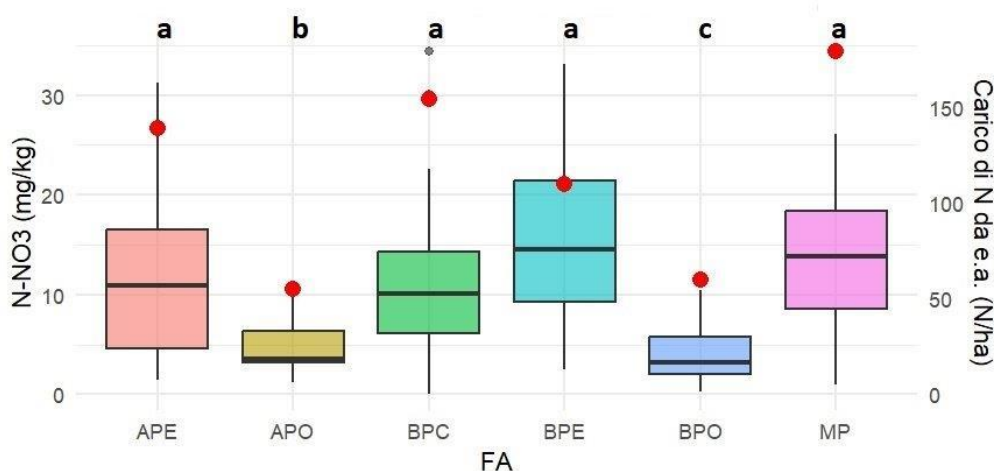


Figura 7. Contenuto di nitrati residuali nel suolo tra le varie FA in rapporto con il relativo carico medio di azoto proveniente da effluenti di allevamento (pallini rossi).

Dall'analisi emerge che le FA in cui vi è una più alta concentrazione di nitrati sono la BPE (15,3 mg/kg), la MP (13,6 mg/kg), la APE (11,7 mg/kg) e la BPC (11,4 mg/kg) e il loro contenuto di nitrato è significativamente superiore rispetto alla APO (4,8 mg/kg) e alla BPO (4,1 mg/kg). Osservando il carico medio di N ad ettaro proveniente da effluenti di allevamento per ogni FA si può notare che i valori più elevati si ritrovano in corrispondenza delle aree in cui anche la concentrazione media di nitrati è più elevata.

La **Figura 8** riporta l'incidenza delle principali variabili considerate (Focus Area di appartenenza, coltura presente al momento del campionamento 2024, carico medio aziendale, caratteristiche fisiche del suolo e profondità di campionamento) che possono impattare sul contenuto di nitrati nei suoli.

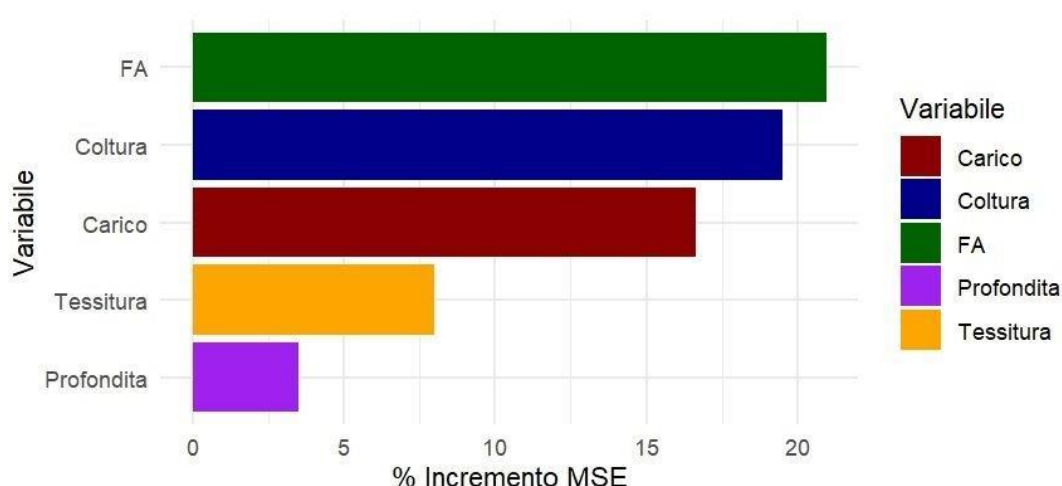


Figura 8. Incidenza delle principali variabili sul contenuto di nitrati nei suoli – campagna 2024.

L'asse delle ascisse fornisce informazioni su quanto aumenterebbe l'errore se quella variabile venisse rimossa, di conseguenza più il suo valore è elevato e più la variabile è "incidente". Pertanto, sebbene non vi siano valori particolarmente elevati di incremento % di MSE (*Mean Squared Error* – errore quadratico medio), la variabile che influenza maggiormente il contenuto di nitrati è la FA di appartenenza (21,0%), seguita dalla coltura in corso al momento del campionamento (19,5 %) e dal carico medio aziendale (16,7%). Tale analisi conferma come il contenuto di nitrati nel terreno sia influenzato da molte variabili, sia di tipo ambientale (per esempio le FA area possono rappresentare un insieme di condizioni pedoclimatiche differenti e di scelte colturali che si diversificano tra le varie aree della Lombardia) che agronomico (come, per esempio, le scelte colturali che implicano piani di concimazione diversi); la bassa incidenza del carico medio aziendale sembrerebbe inoltre confermare che la quantità di azoto fornita attraverso le pratiche di fertilizzazione non determina necessariamente un accumulo di nitrati nel suolo.

3 Rete per il monitoraggio della falda acquifera ipodermica

Come riportato nel PdM, in ciascuna delle 6 *Focus Area* sono stati individuati 3-4 punti caratterizzati dalla presenza di falda acquifera ipodermica dove, a una profondità compresa tra 0 e 3 m, sono stati installati 18 piezometri per il campionamento delle acque (**Figura 9**). Queste falde molto superficiali sono fortemente influenzate dalle precipitazioni e dagli interventi irrigui oltre che dalla presenza di eventuali corsi d'acqua e fontanili adiacenti. I valori di concentrazione di nitrati misurati non devono quindi essere confrontati con quelli rilevati nei pozzi della rete di monitoraggio regionale della prima falda (Idrostruttura Sotterranea Superficiale – ISS); le concentrazioni misurate, seppur risentendo in prima battuta delle gestioni agricole (obiettivo di questo monitoraggio), possono subire variazioni legate anche alla presenza di corpi idrici che alimentano a intermittenza l'idromorfia dei suoli e il grado di saturazione dell'immediato sottosuolo.

In ciascuno dei piezometri sono quindi state eseguite n. 4 campagne di campionamento all'anno (a partire dal 2021), indicativamente nei mesi di: 1) febbraio; 2) maggio; 3) agosto; 4) novembre.

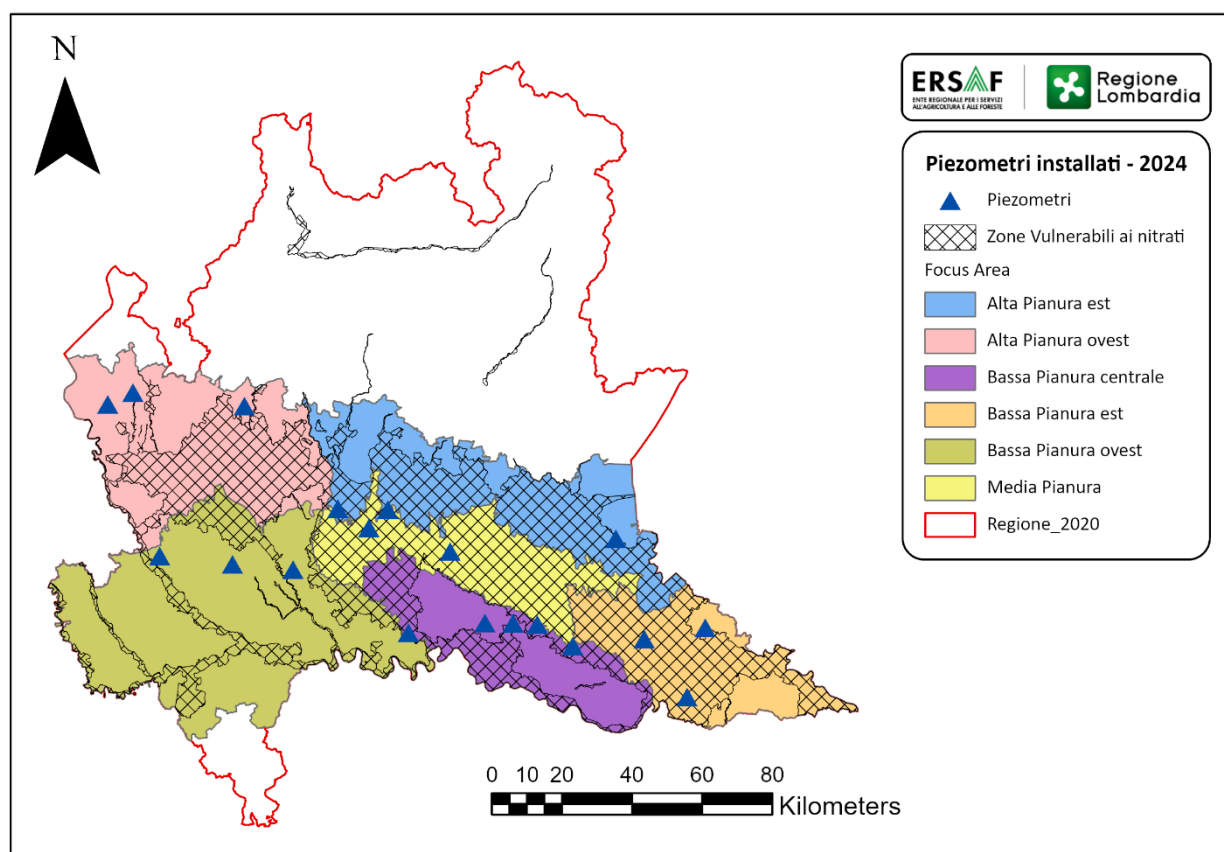


Figura 9. Localizzazione dei 18 punti per il monitoraggio della falda acquifera ipodermica.

3.1 Metodica di campionamento

Ogni piezometro è costituito da un tubo forato nella parte basale che raccoglie l'acqua della falda ipodermica e che, durante il campionamento, viene svuotato tramite l'utilizzo di un'apposita pompa; dopo qualche minuto, l'acqua invade nuovamente il condotto e quest'acqua viene campionata e inviata al laboratorio per le analisi chimiche.

3.2 Parametri analizzati

Le determinazioni analitiche sui campioni di acqua hanno riguardato il contenuto di nitrati e fosfati disciolti nella falda ipodermica; le analisi sono state eseguite, in accordo con metodi ufficiali (**Tabella 8**) presso un laboratorio di analisi esterno accreditato.

Tabella 8. *Elenco delle determinazioni analitiche e dei relativi metodi utilizzati*

PARAMETRO	METODO
Concentrazione nitrati (NO_3^-) mg/L	UNI EN ISO 10304-1:2009
Concentrazione fosfati (PO_4^-) mg/L	UNI EN ISO 10304-1:2009

A partire dalla fine del 2023 è iniziata l'operazione di installazione di un sistema di misura in continuo tramite data logger dei livelli piezometrici su ciascuno dei 18 piezometri. Per alcuni piezometri è quindi disponibile l'andamento del livello di falda per l'intera annualità mentre per altri sono per ora disponibili solo alcuni mesi. La lettura dell'andamento piezometrico è rilevante per interpretare le variazioni delle concentrazioni di nitrati poiché indica in questo contesto e in prima approssimazione, il volume d'acqua in cui i soluti si diluiscono. Infatti, un livello di falda costante durante tutto l'anno denota che il corpo acquifero intercettato dal piezometro è probabilmente una falda acquifera con elevata trasmissibilità. Viceversa, una significativa variabilità nei livelli piezometrici durante l'anno in funzione, ad esempio, delle precipitazioni indica che il piezometro ha intercettato una falda idromorfa caratterizzata da scarsa trasmissibilità e di conseguenza contenente un volume d'acqua limitato. Queste caratteristiche del corpo idrico determinano una maggiore variabilità delle concentrazioni dei nitrati disciolti che risultano quindi fortemente influenzate dall'andamento stagionale (precipitazioni) e dalle gestioni agricole (interventi irrigui e fertilizzazioni).

3.3 RISULTATI 2024

Nel presente paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio della falda ipodermica nel 2024. I campionamenti sono stati eseguiti prevalentemente presso aree coltivate a seminativi e prati permanenti, nell'ambito di aziende zootecniche (72%) e non zootecniche (28%).

3.3.1 Nitrati disciolti

Nella **Tabella 9** sono riportate le classi di valutazione della qualità delle acque sotterranee così come definite dalla Commissione Europea in funzione della concentrazione di nitrati in esse presenti. Tali classi sono state utilizzate per un confronto indicativo dei risultati ottenuti dai campionamenti effettuati nell'ambito delle diverse campagne di monitoraggio.

Tabella 9. *Classi di qualità delle acque sotterranee individuate dalla Commissione Europea*

Concentrazione NO ₃ ⁻ (mg/l)	Qualità delle acque sotterranee
0-24,99	Acque di buona qualità, che possono essere monitorate con periodicità più lunga
25-39,99	Acque con concentrazione di nitrati oltre la soglia di significatività
40-49,99	Acque a rischio di superamento dei valori limite (soglia di attenzione)
≥50	Acque oltre il limite (inquinamento)

Nella **Tabella 10** sono elencati i 18 siti oggetto di monitoraggio nel 2024, suddivisi per FA, con la relativa concentrazione media di NO_3^- riscontrata nella falda ipodermica, ottenuta considerando i risultati delle analisi derivanti dai 4 campionamenti annuali.

Tabella 10. Concentrazione media di ione nitrato (NO_3^-) nelle acque di falda ipodermica per il 2024

Focus Area	Prov	Comune	Concentrazione media NO_3^- (mg/L)
Alta Pianura Est	BS	Desenzano del Garda	34,8
	BG	Fara Olivana	39,9
	BG	Casirate d'Adda	23,1
Alta Pianura Ovest	VA	Varano Borghi	0,4
	CO	Anzano del Parco	0,8
	VA	Varese	15,1
Media Pianura	CR	Pessina Cremonese	0,9
	BG	Caravaggio	49,0
	BS	Orzinuovi	15,2
Bassa Pianura Est	MN	San Giorgio Bigarello	8,5
	MN	Pegnagna	6,1
	MN	Castellucchio	0,6
Bassa Pianura Centrale	CR	Pizzighettone	0,3
	MN	Canneto sull'Oglio	19,0
	CR	Pescarolo ed Uniti	6,1
Bassa Pianura Ovest	MI	Abbiategrosso	19,3
	MI	Basiglio	0,9
	LO	Tavazzano con Villavesco	5,6

Dai risultati si può notare come nella maggior parte dei siti analizzati la concentrazione di nitrati si attesti su valori ottimali, che si collocano nella classe delle acque considerate di buona qualità (< 25 mg/L).

Fanno eccezione, in particolare, le seguenti stazioni:

- Desenzano del Garda (APE)
- Fara Olivana con Sola (APE)
- Caravaggio (MP)

Nei successivi paragrafi si analizzano nel dettaglio, per ciascuna FA, le stazioni per le quali sono state riscontrati i valori più elevati, mettendo in relazione le concentrazioni di nitrati misurate nelle diverse campagne di monitoraggio con le precipitazioni rilevate nello stesso periodo presso le stazioni meteo ARPA più vicine al relativo piezometro.

❖ Stazione di Fara Olivana con Sola – Bg (APE)

Nella stazione di Fara Olivana con Sola (**Figura 10**), situata in un'azienda orticola, nel corso del 2024 i valori si attestano mediamente in una classe al limite con il rischio della “soglia di attenzione” (39,9 mg/L). Tale concentrazione media elevata è determinata prevalentemente da un solo valore “oltre il limite” riscontrato in corrispondenza del mese di maggio (62 mg/L).

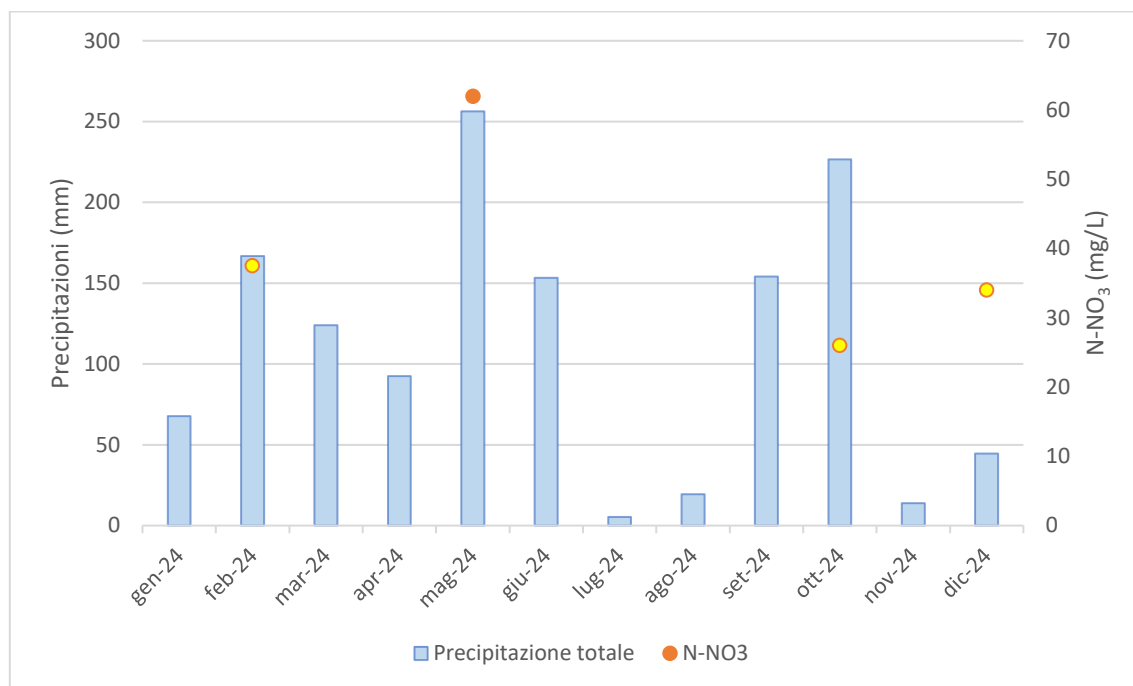


Figura 10. Contenuto di nitrati (mg/L) (punti) nelle acque campionate nella stazione di Fara Olivana con Sola in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Montichiari Boschetti (colonne azzurre).

Per questo piezometro è disponibile la misura del livello di falda sin dall'inizio del 2024 (**Figura 11**). L'andamento freatico evidenzia la presenza di un corpo idrico con soggiacenza media di 2.00 m dal piano campagna caratterizzato da un'escursione massima di 1,5 m durante l'anno. Questo corpo idrico è reattivo alle precipitazioni intense come si evidenzia in occasione dell'evento del 14 e 15 maggio che ha apportato 103 mm di precipitazione tradottosi in una immediata risalita freatica di 1 m. Altre risalite del livello piezometrico sono probabilmente riconducibili a 3 interventi irrigui effettuati nel mese di luglio, concomitanti a un periodo di discesa della curva freatica in assenza di precipitazioni.

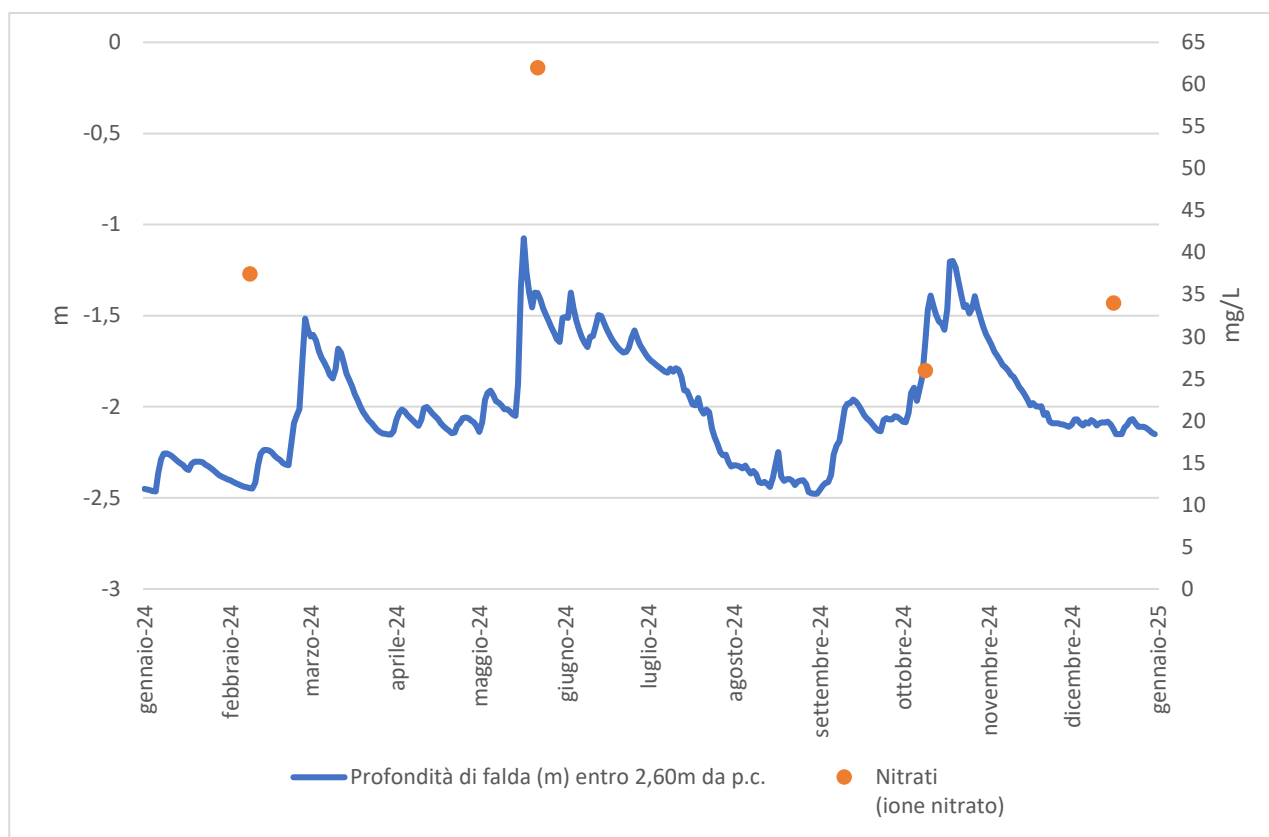


Figura 11. Andamento piezometrico rilevato nel piezometro di Fara Olivana con Sola in rapporto alla concentrazione (mg/L) di nitrati (punti rossi).

La concentrazione più elevata di nitrato (62 mg/L) è stata osservata nei giorni immediatamente successivi (17 maggio) all'evento del 14 maggio che ha probabilmente determinato da un lato un'intensa lisciviazione dalla superficie e dall'altro la mobilitazione di nitrati presenti nel suolo a causa della risalita dell'acqua sino a 1 m dal piano campagna. Le concentrazioni di nitrato misurate sempre oltre i 30 mg/L sembrano evidenziare un uso di fertilizzanti azotati in quantità superiore ai fabbisogni delle coltivazioni e distribuzioni effettuate in periodi in cui la pianta non è in grado di utilizzarle al meglio (bassa efficienza), ciò messo in luce da un corpo idrico sotterraneo (falda idromorfa nel suolo) contenente un volume limitato d'acqua con conseguente bassa capacità di diluizione dei soluti.

❖ Stazione di Varese (APO)

Nella stazione di Varese (**Figura 12**), situata nell'ambito di un terreno associato a un'azienda a seminativi, nel corso del 2024 i valori si attestano mediamente in una classe considerata con acque di buona qualità (15,1 mg/L), con i valori più elevati riscontrati nel periodo invernale (con il picco, 24,7 mg/L, registrato a febbraio che rimane comunque nella classe con acque di buona qualità).

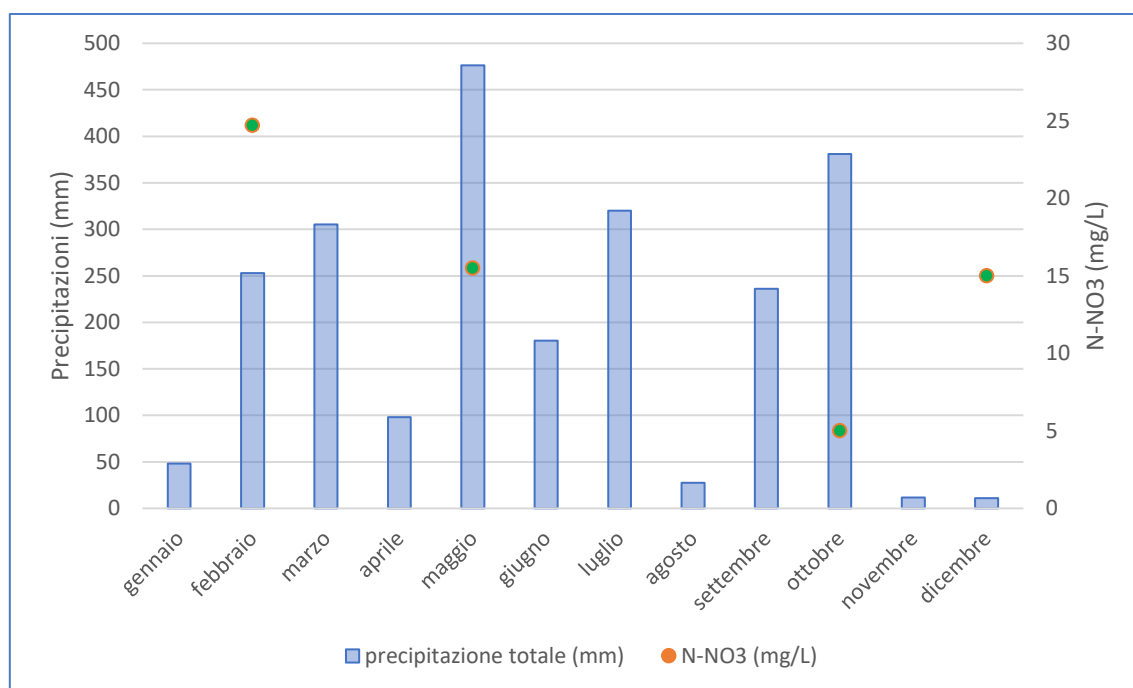


Figura 12. Contenuto di nitrati (mg/L) (punti) nelle acque campionate nella stazione di Varese in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Varese (colonne azzurre).

❖ Stazione di Caravaggio – Bg (MP)

Nella stazione di Caravaggio (**Figura 13**), situata nell'ambito di un terreno gestito a pioppeto presso un'azienda suinicola, i valori si attestano mediamente in una classe a rischio di superamento dei valori limite (49,0 mg/L). Anche in questo caso, il livello di inquinamento delle acque è determinato esclusivamente da un solo valore eccezionalmente elevato riscontrato nel mese di settembre (180 mg/L di ione nitrico).

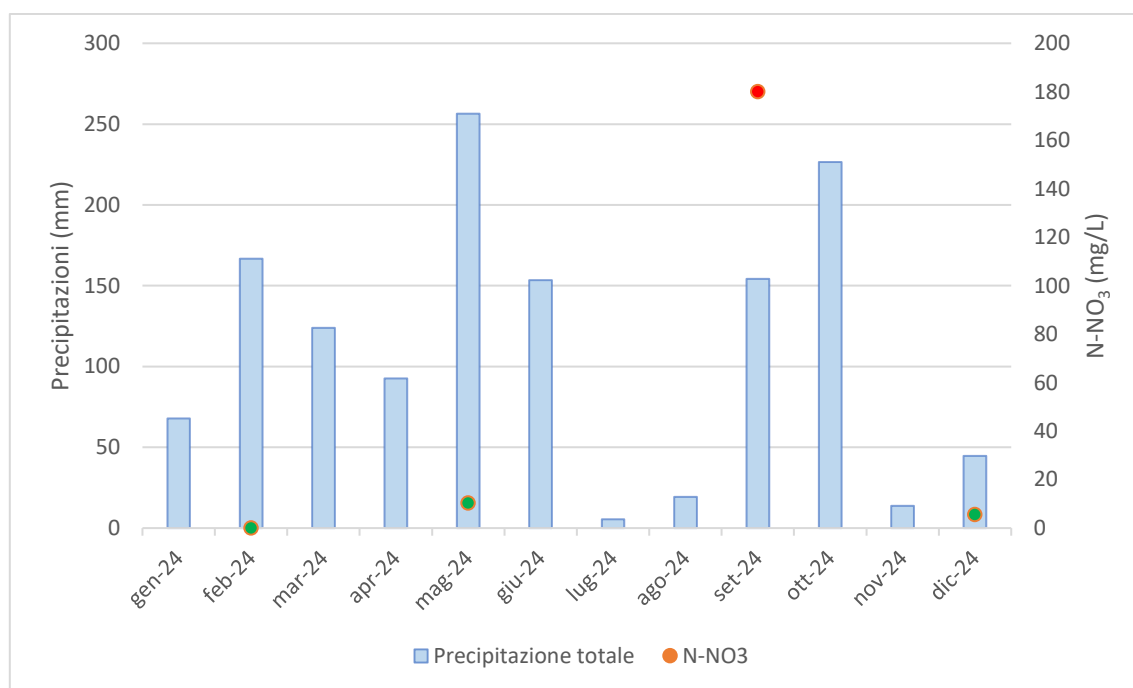


Figura 13. Contenuto di nitrati (mg/L) (punti) nelle acque campionate nella stazione di Caravaggio in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Mozzanica (colonne azzurre).

❖ Stazione di San Giorgio Bigarello – Mn (BPE)

Nella stazione di San Giorgio Bigarello (**Figura 14**), situata nell'ambito di un terreno in un'azienda a seminativi, nel corso del 2024 i valori si attestano mediamente in una classe considerata con acque di buona qualità (8,5 mg/L) con valori molto bassi e una tendenza crescente nel corso dell'anno.

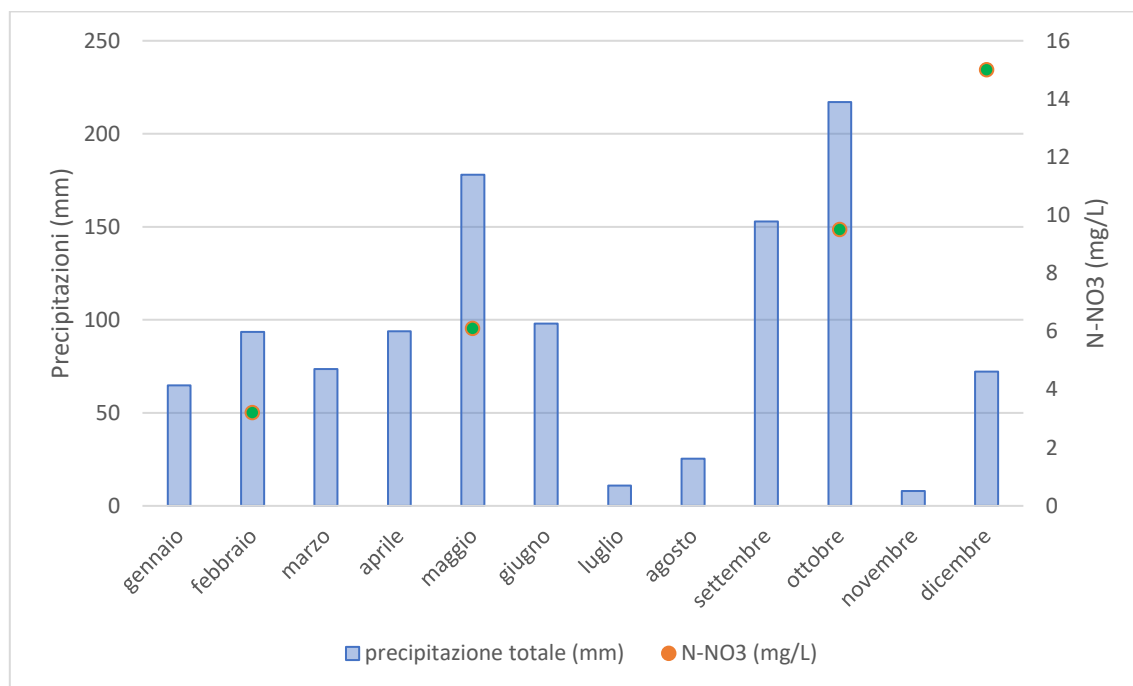


Figura 14. Contenuto di nitrati (mg/L) (punti) nelle acque campionate nella stazione di San Giorgio Bigarello in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Bigarello (colonne azzurre).

❖ Stazione di Canneto sull'Oglio – Mn (BPC)

Nella stazione di Canneto sull'Oglio (**Figura 15**), situata nell'ambito di un terreno a prato, nel corso del 2024 i valori si attestano mediamente in una classe di acque di buona qualità (19,0 mg/L). Il valore più alto, l'unico oltre la "soglia di significatività", è stato registrato a ottobre (39,0 mg/L).

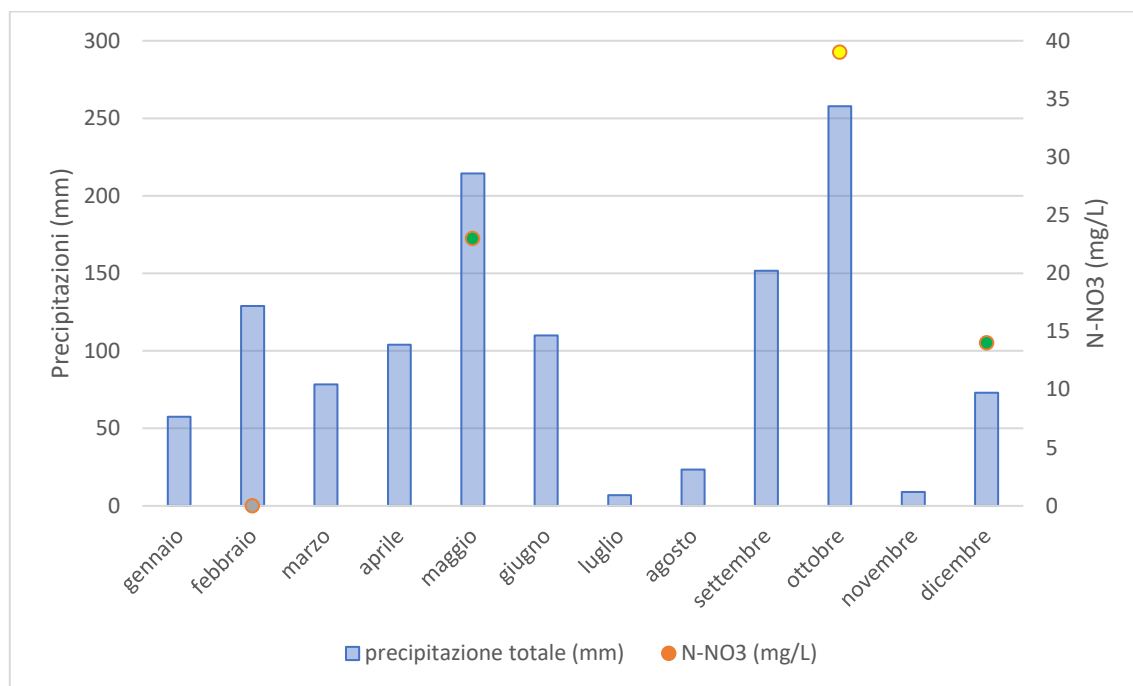


Figura 15. Contenuto di nitrati (mg/L) (punti) nelle acque campionate nella stazione di Canneto sull'Oglio in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Asola (colonne azzurre).

❖ Stazione di Abbiategrasso – Mi (BPO)

Nella stazione di Abbiategrasso (**Figura 16**), situata su un terreno posto all'interno di un'azienda a orticole, nel corso del 2024 i valori si attestano mediamente in una classe considerata con acque di buona qualità (19,3 mg/L). Il valore più alto, l'unico oltre la "soglia di significatività", è stato registrato a ottobre (30 mg/L).

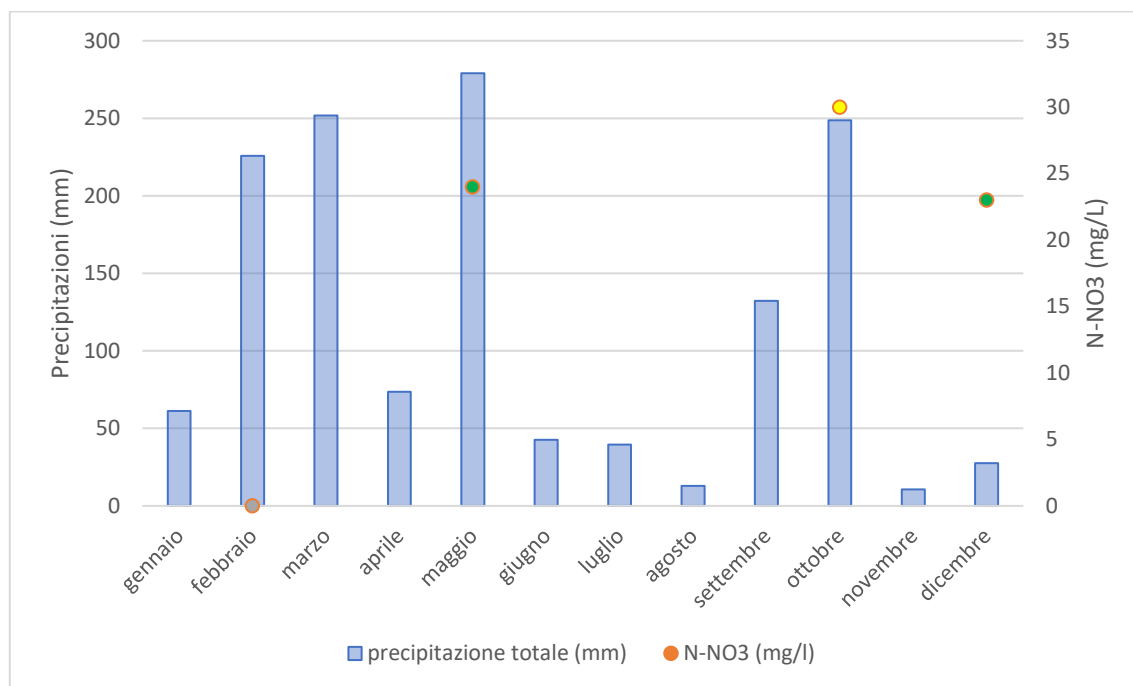


Figura 16. Contenuto di nitrati (mg/L) (punti rossi) nelle acque campionate nella stazione di Abbiategrasso in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Magenta (colonne azzurre).

3.3.2 Fosfati disciolti

La maggior parte delle analisi condotte sulla concentrazione di fosfati disciolti nei campioni di acqua di falda ipodermica del 2024 ha evidenziato valori inferiori al limite di rilevabilità. Solo 3 campioni hanno registrato valori superiori, in particolare due nella stazione di Desenzano del Garda (0,2 mg/L e 9,63 mg/L) (**Figura 17**) e uno nella stazione di Orzinuovi (0,5 mg/L). In tutti in casi, le uniche concentrazioni oltre il limite di rilevabilità sono state rilevate in corrispondenza dei picchi annui di precipitazione per il 2024, nello specifico maggio e ottobre.

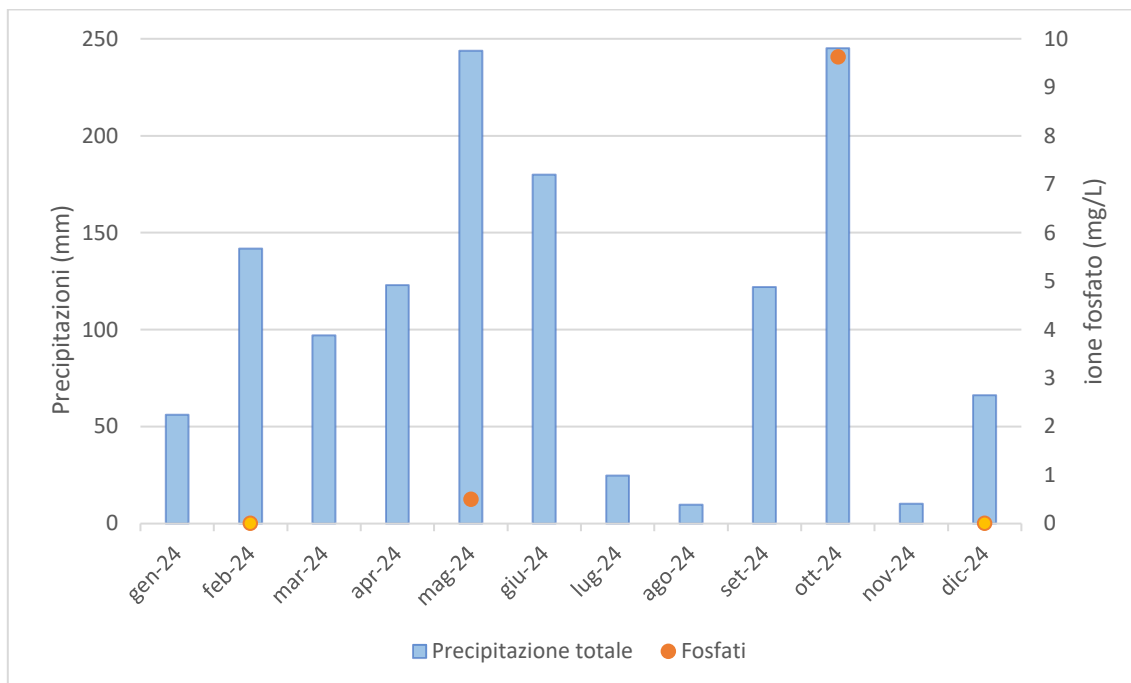


Figura 17. Contenuto di fosfati (mg/L) (punti) nelle acque campionate nella stazione di Desenzano in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Montichiari Boschetti (colonne azzurre).

4 BIBLIOGRAFIA

D.lgs 16 marzo 2009, n. 30 - *Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento.*

D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. *Norme in materia ambientale.*

Decreto Ministeriale del 13/09/1999. *Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo.*
Supplemento Ordinario n. 185 – G.U. n. 248 del 21 ottobre 1999 e ss.mm.ii.

ERSAF (2011). *Carta dei Suoli della Lombardia.*

ERSAF (2020-2022). *Identificazione dei valori di fondo geochimico dei metalli nei suoli della pianura lombarda - analisi preliminare.*

Metodo Olsen, rif. XV.3 Suppl. ordinario G.U. n. 248 del 21/10/99.

Sullivan D.M., Cogger C.G. (2003). *Post-harvest soil nitrate testing for manured cropping systems west of the Cascades.* Oregon State University Extension Service. EM8832-E.