

PIANO DI MONITORAGGIO DEI SUOLI E DEI SISTEMI AGRICOLI

2020-2023

RAPPORTO
Annualità 2022

1. ARTICOLAZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO	3
2. RETE PER IL MONITORAGGIO DIFFUSO DEI SUOLI.....	5
2.1. Metodica di campionamento	6
2.2. Epoca di campionamento	7
2.3. Parametri analizzati	8
2.4. Risultati: elaborazioni post-raccolta 2022.....	8
2.4.1. Elaborazione dati: azoto.....	8
2.4.2. Elaborazione dati: fosforo	11
2.4.3. Elaborazione dati: Carbonio Organico	13
2.4.4. Elaborazione dati: rapporto C/N.....	15
2.5. Risultati: confronti 2022 vs 2021	16
2.5.1. Confronto presemina 2022 e post-raccolta 2021	16
2.5.2. Confronto post-raccolta 2022 e post-raccolta 2021.....	18
3. RETE PER IL MONITORAGGIO DELLA FALDA ACQUIFERA IPODERMICA.....	20
3.1. Metodica di campionamento	20
3.2. Epoca di campionamento	20
3.3. Parametri analizzati	20
3.4. Risultati	21
3.4.1. Elaborazione dati: azoto.....	21
3.4.2. Elaborazione dati: fosforo	24
4. BIBLIOGRAFIA.....	25

1. ARTICOLAZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO

L'obiettivo del monitoraggio è creare un modello di verifica della sostenibilità delle pratiche di fertilizzazione basate su aziende rappresentative della pianura lombarda monitorate in continuo al fine di fornire un quadro generale dello stato qualitativo dei suoli agricoli 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 e aggiornate nel 2021 prendendo in considerazione diversi fattori agro-ambientali, tra cui la qualità delle acque sotterranee (dati ARPA 2018) (**Tabella 1**), il carico zootecnico (dati Sis.Co. 2021) (**Tabella 2**), la SAU e le tipologie di coltura per ogni FA partendo dall'Uso Agricolo del Suolo (USAGR_2021, Piano Colturale Grafico 2021 e Dusaf 2018) (**Tabella 3**). La suddivisione geografica delle FA resterà 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 Programma d'Azione nelle ZVN 2020-2023. Nella **Tabella 4** vengono, inoltre, riportate le principali tipologie di suolo prevalente per ogni FA.

Tabella 1. Caratterizzazione delle FA per la qualità delle acque sotterranee - % pozzi con concentrazione di nitrato appartenenti alle diverse classi (dati ARPA 2018)

Denominazione FA	n. pozzi	Qualità delle acque sotterranee			
		% pozzi in classi NO ₃ mg/l			
		< 25 mg/l	25-40 mg/l	40-50 mg/l	> 50 mg/l
Alta Pianura Est	75	49%	31%	11%	9%
Alta Pianura Ovest	107	38%	42%	15%	5%
Media Pianura	35	69%	23%	3%	6%
Bassa Pianura Est	47	94%	4%	2%	0%
Bassa Pianura Centrale	36	89%	3%	6%	3%
Bassa Pianura Ovest	111	84%	14%	2%	1%

Per quanto riguarda il carico zootecnico (**Tabella 2**), questo è stato ottenuto partendo dalla Banca Dati Regionale sulla consistenza degli allevamenti e stimando la produzione di azoto al campo tramite le apposite tabelle. Quanto ottenuto è stato poi ripartito sulla superficie agricola utilizzata stimata partendo dal Piano colturale grafico delle aziende agricole di Regione Lombardia (Sis.Co 2021). Dal punto di vista grafico, eventuali mancanze di informazioni sono state sopperite utilizzando il Dusaf 2018.

Tabella 2. Caratterizzazione delle FA per carico zootecnico (kg/ha) e % SAU (DUSAF 2022 – Sis.Co. 2022)

Denominazione FA	Carico di N da e.a. 2018	Carico di N da e.a. su USAGR 2022 (kg N/ha)	% SAU sul territorio 2022
Alta Pianura Est	188	205	53%
Alta Pianura Ovest	62	57	29%
Media Pianura	269	286	75%
Bassa Pianura Est	134	140	78%
Bassa Pianura Centrale	132	144	79%
Bassa Pianura Ovest	52	58	69%

Tabella 3. Caratterizzazione delle FA - % delle principali colture (DUSAF 2022 – Sis.Co. 2022)

Denominazione FA	SAU (ha)	MAIS	FORAGGERE	ALTRI CEREALI	COLTURE ARBOREE	ALTRO
Alta Pianura Est	126241,55	28,68%	28,66%	9,18%	9,91%	23,57%
Alta Pianura Ovest	73863,69	16,08%	20,81%	12,07%	0,64%	50,40%
Media Pianura	128044,35	38,72%	23,36%	12,53%	0,45%	24,95%
Bassa Pianura Est	127835,19	24,00%	27,76%	19,01%	1,40%	27,83%
Bassa Pianura Centrale	281640,07	19,83%	12,87%	8,67%	4,26%	54,38%
Bassa Pianura Ovest	123237,29	41,17%	35,33%	8,06%	0,20%	15,23%

Tabella 4. Caratterizzazione dei suoli prevalenti per ciascuna FA

Denominazione FA	Caratteristiche dei suoli prevalenti
Alta Pianura Est	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.
Alta Pianura Ovest	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 e levata e drenaggio da moderatamente rapido a buono.
Media Pianura	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.
Bassa Pianura Est	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.
Bassa Pianura Centrale	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.
Bassa Pianura Ovest	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.

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

1. L'individuazione di circa 90 punti di monitoraggio/anno per il campionamento dei suoli.
2. La definizione di una rete di monitoraggio per il campionamento della falda acquifera ipodermica (profondità 0-3 m) tramite l'installazione a regime di una rete di piezometri (indicativamente 3 siti per FA).

Nella seguente **Figura 1** si riporta la delimitazione delle FA in pianura e le relative stazioni di monitoraggio 2022.

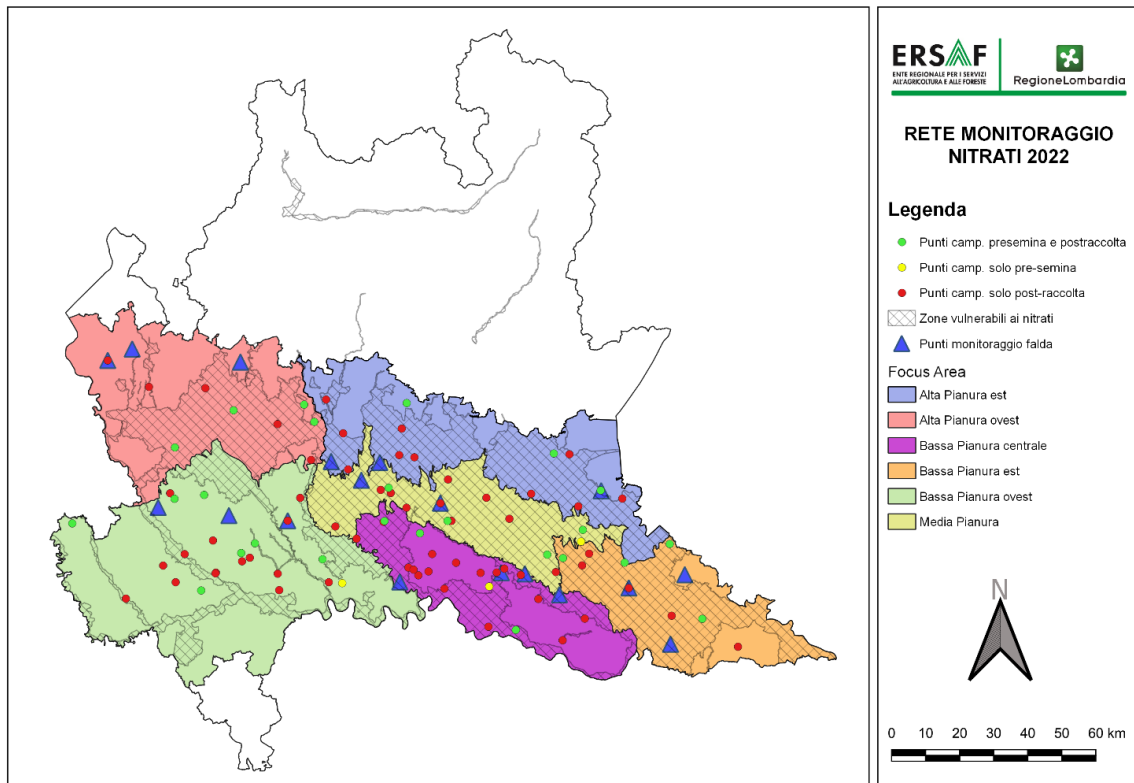


Figura 1. Delimitazione delle FA e relative stazioni di monitoraggio 2022.

2. RETE PER IL MONITORAGGIO DIFFUSO DEI SUOLI

Nell'anno 2022 è stato eseguito il monitoraggio dei suoli in un totale di 115 punti (**Tabella 5**), di cui 25 sono stati campionati sia in pre-semina sia in post-raccolta, 3 solo in pre-semina e la restante parte solo in post-raccolta, per un totale di 90 aziende monitorate (**Figura 1**).

Tabella 5. Numero di campioni raccolti nel 2022 alle diverse profondità

	profondità 0-30 cm	profondità 30-60 cm	profondità 60-90 cm
PRE-SEMINA	28	28	26
POST-RACCOLTA	87	86	75
TOTALE	115	114	101

La distribuzione dei punti di monitoraggio in funzione delle caratteristiche aziendali e della loro posizione è riportata nella **Tabella 6** e nella **Figura 2**: come previsto dal Piano di Monitoraggio, tali punti sono stati selezionati 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, modalità di gestione.

Tabella 6. Tipologie aziendali campionate tra presemina e post raccolta nel 2022

TIPOLOGIA AZIENDALE CAMPIONATA	N. campioni presemina	N. campioni post-raccolta
SUINI	2	16
FANGHI	2	6
BOVINE	10	24
BOVINE BIOLOGICHE	-	1
AVICOLI	8	18
DIGESTORE	2	7
BIOLOGICHE	2	5
SUINI/BOVINI/GESSI	1	1
SEMINATIVI (LIQUAME BOVINE)	-	1
SEMINATIVI (CORNUNGHIA)	-	1
BOVINI DA CARNE	1	4
GESSI	-	1
SUINI/BOVINI/FANGHI	-	1
SEMINATIVI (LIQUAME SUINI)	-	1

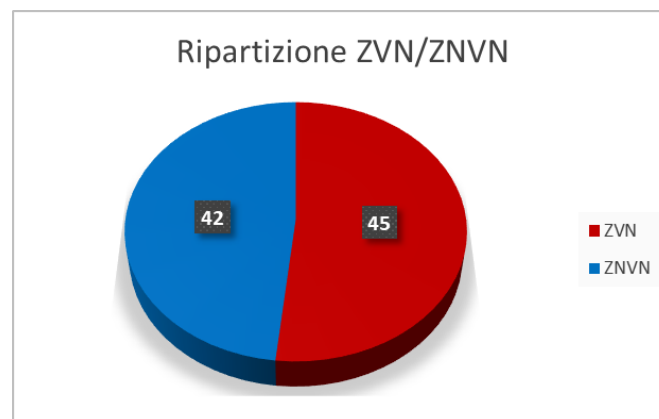


Figura 2. Ripartizione dei campioni eseguiti in post-raccolta in ZVN e ZNVN.

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 e 60-90 cm. Da ciascuno di tali campioni compositi è stato ricavato circa 1 kg di terreno, successivamente consegnato al laboratorio di analisi.

2.2. Epoca di campionamento

Sono state eseguite n. 2 campagne di campionamento in funzione dei tempi legati alla coltivazione dei cereali primaverili-estivi, maggiormente diffusi in regione:

- i. in presemina (gennaio-marzo);
- ii. in post-raccolta (tra agosto e novembre).

I campionamenti sono stati eseguiti prima degli interventi autunnali o primaverili di preparazione del terreno alla semina (come la distribuzione degli effluenti di allevamento e dei concimi e le operazioni di aratura) in modo da avere condizioni confrontabili tra i suoli oggetto di analisi, escludendo fattori esterni di origine antropica.

Nello specifico, sono stati oggetto di monitoraggio 28 siti in presemina e 87 siti in post-raccolta (**Figura 1**), la maggior parte dei quali (54) coltivati a mais (**Figura 3**). I campionamenti sono stati eseguiti anche in aree coltivate a cereali autunno vernini, riso, soia e in prati e, in misura inferiore, su “altre colture”.

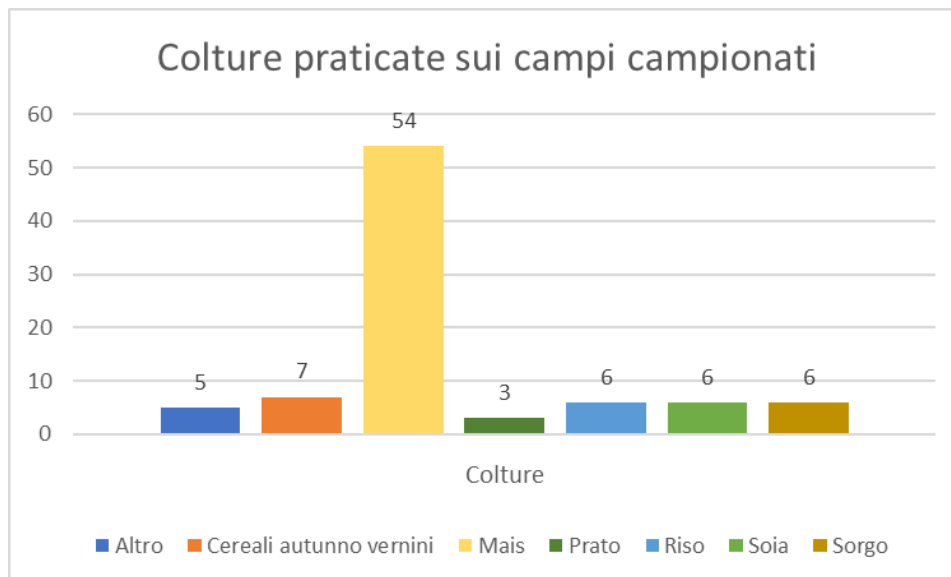


Figura 3. Ripartizione delle colture praticate sui campi campionati.

2.3. Parametri analizzati

Le determinazioni analitiche sono state eseguite, in accordo con i metodi ufficiali di analisi chimica e fisica del suolo, presso un laboratorio di analisi esterno accreditato per la determinazione dei parametri riportati in **Tabella 7**.

Tabella 7. *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 13/09/99 SO GU n° 248 21/10/99 Met VII.1
Azoto totale (come N)	DM 13/09/99 SO GU n° 248 21/10/99 Met VII.1
Azoto nitrico (come N)	DM 13/09/99 SO GU n° 248 21/10/99 Met IV.2 + DM 25/03/2002 GU n°84 10/04/2002
Fosforo assimilabile (come P)	DM 13/09/99 SO GU n° 248 21/10/99 Met XV.3

Come riportato in **Tabella 8**, ad ognuna delle tre profondità, è stato analizzato il contenuto di nitrati (azoto nitrico [NO₃-N]), azoto totale (metodo Kjeldahl - TKN) e fosforo disponibile (P₂O₅); inoltre, è stato valutato anche il contenuto di carbonio organico (CO).

Tabella 8. *Parametri analizzati sui campioni di suolo raccolti nel 2022*

	2022		
	0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
NO₃-N	X	X	X
TKN	X	X	X
P₂O₅	X	X	X
CO	X	X	X
C/N*	X	X	X

*ricavato

2.4. Risultati: elaborazioni post-raccolta 2022

Nel presente paragrafo si riportano i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dei suoli nell'ambito della campagna di campionamento eseguita nell'autunno 2022.

2.4.1. Elaborazione dati: azoto

Nella **Tabella 9** sono rappresentati i dati di sintesi descrittiva relativi al contenuto medio (\pm deviazione standard) di azoto nitrico (NO₃-N) nei suoli, suddivisi per *Focus Area* (FA) in funzione delle diverse profondità di campionamento in post-raccolta. Si può notare come i valori in tutte le FA siano molto simili tra di loro, con trend di diminuzione scendendo in profondità; fanno eccezione i valori riscontrati nella Bassa Pianura Ovest (prevalentemente caratterizzata dalla coltivazione del riso), che risultano i più bassi per ciascuna profondità con una certa costanza lungo il profilo. La Bassa Pianura Centrale (che presenta il valore più elevato nello strato superficiale) e l'Alta Pianura Est (caratterizzata dai valori più elevati in profondità) risultano le FA con la maggiore concentrazione media di azoto nitrico nel suolo.

Tabella 9. Concentrazione media (\pm SQM) di $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg) residuale per FA a diverse profondità

Focus Area	Profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta Pianura Est	19,9 \pm 22,9	17,1 \pm 18,3	13,3 \pm 15,8
Alta Pianura Ovest	20,8 \pm 24,7	11,1 \pm 13,7	8,5 \pm 9,7
Media Pianura	18,9 \pm 19,5	12,3 \pm 13,7	11,9 \pm 12,2
Bassa Pianura Est	18,8 \pm 17,7	13,9 \pm 12,7	9,1 \pm 9,6
Bassa Pianura Centrale	24,7 \pm 31,6	14,2 \pm 17,5	8,1 \pm 8,4
Bassa Pianura Ovest	8,9 \pm 9,6	9,0 \pm 14,6	8,8 \pm 14,0
Pianura totale	18,0 \pm 22,0	12,7 \pm 15,3	9,7 \pm 11,6

Tutto il dataset è caratterizzato da una notevole variabilità, evidenziata dall'elevata deviazione standard di tutti i gruppi considerati. Nella **Tabella 10** si riportano i valori medi (\pm deviazione standard) per FA e per coltura alle diverse profondità di campionamento. Per alcune colture, è necessario tenere in considerazione il basso numero di repliche (1-2 per FA) e quindi la scarsa rappresentatività del dato, che comunque si è deciso di non aggregare.

Tabella 10. Concentrazione media (\pm SQM) di $\text{NO}_3\text{-N}$ per FA a diverse profondità per diverse colture

Colture	Focus Area	Profondità di campionamento		
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Cereale autunno vernino	Alta Pianura Est	27,0	14,0	-
	Alta Pianura Ovest	3,5 \pm 3,5	2,0 \pm 1,4	1,0
	Bassa Pianura Est	34,0	19,0	5,0
	Bassa Pianura Ovest	6,0 \pm 5,0	4,0 \pm 3,6	1,5 \pm 2,1
Mais	Alta Pianura Est	22,6 \pm 24,8	14,7 \pm 14,3	8,1 \pm 6,9
	Alta Pianura Ovest	40,0 \pm 26,6	18,8 \pm 17,1	13,3 \pm 11,7
	Media Pianura	18,1 \pm 19,8	8,8 \pm 9,2	10,7 \pm 12,6
	Bassa Pianura Est	21,9 \pm 17,6	17,0 \pm 12,9	12,0 \pm 10,2
	Bassa Pianura Centrale	33,4 \pm 35,0	18,6 \pm 19,6	10,0 \pm 9,4
	Bassa Pianura Ovest	11,4 \pm 7,0	9,9 \pm 7,4	10,6 \pm 6,6
Prato	Alta Pianura Ovest	4,0	1,0	-
	Bassa Pianura Centrale	18,0	13,0	10,0
Riso	Bassa Pianura Ovest	5,3 \pm 4,3	3,2 \pm 2,2	2,7 \pm 2,1
Soia	Alta Pianura Est	5,0	60,0	49,0
	Bassa Pianura Centrale	2,5 \pm 2,1	3,5 \pm 2,1	4,0 \pm 5,7
Sorgo	Alta Pianura Ovest	8,0 \pm 7,1	10,0 \pm 11,3	10,0
	Media Pianura	11,0 \pm 15,6	16,0 \pm 22,6	12,5 \pm 14,9
	Bassa Pianura Centrale	5,0	4,0	4,0
Altre colture	Bassa Pianura Centrale	3,5 \pm 5,0	1,5 \pm 2,1	1,0
	Bassa Pianura Ovest	41,0	67,0	61,0
	Media Pianura	44,0	43,0	23,0

Per il mais, ampiamente rappresentato nei suoli oggetto di campionamento, si riconferma la tendenza generale, già individuata anche in precedenza: è presente una riduzione del contenuto di $\text{NO}_3\text{-N}$ residuale lungo il profilo tra lo strato più superficiale (0-30 cm) e quelli più profondi (30-60 e 60-90 cm), ad eccezione della Bassa Pianura Ovest dove si rileva una concentrazione pressoché costante lungo il profilo che si mantiene, comunque, molto bassa.

Il contenuto di nitrati del suolo può fornire utili informazioni sia sul rischio potenziale di perdita di nitrati (non assorbiti dalla coltura), sia sull'efficienza della 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 11**).

Tabella 11. 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 4** rappresenta i siti campionati suddivisi secondo l'appartenenza alle classi di Sullivan e Cogger in funzione del contenuto di azoto nitrico nell'orizzonte superficiale (0-30 cm): la maggioranza dei siti monitorati (72%) ricade nella Classe I, mentre nella Bassa Pianura Centrale, nella Media Pianura e nella Bassa Pianura Est risultano concentrati la maggior parte di quelli ricadenti in Classe II; i punti ricadenti in Classe III tendono a concentrarsi in un'area specifica, posta principalmente sul confine tra Brescia, Cremona.

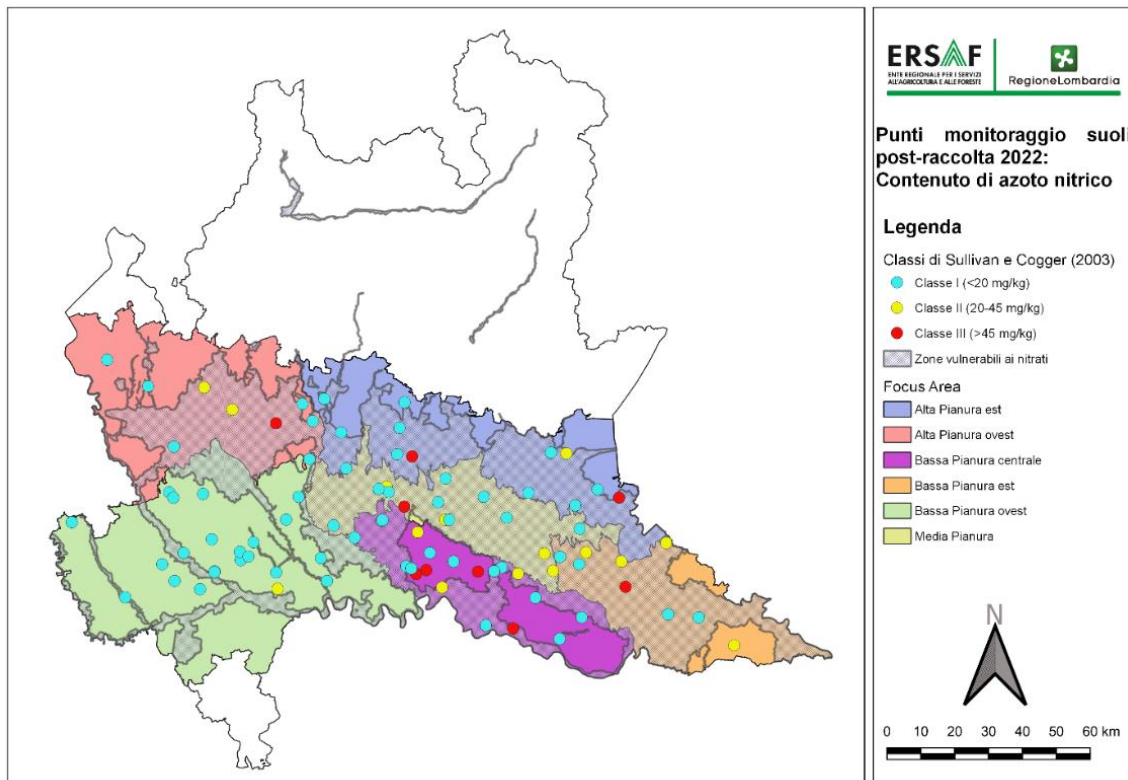


Figura 4. Carta del contenuto di $\text{NO}_3\text{-N}$ nel primo strato di suolo (0-30 cm) nelle diverse FA, in relazione all'appartenenza alle classi di Sullivan e Cogger.

Una valutazione dettagliata dei singoli punti di monitoraggio rivela, inoltre, che dei 24 siti in Classe II e III che superano la soglia di 20 mg/kg di azoto nitrico, circa l'80% risulta coltivato a mais; i siti che rientrano nella Classe III risultano tutti coltivati a mais.

2.4.2. Elaborazione dati: fosforo

Per quanto riguarda il fosforo, non esistono test usati per intervenire in tempo reale sulle concimazioni, considerata anche la ridotta mobilità nel tempo dell'elemento. Il metodo Olsen permette di stimare la quantità di fosforo assimilabile presente in soluzione e quindi disponibile. L'analisi del fosforo assimilabile ha lo scopo di valutare il comportamento del suolo nei confronti dell'asporto o dell'aggiunta di fosforo. In generale si può affermare che per valori inferiori a 34 mg/kg di fosforo estratto con il metodo Olsen (espresso come P₂O₅), la maggior parte delle colture risponde alla fertilizzazione fosfatica, mentre una disponibilità superiore è in grado di assicurare lo sviluppo di gran parte delle colture. Vi sono, inoltre, strette relazioni (con r² tra 0,5 e 0,9) tra il fosforo estraibile con i metodi Olsen o Bray-Kurtz nei primi 5 cm di suolo e il contenuto di fosforo disciolto nell'acqua di run-off superficiale (Wolf et al, 1985; Sharpley et al. 1996; McDowell e Sharpley, 2003) che indicano, comunque, soglie di pericolosità per le acque dei bacini idrici superficiali, superiori a 70 mg/kg di P₂O₅.

La **Tabella 12** riporta i risultati dell'analisi del contenuto di P₂O₅ assimilabile (mg/kg) nei suoli a diverse profondità per FA. In un contesto generale caratterizzato da alti valori medi, pur con elevate variabilità, in tutte le FA negli orizzonti superficiali e trend di diminuzione lungo i profili, l'Alta Pianura Est e la Media Pianura presentano le situazioni più problematiche. Nel complesso, la diminuzione della concentrazione media di P₂O₅ tra lo strato superficiale (0-30 cm) e sotto-superficiale (30-60 cm) si attesta attorno al 40%, mentre la riduzione tra quest'ultimo e lo strato profondo (60-90 cm) è del 50% circa.

Tabella 12. Concentrazione media (\pm SQM) di P₂O₅ (mg/kg) residuale per FA a diverse profondità di campionamento

Focus Area	profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta pianura est	152,3 \pm 88,1	92,5 \pm 63,8	38,2 \pm 19,7
Alta pianura ovest	72,6 \pm 54,7	47,3 \pm 33,6	23,4 \pm 8,0
Media pianura	120,1 \pm 58,5	71,0 \pm 45,1	34,7 \pm 25,3
Bassa pianura est	61,3 \pm 41,0	34,8 \pm 22,9	20,1 \pm 10,5
Bassa pianura centrale	70,4 \pm 52,9	40,8 \pm 29,5	20,7 \pm 9,8
Bassa pianura ovest	85,8 \pm 72,3	56,2 \pm 53,2	38,2 \pm 35,5
Pianura totale	93,7 \pm 69,6	57,3 \pm 47,4	29,6 \pm 23,6

Nella **Tabella 13** vengono riportati i dati suddivisi per profondità e per coltura nelle diverse FA. Per quanto riguarda il mais, ampiamente rappresentato nei suoli oggetto di campionamento, i valori più elevati si riscontrano nell'Alta Pianura Est, nell'Alta Pianura Ovest e nella Media Pianura, dove maggiori sono i carichi zootecnici. Anche se il dato risulta meno rappresentativo in virtù di un minor numero di campioni, i valori più bassi si rilevano per riso e prati.

Tabella 13. Concentrazione media (\pm SQM) di P_2O_5 (mg/kg) residuale per FA nei suoli a diverse profondità per diverse colture

Colture	Focus Area	Profondità di campionamento		
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Cereale autunno vernino	Alta pianura est	78	63	-
	Alta pianura ovest	67,5 \pm 41,7	47,6 \pm 21,8	18,4
	Bassa pianura est	26,2	25,8	19
	Bassa pianura ovest	45,6 \pm 17,4	35,1 \pm 6,3	33,5 \pm 9,3
Mais	Alta pianura est	148,9 \pm 91,8	94,1 \pm 70,2	36,0 \pm 20,2
	Alta pianura ovest	101,6 \pm 68,7	63,8 \pm 44,2	28,7 \pm 8,6
	Media pianura	115,9 \pm 59,3	69,0 \pm 40,5	36,9 \pm 27,3
	Bassa pianura est	68,9 \pm 43,9	37,2 \pm 25,9	18,2 \pm 9,9
	Bassa pianura centrale	77,2 \pm 61,7	45,8 \pm 34,5	20,9 \pm 11,9
	Bassa pianura ovest	104,0 \pm 91,7	65,1 \pm 63,6	44,4 \pm 54,5
Prato	Alta pianura ovest	22,2	18,7	17,9
	Bassa pianura centrale	81,0	44,4	24,5
	Bassa pianura ovest	46,0	18,1	21,7
Riso	Bassa pianura ovest	66,6 \pm 17,1	41,0 \pm 14,0	31,4 \pm 4,5
Soia	Alta pianura est	260,0	141,0	53,4
	Bassa pianura est	82,0	46,7	39,1
	Bassa pianura centrale	27,6 \pm 4,7	21,4 \pm 0,4	19,1 \pm 2,5
	Bassa pianura ovest	59,6 \pm 16,1	34,7	28,6
Sorgo	Alta pianura est	153,0	58,0	-
	Alta pianura ovest	45,0 \pm 22,7	28,4 \pm 8,6	17,7
	Media pianura	154,5 \pm 78,5	100,5 \pm 82,8	31,9 \pm 20,3
	Bassa pianura centrale	68,0	26,4	18,6
Altre colture	Media pianura	97,0	34,4	15,7
	Bassa pianura est	22,4	14,5	15,4
	Bassa pianura centrale	64,8 \pm 11,6	32,75 \pm 0,8	21,0
	Bassa pianura ovest	250,0	190,0	65,0

Il contenuto di P_2O_5 del suolo in post raccolta fornisce utili informazioni sullo squilibrio della concimazione fornita alla coltura ed è un elemento utile per bilanciare le fertilizzazioni nell'anno successivo. In **Tabella 14** vengono riportati i valori di riferimento.

Tabella 14. Concentrazione di P_2O_5 assimilabile (metodo Olsen) nel terreno e relativa interpretazione agronomica (da Sbaraglia e Lucci, 1994)

Valori espressi in P_2O_5 [mg/kg]	GIUDIZIO
< 14	MOLTO BASSO
14-28	BASSO
28-45	MEDIO
45-70	ALTO
>70	MOLTO ALTO

In base a questa interpretazione agronomica, circa il 50% dei campioni presenta valori “alti” (> 45 mg/kg) di fosforo disponibile, distribuiti in tutto il territorio, con prevalenza nelle FA Alta Pianura Est, Media Pianura e Bassa Pianura Ovest dove è stata riscontrata la maggioranza dei valori “molto alti”. Tali risultati sono confermati anche in **Figura 5**, dove si riporta la carta dei siti campionati, differenziati secondo l’interpretazione agronomica in **Tabella 14** in funzione del contenuto di P₂O₅ nell’orizzonte superficiale (0-30 cm).

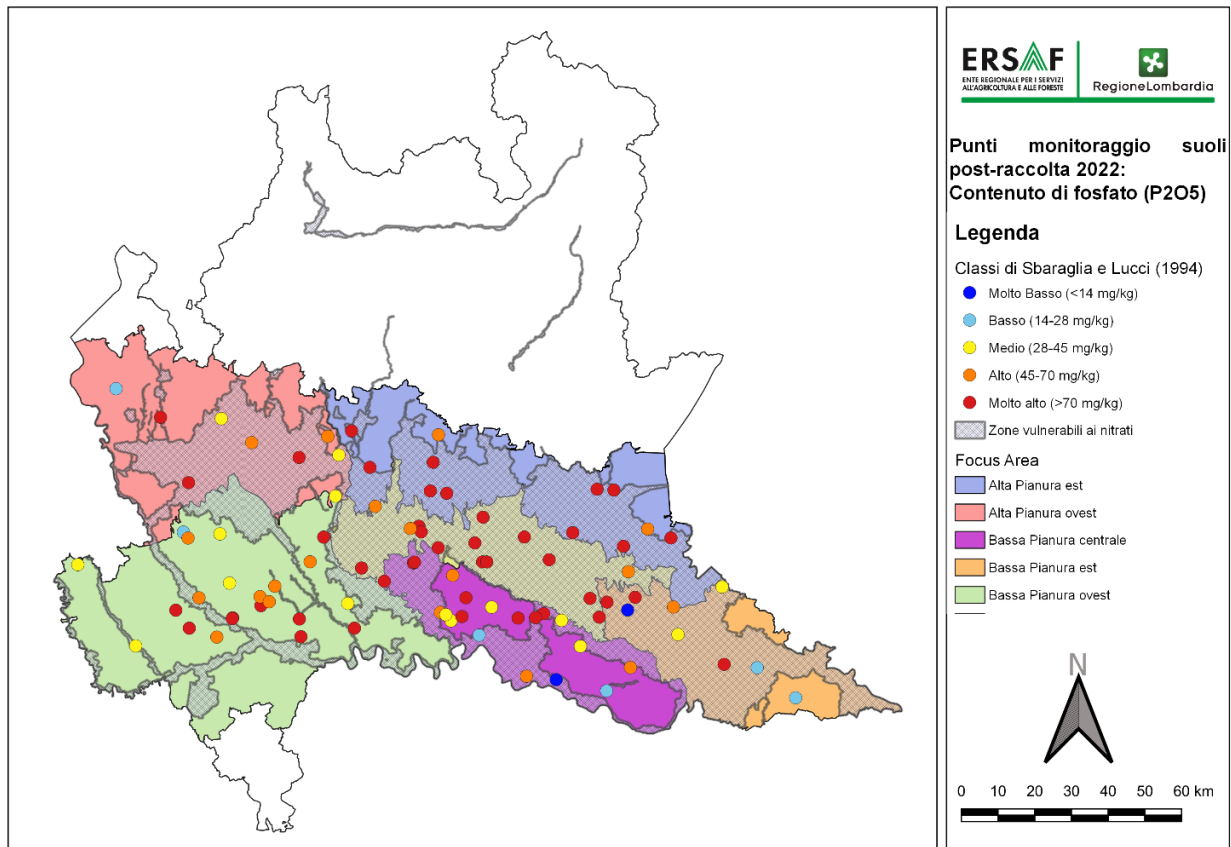


Figura 5. Carta del contenuto di P₂O₅ nell’orizzonte superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA, in relazione all’appartenenza alle classi in **Tabella 14**.

2.4.3. Elaborazione dati: Carbonio Organico

La presenza di materia organica nel suolo è essenziale per mantenere la fertilità e la struttura del suolo, assicurando il circolo dei nutrienti, l’assorbimento e la ritenzione idrica e diminuendo l’erosione. Il carbonio organico (CO) costituisce circa il 60% della materia organica, la sua presenza varia sensibilmente a seconda dell’uso e della tipologia di suolo ed è solitamente ridotta nei suoli agrari. Nella **Tabella 15** è riportata una classificazione dei suoli in base al contenuto di carbonio organico (Costantini, 2006). I dati raccolti durante la campagna di monitoraggio evidenziano un buono stato di fertilità dei suoli del territorio in quanto, in tutti i punti monitorati, gli orizzonti superficiali, indipendentemente dal tipo di coltura, superano la soglia di 9 g/kg di carbonio organico e circa il 70% presenta un contenuto di CO elevato, prevalentemente coltivati a mais. (**Figura 6**).

Tabella 15. Classificazione dei suoli in base al contenuto di carbonio organico (da Costantini, 2006)

GIUDIZIO	CO [g/kg]	CO [%]	SO [%]
<i>Molto scarso</i>	<4,5	<0,5	<0,8
<i>Scarso</i>	4,5-9,0	0,5-0,9	0,8-1,6
<i>Medio</i>	9,0-13,5	0,9-1,4	1,6-2,3
<i>Elevato</i>	13,5-18,0	1,4-1,8	2,3-3,1
<i>Molto elevato</i>	>18,0	>1,8	>3,1

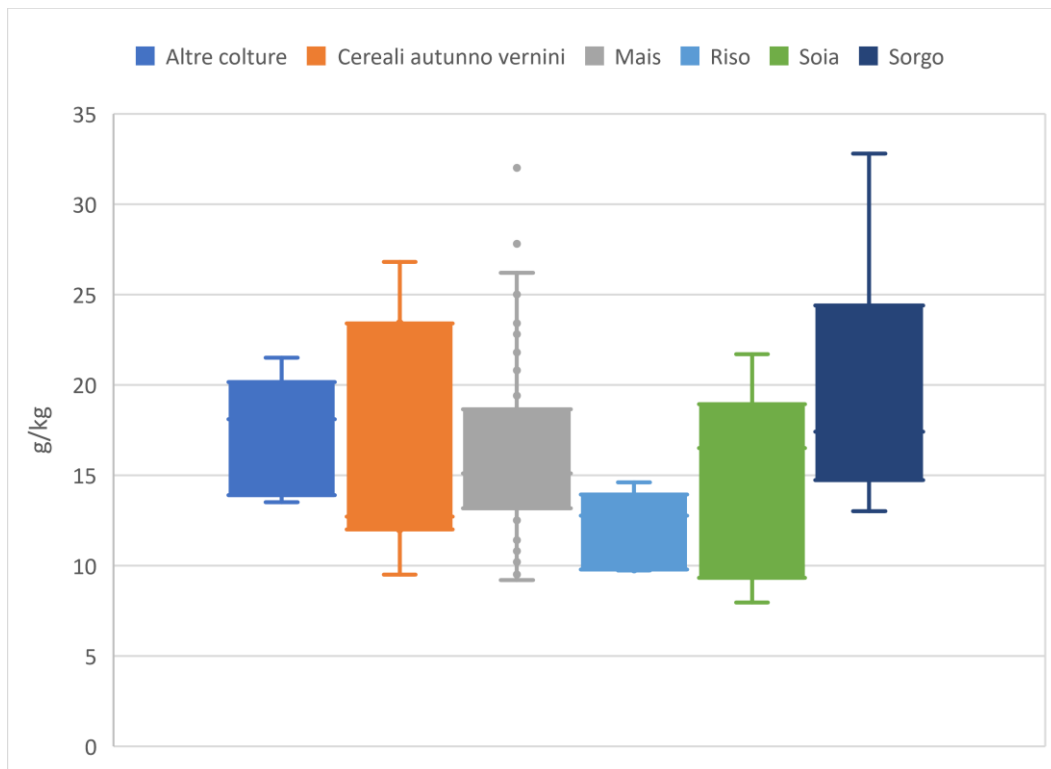


Figura 6. Box plot del contenuto di CO nel primo strato di suolo (0-30 cm) in relazione alla coltura.

Come si evince dalla **Figura 7**, la Bassa Pianura Ovest presenta un maggior numero di punti con un minor contenuto di carbonio negli orizzonti superficiali a causa, probabilmente, del minor carico zootecnico e della prevalente gestione a risaia dei suoli.

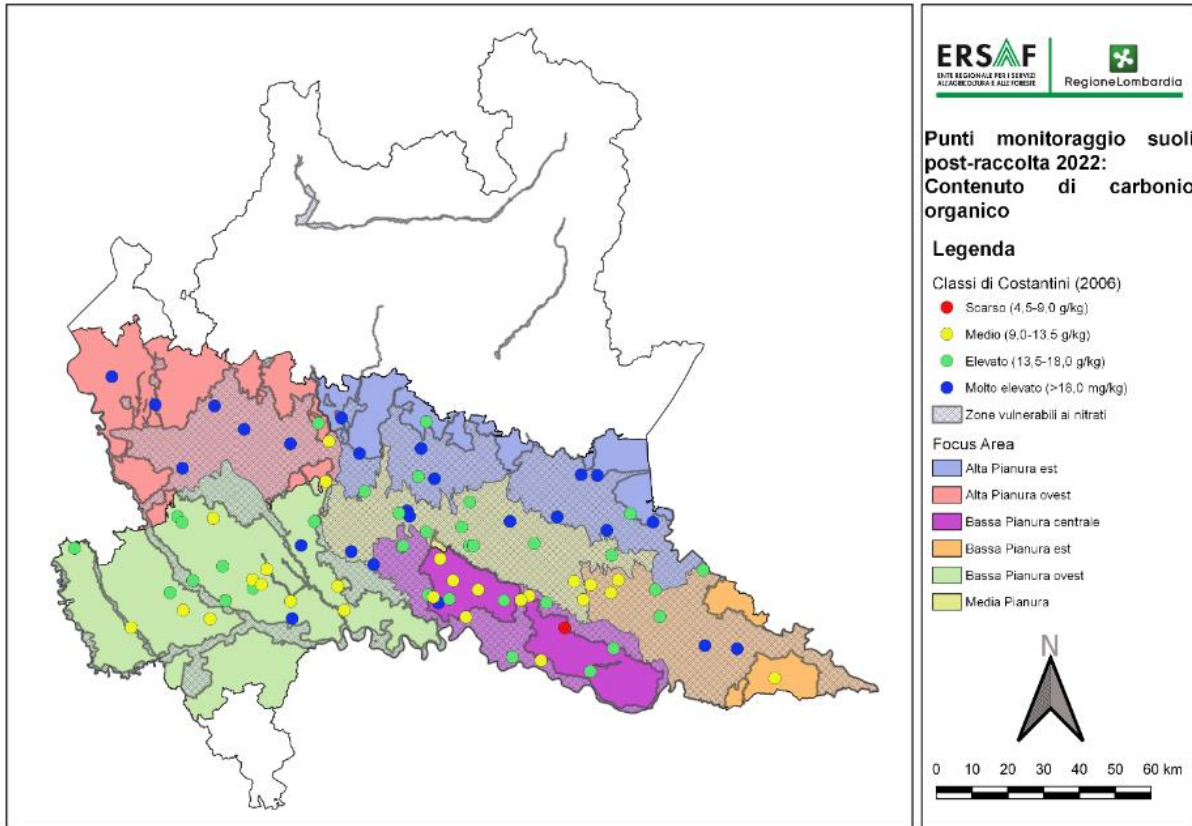


Figura 7. Carta del contenuto di carbonio organico nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA, in relazione all'appartenenza alle classi in **Tabella 15**.

2.4.4. Elaborazione dati: rapporto C/N

Un altro indicatore da tenere in considerazione, oltre al semplice valore del carbonio organico, è il rapporto C/N. Il valore di questo rapporto, infatti, fornisce utili informazioni relativamente alla velocità di mineralizzazione della sostanza organica nel terreno e, quindi, alla velocità con cui si liberano i nutrienti disponibili per le piante. Le norme tecniche agronomiche di produzione integrata di Regione Lombardia riportano i valori di riferimento in merito a questo parametro (**Tabella 16**).

Tabella 16. Rapporto C/N e relativo giudizio

Rapporto C/N (valore, giudizio e indicazioni)		
< 9	Basso	Mineralizzazione veloce
9 -12	Equilibrato	Mineralizzazione normale
> 12	Elevato	Mineralizzazione lenta

In **Figura 8** si può osservare che mediamente in tutte le FA il rapporto C/N per il top-soil presenti dei valori medi equilibrati.

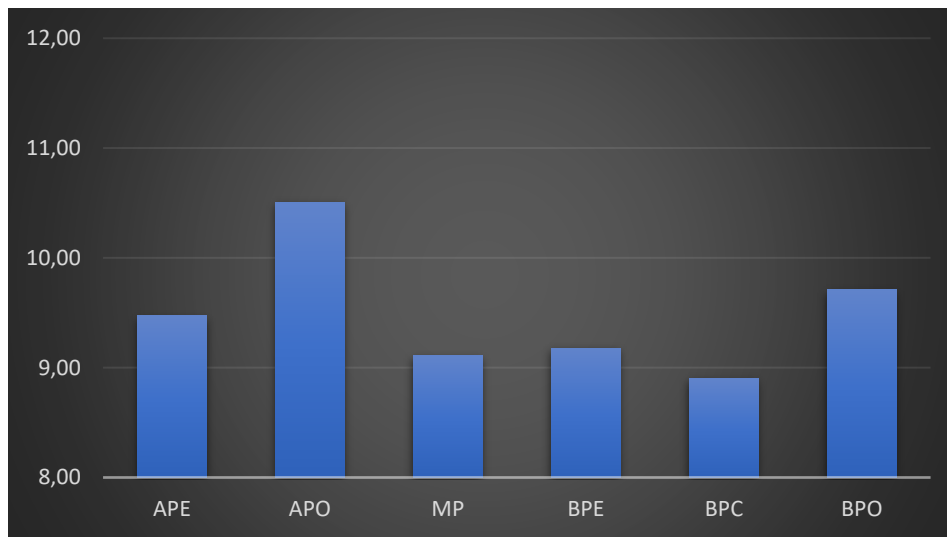


Figura 8. Rapporto C/N medio del top-soil per ogni FA.

2.5. Risultati: confronti 2022 vs 2021

Nel presente paragrafo vengono confrontati i risultati ottenuti nelle campagne di monitoraggio 2022 con quelli ottenuti nel corso delle campagne di monitoraggio 2021.

2.5.1. Confronto presemina 2022 e post-raccolta 2021

Il confronto tra i risultati ottenuti nella campagna di monitoraggio in presemina realizzata tra gennaio e marzo 2022 e quelli riscontrati in post-raccolta 2021 consente di eseguire una valutazione sul comportamento di azoto nitrico e fosforo durante il periodo invernale e su una loro eventuale lisciviazione lungo i profili dei suoli. Dei 30 punti previsti dal piano di monitoraggio è stato possibile procedere in 28 punti che erano già stati campionati in post-raccolta 2021 a causa del fatto che il terreno per essere campionabile non dovesse essere stato lavorato e/o concimato. Nella **Tabella 17** si può osservare la variazione media dell'azoto nitrico (NO₃-N) e la sua deviazione standard.

Tabella 17. Variazione media (\pm SQM) del contenuto di NO₃-N tra presemina 2022 e post-raccolta 2021

FOCUS AREA	Δ NO ₃ -N espresso in mg/kg per profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta Pianura Est	-5,83 \pm 5,01	-6,33 \pm 7,37	2,00 \pm 3,21
Alta Pianura Ovest	-36,38 \pm 18,70	-45,33 \pm 32,06	-10,67 \pm 10,91
Media Pianura	-17,80 \pm 9,44	-18,60 \pm 28,31	3,60 \pm 16,15
Bassa Pianura Est	-14,75 \pm 17,97	-9,75 \pm 14,93	6,75 \pm 10,21
Bassa Pianura Centrale	-21,00 \pm 13,52	-4,50 \pm 2,65	-2,67 \pm 3,51
Bassa Pianura Ovest	-10,29 \pm 8,23	-6,36 \pm 13,66	-1,29 \pm 2,08

I risultati, rappresentati anche nella **Figura 9**, evidenziano un generale calo delle concentrazioni di NO₃-N negli strati più superficiali (0-30 e 30-60 cm); negli orizzonti profondi (60-90 cm), invece, il calo risulta molto più limitato e in alcuni casi (APE, MP e BPE) si è avuto un effetto di accumulo, presumibilmente legato al basso livello di precipitazioni medie che si è verificato durante la stagione 2022 che quindi può aver limitato la lisciviazione dell'azoto in profondità. Fa eccezione l'Alta Pianura Ovest che risulta caratterizzata dai valori più elevati di riduzione delle concentrazioni a tutte le profondità.

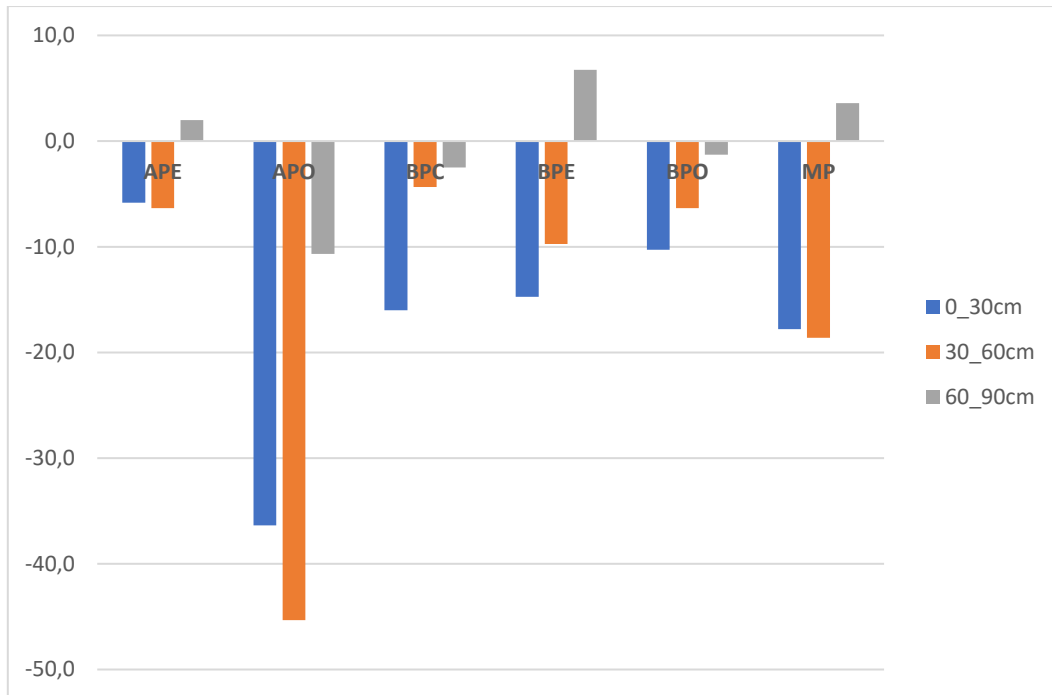


Figura 9. Variazione di N-NO₃ tra presemina 2022 e post-raccolta 2021 suddivisa per Focus Area.

Anche per il fosforo (in termini di fosforo assimilabile presente in soluzione) si è andati ad osservare la sua variazione nelle due campagne di campionamento. Come atteso in funzione della scarsa mobilità di questo elemento, i risultati ottenuti evidenziano una generale limitata variazione nel contenuto di fosforo, ad eccezione di pochi casi, quasi sempre caratterizzati da un'elevata variabilità (**Tabella 18**).

Tabella 18. Variazione media (\pm SQM) del contenuto di P₂O₅ tra presemina 2022 e post-raccolta 2021

Focus Area	Δ P ₂ O ₅ espresso in mg/kg per profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta Pianura Est	10,53 \pm 8,70	3,37 \pm 10,89	-14,40 \pm 10,37
Alta Pianura Ovest	-7,25 \pm 38,24	-12,80 \pm 6,32	-3,47 \pm 7,91
Media Pianura	1,16 \pm 32,53	10,26 \pm 9,37	-3,64 \pm 2,52
Bassa Pianura Est	2,70 \pm 9,07	3,15 \pm 6,02	-0,20 \pm 3,70
Bassa Pianura Centrale	-1,68 \pm 9,31	-25,53 \pm 25,52	-43,83 \pm 29,85
Bassa Pianura Ovest	8,54 \pm 4,08	3,76 \pm 5,57	0,11 \pm 4,47

2.5.2. Confronto post-raccolta 2022 e post-raccolta 2021

Infine, è stata condotta l'analisi dei risultati delle due campagne di campionamento in post-raccolta per il 2021 e il 2022 attraverso il confronto tra zone vulnerabili (ZVN) e non vulnerabili ai nitrati (ZnVN) per i seguenti parametri: carbonio organico, azoto nitrico e fosforo assimilabile. In totale, in due stagioni sono stati raccolti 181 campioni (**Figura 10**).

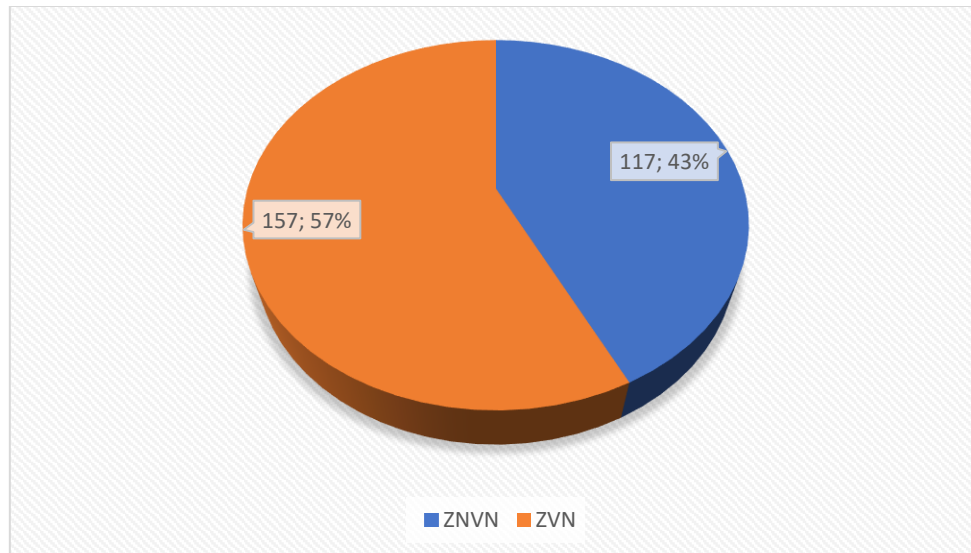


Figura 10. Ripartizione dei campioni raccolti nelle campagne di monitoraggio 2021 e 2022 tra zone vulnerabili (ZVN) e non vulnerabili ai nitrati (ZnVN).

Nelle **Tabella 19** si riportano la media e la deviazione standard del contenuto di carbonio organico e la variazione percentuale tra le due aree ottenute dai campionamenti eseguiti in post-raccolta nel 2021 e 2022. Nei primi 60 cm di profondità, il contenuto medio di CO nei suoli in ZVN risulta superiore di circa il 20% rispetto a quello nei suoli in ZnVN; nello strato più profondo (60-90 cm), tale differenza si attenua risultando praticamente uguale.

Tabella 19. Contenuto medio di C.O. nei suoli ricadenti in ZVN e ZnVN nelle campagne in post-raccolta 2021 e 2022

Tipologia di aree	Media di C.O. espresso in g/kg per profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
ZVN	17,23 ± 6,41	10,61 ± 5,53	4,65 ± 3,25
ZnVN	14,39 ± 7,03	8,63 ± 5,34	4,61 ± 5,23
Δ% ZVN e ZnVN	19,7%	22,9%	0,9%

Nella **Tabella 20**, invece, sono riportate le medie e la deviazione standard del contenuto di NO₃-N e di P₂O₅ e la variazione percentuale tra le due aree ottenute dai campionamenti eseguiti in post-raccolta nel 2021 e 2022.

Tabella 20. Contenuto medio di $\text{NO}_3\text{-N}$ e P_2O_5 nei suoli ricadenti in ZVN e ZnVN nelle campagne in post-raccolta 2021 e 2022

Tipologia di aree	Media di $\text{NO}_3\text{-N}$ espresso in mg/kg per profondità di campionamento			Media di P_2O_5 espresso in mg/kg per profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
ZVN	26,35 ± 24,68	18,82 ± 21,54	10,64 ± 12,30	79,54 ± 58,79	50,80 ± 42,92	23,84 ± 18,91
ZnVN	17,63 ± 20,38	11,71 ± 14,01	8,13 ± 9,69	65,84 ± 52,14	42,29 ± 36,57	25,76 ± 24,34
$\Delta\%$ ZVN e ZnVN	49,5%	60,7%	31,0%	20,8%	20,1%	-7,5%

Per quanto riguarda il contenuto medio di $\text{NO}_3\text{-N}$ residuale, si può osservare come nei suoli campionati nelle ZVN i valori risultino sempre considerevolmente più elevati rispetto a quelli dei suoli in ZnVN a tutte le profondità (**Figura 11**). Nel caso del fosforo, tale differenza risulta meno marcata negli orizzonti superficiali, arrivando a riscontrare valori più elevati nell'orizzonte profondo (60-90 cm) dei suoli in ZnVN (**Figura 12**).

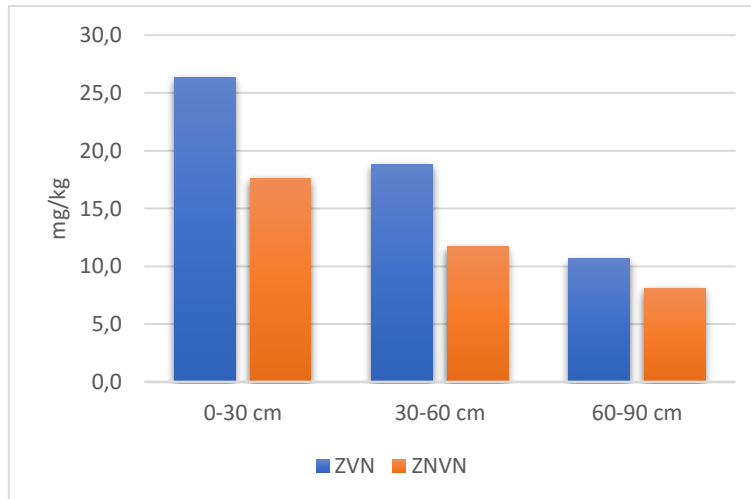


Figura 11. Concentrazione media di $\text{NO}_3\text{-N}$ alle diverse profondità di campionamento nel periodo 2021 e 2022 per le aree vulnerabili e non vulnerabili ai nitrati.

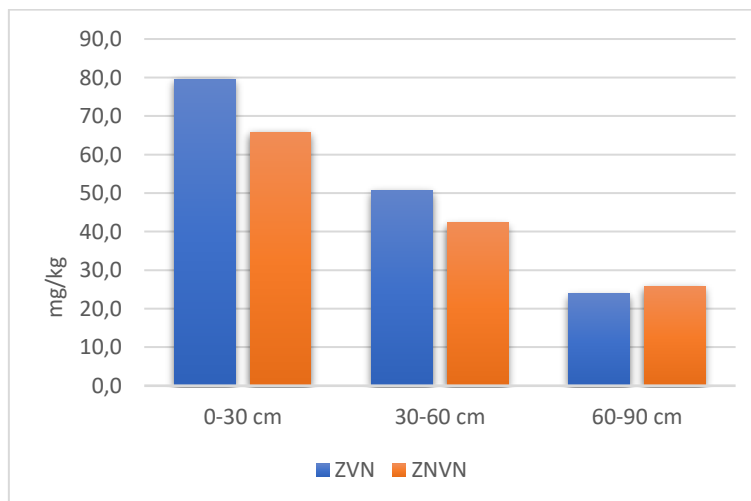


Figura 12. Concentrazione media di P_2O_5 alle diverse profondità di campionamento nel periodo 2021 e 2022 per le aree vulnerabili e non vulnerabili ai nitrati.

3. RETE PER IL MONITORAGGIO DELLA FALDA ACQUIFERA IPODERMICA

Nell'anno 2022 è stato eseguito il secondo monitoraggio dell'acqua di falda ipodermica in un totale di 18 siti (**Figura 1**). Tali siti sono stati individuati a partire da uno stock di punti georeferenziati associati a profili pedologici precedentemente rilevati da ERSAF che avevano evidenziato, entro il primo metro di profondità, caratteri morfologici che attestavano la presenza di acqua libera in modo persistente o permanente durante l'anno. La rete di campionamento allestita ha, inoltre, tenuto conto della ripartizione tra alta, media e bassa pianura e dei sei ambiti omogenei di monitoraggio (*Focus Area*) precedentemente descritti e individuati su base geografica, morfologica e del carico zootecnico.

In particolare, sono stati selezionati tre punti di monitoraggio per ogni FA per un totale di 18 piezometri ad una profondità di circa 3 m.

3.1. Metodica di campionamento

Ogni piezometro è costituito da un tubo forato nella parte basale che riesce a raccogliere 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. Epoca di campionamento

Sono state eseguite n. 4 campagne di campionamento dell'acqua di falda ipodermica durante la stagione 2022, indicativamente ripartite nei periodi seguenti:

1. febbraio
2. maggio
3. agosto
4. novembre

3.3. Parametri analizzati

Le determinazioni analitiche sono state eseguite, in accordo con metodi ufficiali di analisi, presso un laboratorio di analisi esterno accreditato per la determinazione dei parametri riportati in **Tabella 21**.

Tabella 21. *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

3.4. Risultati

Nel presente paragrafo vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dell'acqua di falda ipodermica per l'anno 2022.

Durante le campagne di monitoraggio è stata prelevata l'acqua di falda presso 17 siti nella quasi totalità dei periodi prestabiliti per i campionamenti; solo presso la stazione di Fara Olivana non è stata mai riscontrata la presenza di acqua libera nel terreno durante le 4 campagne di campionamento. I campionamenti sono stati eseguiti prevalentemente presso aree coltivate a seminativi e prati permanenti, nell'ambito di aziende zootecniche (72%) e non zootecniche (28%).

3.4.1. Elaborazione dati: azoto

Nella **Tabella 22** sono riportate le classi di valutazione della qualità delle acque sotterranee individuate dalla Commissione Europea a seconda della concentrazione di nitrati in esse presenti. Tali classi sono state utilizzate per l'analisi dei risultati ottenuti dai campionamenti effettuati nell'ambito della campagna di monitoraggio 2022.

Tabella 22. Classi di qualità delle acque sotterranee individuate dalla Commissione Europea

Concentrazione NO ₃ - (mg/l)	Qualità acque sotterranee
0-24 mg/l	Acque di buona qualità, che possono essere monitorate con periodicità più lunga
25-39 mg/l	
40-50 mg/l	Acque a rischio di superamento dei valori limite
> 50 mg/l	Acque inquinate

Nella **Tabella 23** sono elencati i 18 siti di monitoraggio, suddivisi per FA, con la relativa concentrazione media di NO₃⁻ riscontrata nell'acqua di falda, ottenuta considerando i risultati delle analisi derivanti dai 4 campionamenti annuali.

Tabella 23. Concentrazione media di ione nitrato (NO_3^-) riscontrata nelle acque di falda

COD Piezometro	Focus area	Provincia	Comune	Concentrazione media NO_3^- (mg/L)
PZ200-DES	Alta pianura est	BS	Desenzano del Garda	37,73
PZ260-FOS	Alta pianura est	BG	Fara Olivana	-
PZ297-CDA	Alta pianura est	BG	Casirate d'Adda	20,40
PZ380-VBO	Alta pianura ovest	VA	Varano Borghi	1,15
PZ360-ANZ	Alta pianura ovest	CO	Anzano del Parco	1,13
PZ386-VAR	Alta pianura ovest	VA	Varese	2,03
PZ285-PES	Media pianura	CR	Pessina Cremonese	0,85
PZ152-CRV	Media pianura	BG	Caravaggio	128,73
PZ187-ORZ	Media pianura	BS	Orzinuovi	28,50
PZ365-CRP	Bassa pianura est	MN	San Giorgio Bigarello	9,68
PZ371-PEG	Bassa pianura est	MN	Pegognaga	0,98
PZ195-CAS	Bassa pianura est	MN	Castellucchio	0,10
PZ300-PIZ	Bassa pianura centrale	CR	Pizzighettone	4,57
PZ377-CAN	Bassa pianura centrale	MN	Canneto sull'Oglio	1,45
PZ310-PSC	Bassa pianura centrale	CR	Pescarolo ed Uniti	1,18
PZ245-ABB	Bassa pianura ovest	MI	Abbiategrasso	55,20
PZ200-BAS	Bassa pianura ovest	MI	Basiglio	0,38
PZ270-TAV	Bassa pianura ovest	LO	Tavazzano con Villaresco	3,13

Dai risultati si può notare come nella maggior parte dei siti analizzati la concentrazione di nitrati si attesti mediamente su valori ottimali, che si collocano nella classe delle acque considerate di buona qualità (< 25 mg/L). Nelle stazioni di Desenzano del Garda (APE) (**Figura 13**) e Orzinuovi (MP) (**Figura 14**) i valori si attestano mediamente in una classe considerata accettabile e non a rischio di superamento dei valori limite. Nella stazione di Abbiategrasso (BPO) (**Figura 15**), situata nell'ambito di un terreno non associato ad azienda zootecnica, si evidenzia una concentrazione media di nitrati lievemente al di sopra dei valori soglia di accettabilità che determina la presenza di acque inquinate. Infine, nella stazione di Caravaggio (MP) (**Figura 16**) è stata riscontrata una concentrazione media di nitrati eccezionalmente elevata, dovuta in particolare al valore riscontrato in seguito al campionamento svolto in novembre 2022 (346 mg/l); tale valore è da considerarsi un outlier in quanto chiaramente distante dalle altre osservazioni disponibili sullo stesso sito.

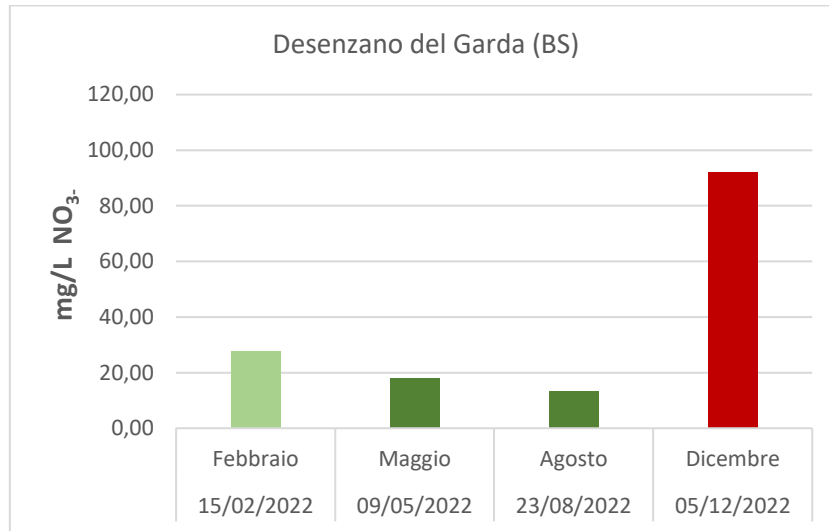


Figura 13. Andamento valori NO₃⁻ nell'acqua di falda per le 4 epoche di campionamento.

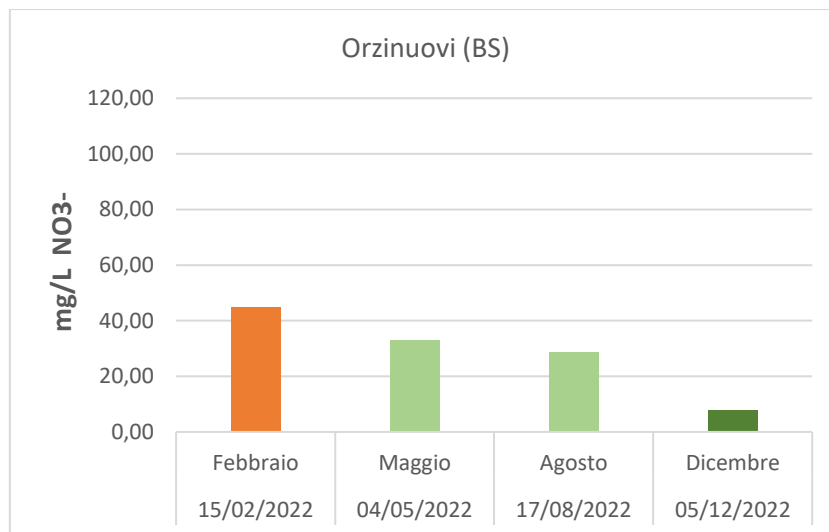


Figura 14. Andamento valori NO₃⁻ nell'acqua di falda per le 4 epoche di campionamento.

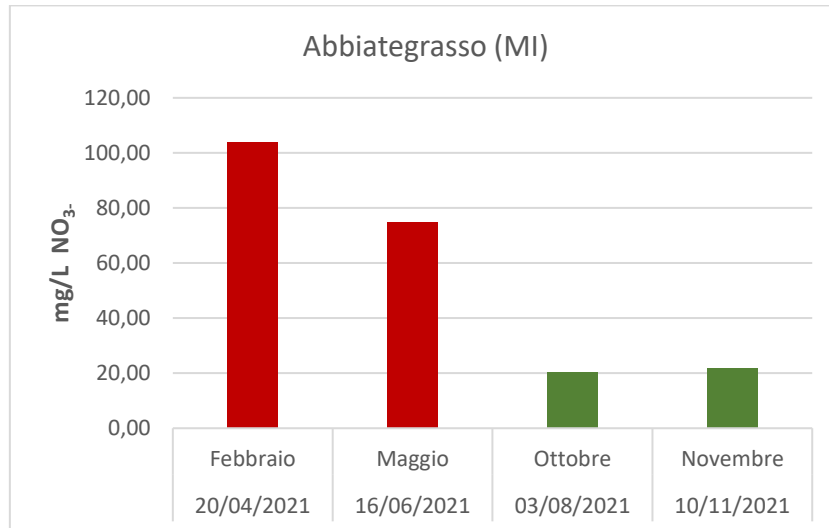


Figura 15. Andamento valori NO₃⁻ nell'acqua di falda per le 4 epoche di campionamento.

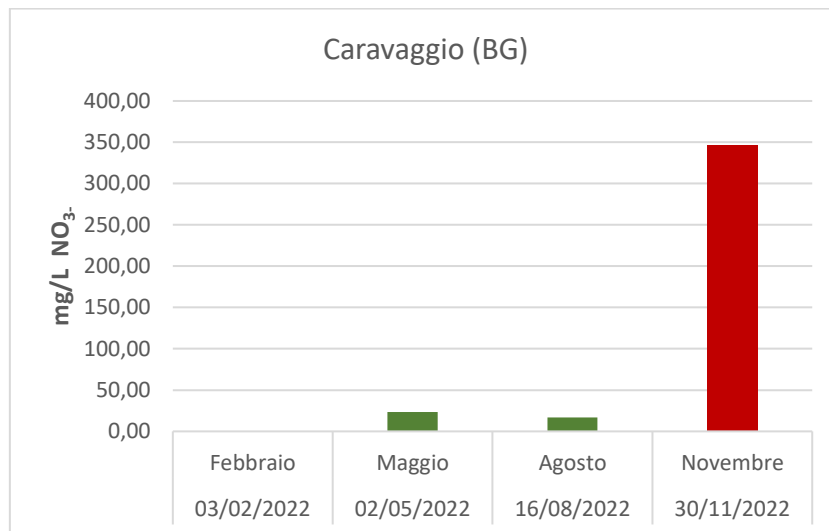


Figura 16. Andamento valori NO₃⁻ nell'acqua di falda per le 4 epoche di campionamento.

Dalle figure si evidenzia come in tutte le stazioni in cui sono state riscontrate concentrazioni medie più elevate di NO₃⁻ i valori sono influenzati da singole misurazioni che, in tempi diversi, hanno evidenziato concentrazioni più elevate. Solo nella stazione di Orzinuovi (**Figura 14**) il contenuto di nitrati sembra avere un andamento più costante nel corso dell'anno.

3.4.2. Elaborazione dati: fosforo

Tutti i risultati delle analisi condotte sui fosfati evidenziano concentrazioni trascurabili di questo ione nell'acqua di falda ipodermica, probabilmente a causa della scarsa mobilità dello stesso e al suo possibile accumulo nel suolo.

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.
- McDowell R.W., Sharpley A.N. (2003). Phosphorus solubility and release kinetics as a function of soil test P concentration. *Geoderma* 112, 1-2, 143-154.
- Metodo Olsen, rif. XV.3 Suppl. ordinario G.U. n. 248 del 21/10/99.
- Sbaraglia M., Lucci E. (1994). Guida all'interpretazione delle analisi del terreno e alla fertilizzazione. Studio Pedon, Pomezia – Roma.
- Sharpley A., Daniel T.C., Sims J.T., Pote D.H. (1996). Determining environmentally sound soil phosphorus levels. *Journal of Soil and Water Conserv.*, 51, 2, 160-166.
- 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.
- Wolf A.M., Baker D.E., Pionke H.B., Kunishi H.M. (1985). Soil Tests for Estimating Labile, Soluble, and Algae-Available Phosphorus in Agricultural Soils. *J. of Environ. Qual.*, 14, 3, 341-348.