

# **PIANO DI MONITORAGGIO DEI SUOLI E DEI SISTEMI AGRICOLI**

**2020-2023**

***RAPPORTO***  
***Annualità 2021***

<b>1. ARTICOLAZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. RETE PER IL MONITORAGGIO DIFFUSO DEI SUOLI.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Metodica di campionamento .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Epoca di campionamento .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3. Parametri analizzati .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Risultati .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4.1. Elaborazione dati: azoto.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4.2. Elaborazione dati: fosforo .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4.3. Elaborazione dati: Carbonio Organico .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.4. Elaborazione dati: rapporto C/N .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.5. Confronto presemina 2021 e post-raccolta 2020 .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.6. Confronto post-raccolta 2021 e post-raccolta 2020 .....</b>	<b>21</b>
<b>3. RETE PER IL MONITORAGGIO DELLA FALDA ACQUIFERA IPODERMICA.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Metodica di campionamento .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2. Epoca di campionamento .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3. Parametri analizzati .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4. Risultati .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.1. Elaborazione dati: azoto.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.2. Elaborazione dati: fosforo .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4.3. Elaborazione dati: Arsenico.....</b>	<b>30</b>
<b>4. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>31</b>

## 1. ARTICOLAZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO

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 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 <sub>3</sub> 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 2018 – Sis.Co. 2021)

Denominazione FA	Carico di N da e.a. 2018	Carico di N da e.a. su USAGR 2021 (kg N/ha)	% SAU sul territorio 2021
Alta Pianura Est	188	213	58%
Alta Pianura Ovest	62	58	29%
Media Pianura	269	285	75%
Bassa Pianura Est	134	141	76%
Bassa Pianura Centrale	132	144	80%
Bassa Pianura Ovest	52	57	69%

**Tabella 3.** Caratterizzazione delle FA - % delle principali colture (DUSAF 2018 – Sis.Co. 2021)

Denominazione FA	SAU (ha)	MAIS	FORAGGERE	ALTRI CEREALI	COLTURE ARBOREE	ALTRO
Alta Pianura Est	137484,75	29,4%	30,2%	8,0%	9,0%	23,4%
Alta Pianura Ovest	75354,93	17,3%	20,2%	11,7%	0,6%	50,3%
Bassa Pianura Centrale	130469,63	39,5%	23,6%	10,9%	0,5%	25,6%
Bassa Pianura Est	125067,60	23,0%	28,1%	17,8%	1,3%	29,8%
Media Pianura	115118,02	40,6%	34,3%	7,6%	0,2%	17,3%
Bassa Pianura Ovest	281395,73	20,0%	13,1%	7,7%	4,3%	54,9%

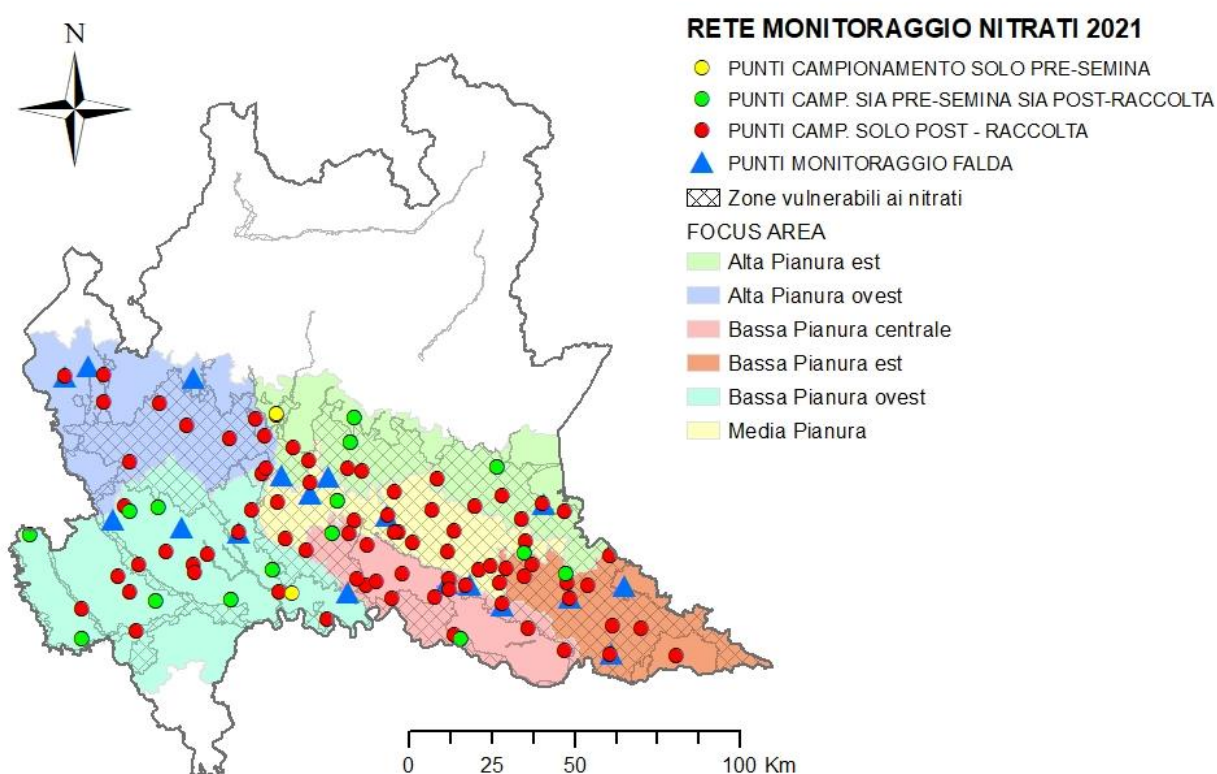
**Tabella 4.** Caratterizzazione dei suoli prevalenti per ciascuna FA

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 idromorfia 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).

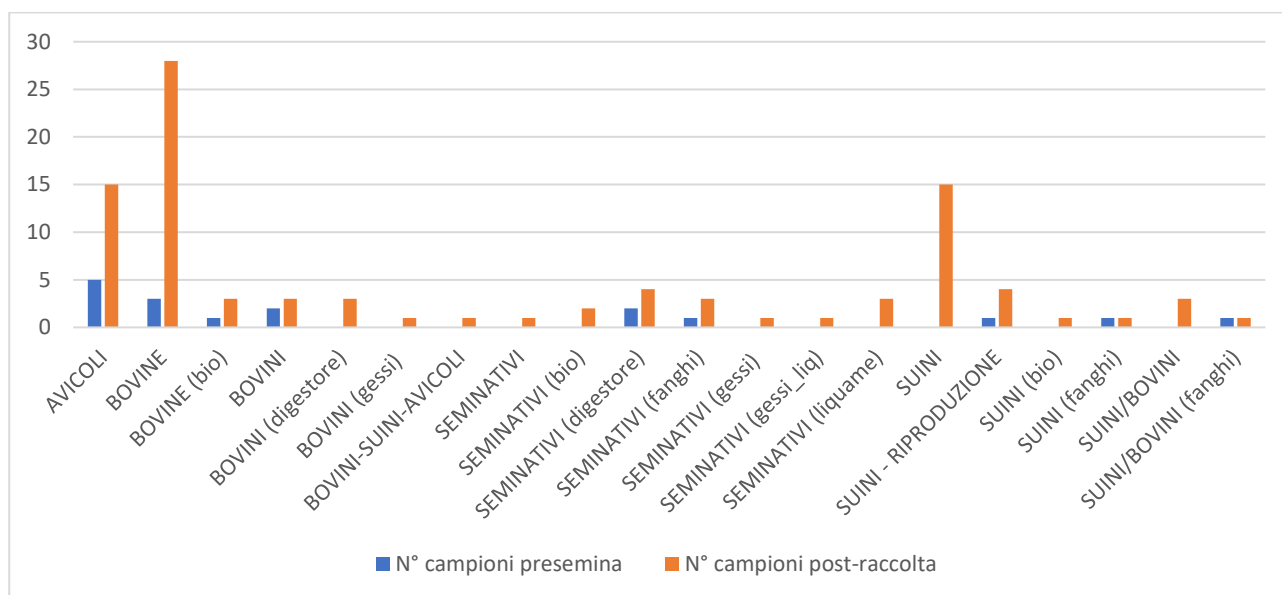
Nella seguente **Figura 1** si riporta la delimitazione delle FA in pianura e le relative stazioni di monitoraggio 2021.



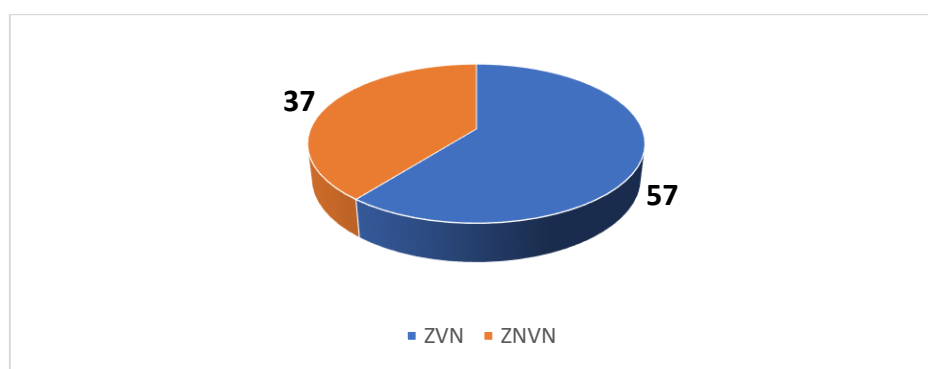
**Figura 1.** Delimitazione delle FA e relative stazioni di monitoraggio 2021.

## 2. RETE PER IL MONITORAGGIO DIFFUSO DEI SUOLI

Nell'anno 2021 è stato eseguito il monitoraggio dei suoli in un totale di 96 punti (**Figura 1**) secondo lo schema riportato nei paragrafi seguenti (**Figura 2** e **Figura 3**). Di questi 96 punti, 15 sono stati campionati sia in presemina sia in post-raccolta, 2 solo in presemina e la restante parte solo in post-raccolta. 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.



**Figura 2.** Tipologie aziendali campionate tra presemina e post raccolta nel 2021.



**Figura 3.** 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 che è stato 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 tecnica culturale di coltivazione dei cereali primaverili-estivi, maggiormente diffusi in regione:

- i. in presemina (gennaio-marzo);
- ii. in post-raccolta (tra settembre 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.

## 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 5**.

**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 13/09/99 SO GU n° 248 21/10/99 Met VII.1
pH (in acqua)	DM 13/09/99 SO GU n° 248 21/10/99 Met III.1
Capacità di scambio cationico (CSC)	DM 13/09/99 SO GU n° 248 21/10/99 Met XIII.2
GRANULOMETRIA (5 frazioni)	DM 13/09/99 SO GU n° 248 21/10/99 Met II.6
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
Metalli (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018

Come riportato in **Tabella 6**, ad ognuna delle tre profondità, è stato analizzato il contenuto di nitrati (azoto nitrico [NO<sub>3</sub>-N]), azoto totale (metodo Kjeldahl - TKN) e fosforo disponibile (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Inoltre, è stato valutato anche il contenuto di carbonio organico (CO) e, nei campioni superficiali, il contenuto dei principali metalli pesanti (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn).

**Tabella 6.** *Parametri analizzati sui campioni di suolo raccolti nel 2021*

	2021		
	0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
<b>NO<sub>3</sub>-N</b>	X	X	X
<b>TKN</b>	X	X	X
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	X	X	X
<b>CO</b>	X	X	X
<b>C/N</b>	X	X	X
<b>Metalli pesanti</b>	X		

## 2.4. Risultati

Nel presente paragrafo vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dei suoli per l'anno 2021.

Durante la campagna di monitoraggio è stato possibile campionare 17 siti in presemina e 94 siti in post-raccolta (**Figura 1**), la maggior parte dei quali (73) coltivati a mais. I campionamenti sono stati eseguiti anche in aree coltivate a riso, in prati, soia e cereali autunno vernini e in misura inferiore su sorgo, pomodoro e girasole (raggruppate sotto il nome di "altre colture").

### 2.4.1. Elaborazione dati: azoto

Nella **Tabella 7** sono rappresentati 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. Si può notare come i valori dell'Alta Pianura Est, Alta Pianura Ovest e Media Pianura siano sensibilmente più alti rispetto a quelli delle altre FA, soprattutto negli orizzonti più profondi (30-60 cm e 60-90 cm). La presenza di diversi siti con contenuto di  $\text{NO}_3\text{-N}$  al di sotto del limite di rilevabilità ( $<1$  mg/kg) nel subsoil della Bassa Pianura Est (3 siti su 13) e della Bassa Pianura Ovest (4 su 21) influenza il contenuto medio che risulta pertanto più basso delle altre FA. Tutto il dataset è caratterizzato da una notevole variabilità, evidenziata dall'elevata deviazione standard di tutti i gruppi considerati.

**Tabella 7.** Concentrazione media e deviazione standard di  $\text{NO}_3\text{-N}$  (mg/kg) residuale per FA a diverse profondità di campionamento nel 2021

Focus Area	Profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta Pianura Est	31,90 $\pm$ 32,41	30,73 $\pm$ 34,31	16,13 $\pm$ 24,07
Alta Pianura Ovest	31,82 $\pm$ 17,22	35,78 $\pm$ 27,86	9,50 $\pm$ 9,43
Bassa Pianura Centrale	22,35 $\pm$ 15,15	11,65 $\pm$ 7,47	8,63 $\pm$ 6,52
Bassa Pianura Est	13,57 $\pm$ 15,65	8,14 $\pm$ 12,43	4,89 $\pm$ 3,87
Bassa Pianura Ovest	20,14 $\pm$ 18,8	10,24 $\pm$ 11,67	5,93 $\pm$ 7,5
Media Pianura	26,59 $\pm$ 21,8	20,31 $\pm$ 22,65	12,98 $\pm$ 15,73
Pianura totale	23,46 $\pm$ 20,84	16,43 $\pm$ 20,33	7,69 $\pm$ 8,23

La concentrazione residuale di  $\text{NO}_3\text{-N}$  in 24 punti è risultata più elevata nello strato 30-60 rispetto allo strato superiore.

In altri 10 punti, invece, è stata rilevata una concentrazione più elevata nello strato 60-90 rispetto allo strato superiore, dovuto, probabilmente, ad un accumulo di  $\text{NO}_3\text{-N}$  e al decorso



stagionale poco piovoso che non ha favorito l'ulteriore allontanamento dello ione nitrato più in profondità.

Nella **Tabella 8** sono riportati 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 bassissimo numero di repliche (1-2 per FA) e quindi la scarsa rappresentatività del dato, che comunque si è deciso di non aggregare.

Per quanto riguarda il mais, ampiamente rappresentato durante questa campagna di campionamenti, si riconferma la tendenza generale individuata 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). Fa eccezione l'Alta Pianura Ovest che evidenzia un aumento medio della concentrazione del 20%.

**Tabella 8.** Concentrazione media e deviazione standard di  $\text{NO}_3\text{-N}$  residuale per FA nei suoli a diverse profondità per diverse colture nel 2021

Colture	Focus Area	Profondità di campionamento		
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Altre colture	Bassa Pianura Est	53	10	10
	Bassa Pianura Ovest	32 $\pm$ 25,46	8,75 $\pm$ 11,67	16,5 $\pm$ 21,92
	Media Pianura	16	12	16
Cereale autunno vernino	Alta Pianura Ovest	22 $\pm$ 5,66	7	3
	Bassa Pianura Centrale	19	8	2
	Bassa Pianura Est	2	2	5
	Media Pianura	23 $\pm$ 9,9	11,5 $\pm$ 4,95	4,5 ,71
Mais	Alta Pianura Est	31,9 $\pm$ 32,41	30,73 $\pm$ 34,31	16,13 $\pm$ 24,18
	Alta Pianura Ovest	36,13 $\pm$ 18,41	43,86 $\pm$ 26,3	11,67 $\pm$ 10,26
	Bassa Pianura Centrale	23 $\pm$ 16,07	12,4 $\pm$ 7,61	8 $\pm$ 5,2
	Bassa Pianura Est	13,86 $\pm$ 14,61	10,79 $\pm$ 17,54	5,93 $\pm$ 4,45
	Bassa Pianura Ovest	26,92 $\pm$ 19,04	13,88 $\pm$ 13,69	6,38 $\pm$ 5,23
	Media Pianura	27,7 $\pm$ 20,68	22,3 $\pm$ 24,83	14,05 $\pm$ 17,19
Prato	Alta Pianura Ovest	17	8	-
	Bassa Pianura Est	7,5 $\pm$ 2,12	6,5 ,71	4,5 ,71
	Bassa Pianura Ovest	5,5 $\pm$ 3,54	9,5 $\pm$ 6,36	3,5 $\pm$ 3,54
Riso	Bassa Pianura Ovest	5 $\pm$ 1,87	2,4 $\pm$ 1,78	1,6 $\pm$ 1,52
Soia	Bassa Pianura Centrale	16	4	24
	Bassa Pianura Est	7,67 $\pm$ 4,04	4,5 $\pm$ 3,77	1 $\pm$ 1,15

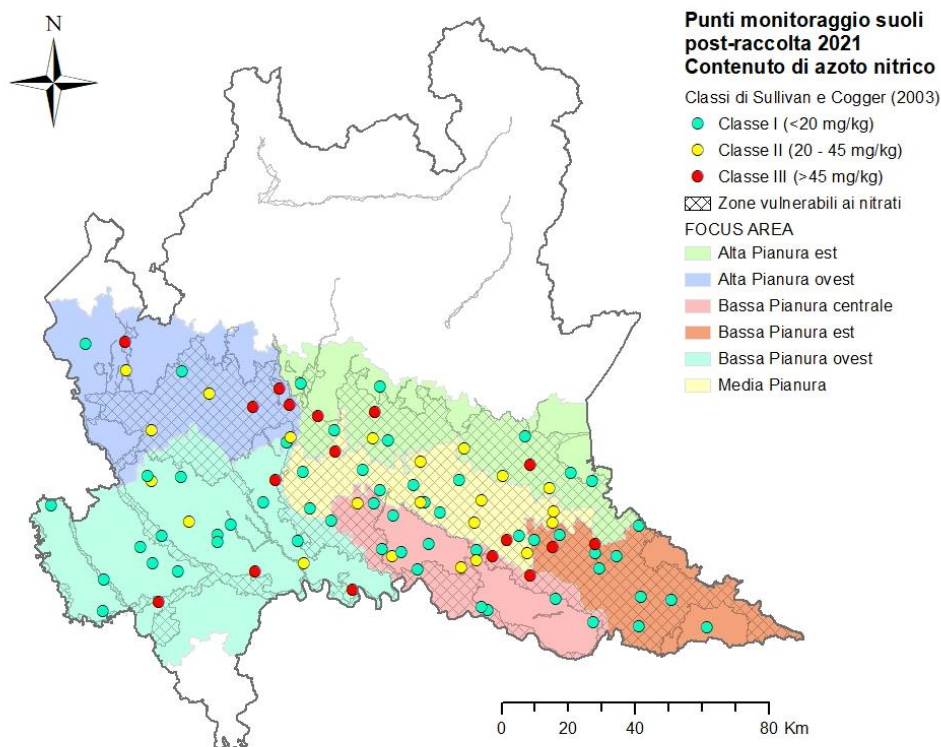
Il contenuto di nitrati del suolo può fornire utili informazioni sia sul rischio potenziale di perdita di nitrati (non assorbiti dalla coltura), sia sull'efficienza della gestione dell'azoto. Sullivan e Cogger (2003) hanno ipotizzato 3 possibili intervalli di concentrazioni di  $\text{NO}_3\text{-N}$  cui corrispondono differenti consigli sulla gestione dell'azoto (**Tabella 9**).

**Tabella 9.** Possibili intervalli di concentrazioni di  $\text{NO}_3\text{-N}$  secondo Sullivan e Cogger (2003)

	<b><math>\text{NO}_3\text{-N}</math> <math>\text{mg kg}^{-1}</math></b>	<b>Suggerimenti di gestione</b>
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 (**Tabella 9**) in funzione del contenuto di azoto nitrico nell'orizzonte superficiale (0-30 cm): la maggioranza dei siti monitorati ricade nella Classe I (55 punti), mentre nella Bassa Pianura Centrale e nella Media Pianura risultano concentrati la maggior parte di quelli ricadenti in Classe II; i punti ricadenti in Classe III, invece, tendono a concentrarsi principalmente in due aree:

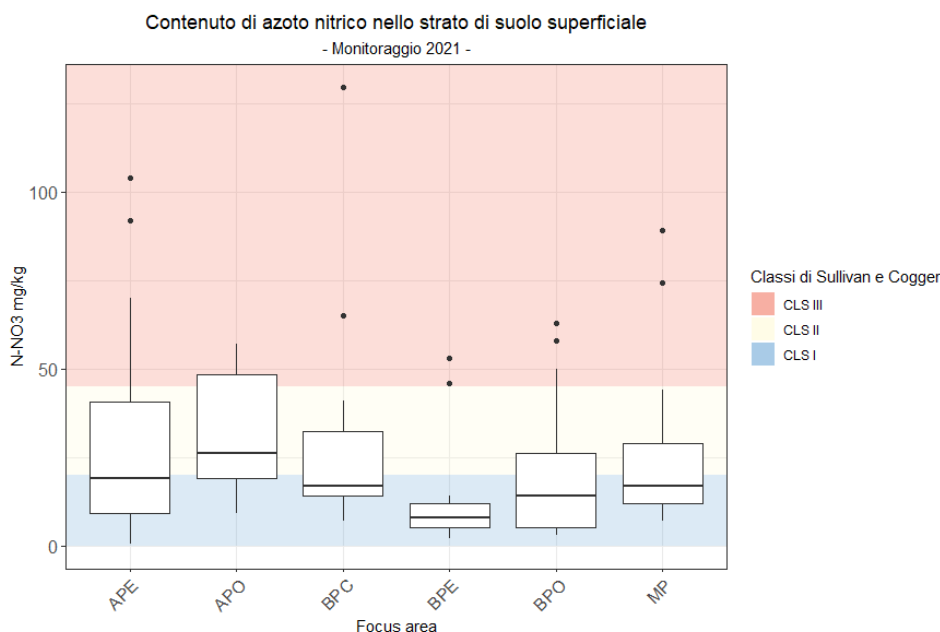
- sul confine tra Brescia, Cremona e Mantova;
- sul confine tra Bergamo e Milano.



**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 17 siti in Classe III che superano la soglia di 45 mg/kg di azoto nitrico (punti rossi nella **Figura 4**), 15 sono coltivati a mais.

Nella **Figura 5** si riportano i box plot relativi al contenuto di azoto nitrico nello strato di suolo coltivato (0-30 cm) nelle diverse FA. Il grafico conferma che, nonostante l'elevata variabilità, l'unica FA completamente compresa nella I classe è la Bassa Pianura Est, mentre nelle altre FA sarebbe opportuno prevedere una riduzione dell'apporto di N in funzione dei risultati conseguiti.



**Figura 5.** Box plot del contenuto  $\text{NO}_3\text{-N}$  nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA; i colori di fondo rappresentano le classi di Sullivan e Cogger.

#### 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  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 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  $r^2$  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  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Mediante la diminuzione della concentrazione di  $\text{P}_2\text{O}_5$  tra lo strato superficiale (0-30 cm) e sotto-superficiale (30-60 cm) si attesta attorno al 23%, mentre la riduzione tra quest'ultimo e lo strato profondo (60-90 cm) è del 34% circa.

In 5 siti la riduzione tra i primi 2 orizzonti è trascurabile (<5%), in 21 siti si è registrato un aumento della concentrazione di  $\text{P}_2\text{O}_5$  nell'orizzonte intermedio, mentre in 6 siti è stato riscontrato un aumento della concentrazione di  $\text{P}_2\text{O}_5$  nell'orizzonte più profondo.

La **Tabella 10** riporta i risultati dell'analisi del contenuto di  $\text{P}_2\text{O}_5$  assimilabile (mg/kg) nei suoli a diverse profondità per FA. Nell'Alta Pianura Est i valori residuali risultano estremamente alti, mentre nella Media Pianura e nell'Alta Pianura Ovest i valori devono essere attenzionati.

**Tabella 10.** Concentrazione media ( $\pm$  deviazione standard) di  $P_2O_5$  (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	79,85 $\pm$ 33,81	59,91 $\pm$ 38,3	21,5 $\pm$ 24,75
Alta Pianura Ovest	64,04 $\pm$ 31,19	33,31 $\pm$ 21,68	17,45 $\pm$ 13,23
Bassa Pianura Centrale	45,74 $\pm$ 21,06	41,8 $\pm$ 20,33	27,44 $\pm$ 19,94
Bassa Pianura Est	37,54 $\pm$ 21,84	19,43 $\pm$ 11,35	9,93 $\pm$ 8,89
Bassa Pianura Ovest	44,64 $\pm$ 36,63	34,23 $\pm$ 34,76	21,4 $\pm$ 23,65
Media Pianura	67,54 $\pm$ 28,43	38,35 $\pm$ 29,7	19,74 $\pm$ 12,05
Pianura totale	56,41 $\pm$ 32,35	37,49 $\pm$ 29,39	20,1 $\pm$ 18,52

Nella **Tabella 11** vengono riportati i dati suddivisi per profondità e per coltura nelle diverse FA. L'Alta Pianura Est mostra valori residuali di  $P_2O_5$  molto alti per quasi tutte le colture monitorate. Per quanto riguarda il mais, valori elevati si riscontrano anche nell'Alta Pianura Ovest e nella Media Pianura, dove maggiori sono i carichi zootecnici.

**Tabella 11.** Concentrazione media ( $\pm$  deviazione standard) di  $P_2O_5$  (mg/kg) residuale per FA nei suoli a diverse profondità per diverse colture

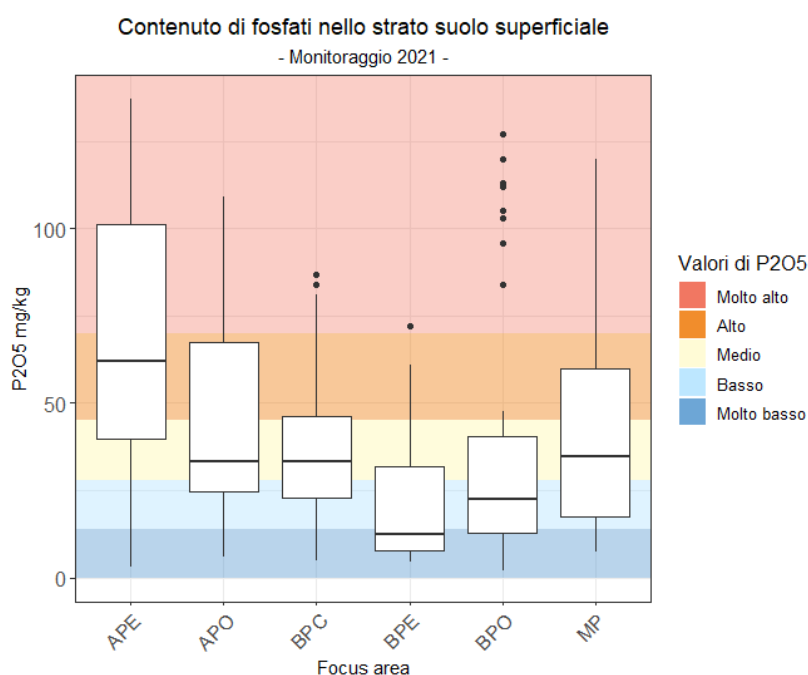
Colture	Focus Area	Profondità di campionamento		
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Altre colture	Bassa Pianura Est	25,70	32,20	38,70
	Bassa Pianura Ovest	72,8 $\pm$ 66,75	68,4 $\pm$ 61,66	34,3 $\pm$ 16,69
	Media Pianura	85,0	24,7	9,8
Cereale autunno vernino	Alta Pianura Ovest	70,05 $\pm$ 46,6	28,70	29,60
	Bassa Pianura Centrale	30,90	41,00	42,80
	Bassa Pianura Est	12,30	7,00	4,80
	Media Pianura	47,55 $\pm$ 26,09	30 $\pm$ 25,46	16,8 $\pm$ 12,3
Mais	Alta Pianura Est	79,85 $\pm$ 33,81	59,91 $\pm$ 38,3	21,5 $\pm$ 24,75
	Alta Pianura Ovest	61,04 $\pm$ 32,23	35,53 $\pm$ 24,45	13,4 $\pm$ 12,82
	Bassa Pianura Centrale	43,55 $\pm$ 22,45	38,35 $\pm$ 21,36	23,84 $\pm$ 20,12
	Bassa Pianura Est	43,04 $\pm$ 24,03	16,84 $\pm$ 9,46	7,21 $\pm$ 3,74
	Bassa Pianura Ovest	44,68 $\pm$ 35,77	31,4 $\pm$ 35,42	20,88 $\pm$ 29,77
	Media Pianura	68,95 $\pm$ 29,13	40,69 $\pm$ 31,86	20,96 $\pm$ 12,55
Prato	Alta Pianura Ovest	76,00	22,40	0,00
	Bassa Pianura Est	29,8 $\pm$ 28,28	22,1 $\pm$ 13,44	10,2 $\pm$ 3,39
	Bassa Pianura Ovest	20,9 $\pm$ 9,62	8,75 $\pm$ 5,3	11,3 $\pm$ 5,23
Riso	Bassa Pianura Ovest	42,76 $\pm$ 37,03	37,54 $\pm$ 26,21	21,54 $\pm$ 12,14
Soia	Bassa Pianura Centrale	63,00	66,00	45,00
	Bassa Pianura Est	42,2 $\pm$ 19,54	23,57 $\pm$ 16,25	8,2 $\pm$ 2,93

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 12** vengono riportati i valori di riferimento.

**Tabella 12.** Concentrazione di  $P_2O_5$  assimilabile (metodo Olsen) nel terreno e relativa interpretazione agronomica (da Sbaraglia e Lucci, 1994)

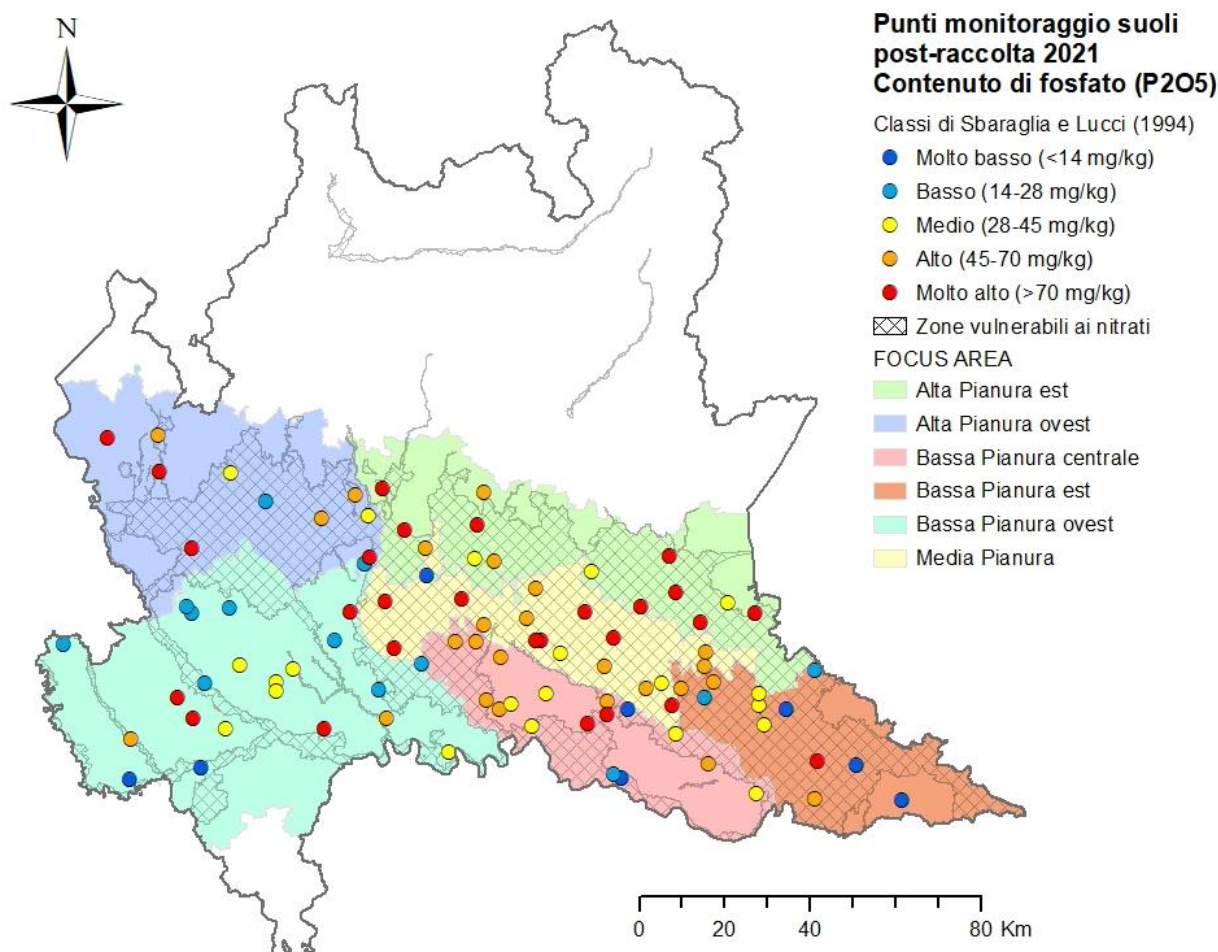
Valori espressi in $P_2O_5$ [mg/kg]	GIUDIZIO
< 14	MOLTO BASSO
14-28	BASSO
28-45	MEDIO
45-70	ALTO
>70	MOLTO ALTO

Nella **Figura 6** si riportano i box plot relativi al contenuto medio di fosforo assimilabile nello strato di suolo superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA. Il grafico mostra che, in base all'interpretazione agronomica riportata in **Tabella 12**, quasi tutti i campioni presentano valori "alti" di fosforo disponibile e che nell'Alta Pianura Est e nella Media Pianura (già caratterizzata da un elevato carico di azoto nitrico) sono stati riscontrati valori "molto alti". Tali risultati sono confermati anche in **Figura 7**, dove si riporta la carta dei siti campionati, differenziati secondo l'interpretazione agronomica in **Tabella 12** in funzione del contenuto di  $P_2O_5$  nell'orizzonte superficiale (0-30 cm).



**Figura 6.** Box plot del contenuto medio di  $P_2O_5$  nello strato superficiale di suolo (0-30 cm); i colori di fondo si riferiscono al relativo giudizio agronomico, come riportato in **Tabella 12**.





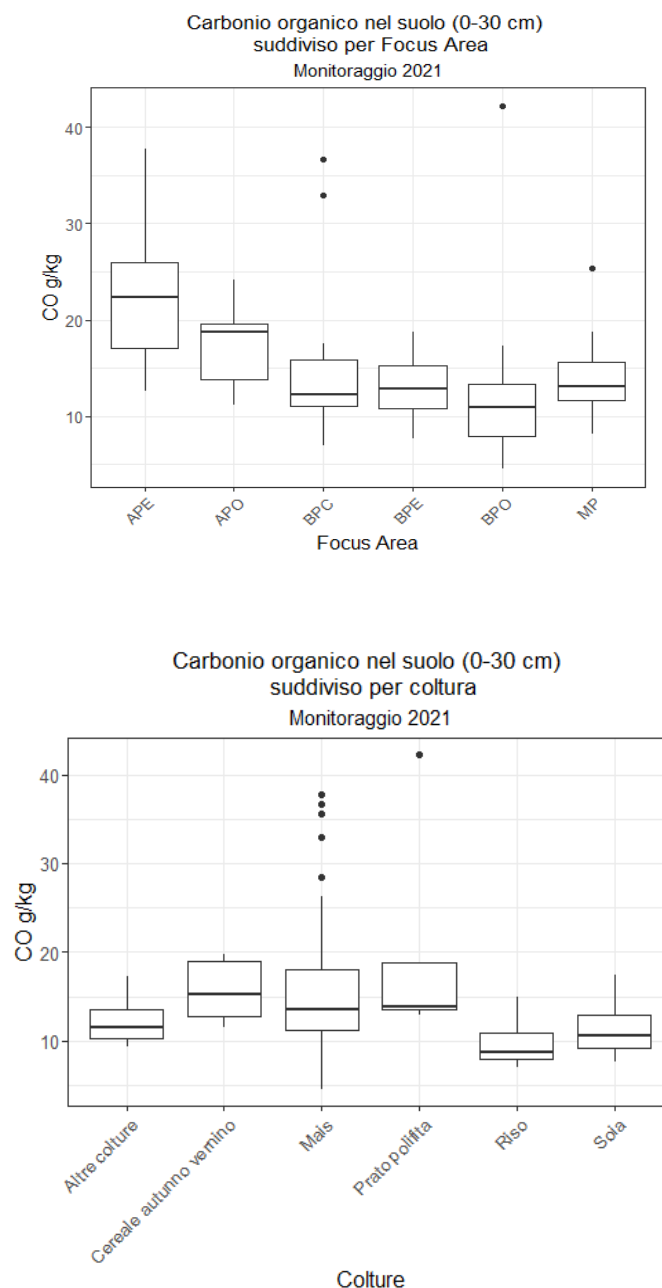
**Figura 7.** Carta del contenuto di  $P_2O_5$  nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA, in relazione all'appartenenza alle classi in **Tabella 12**.

### 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 13** è riportata una classificazione dei suoli in base al contenuto di carbonio organico (Costantini, 2006). I dati raccolti durante la campagna di monitoraggio mostrano che la maggioranza dei punti monitorati, indipendentemente dal tipo di coltura, supera la soglia di 9 g/kg di carbonio organico (**Figura 8**). Si osserva come mais, prato e cereali autunno vernini abbiano una concentrazione di carbonio superiore alle altre colture. In particolare, i suoli su cui si coltiva mais evidenziano una notevole variabilità dovuta alla maggiore rappresentatività della coltura nel dataset.

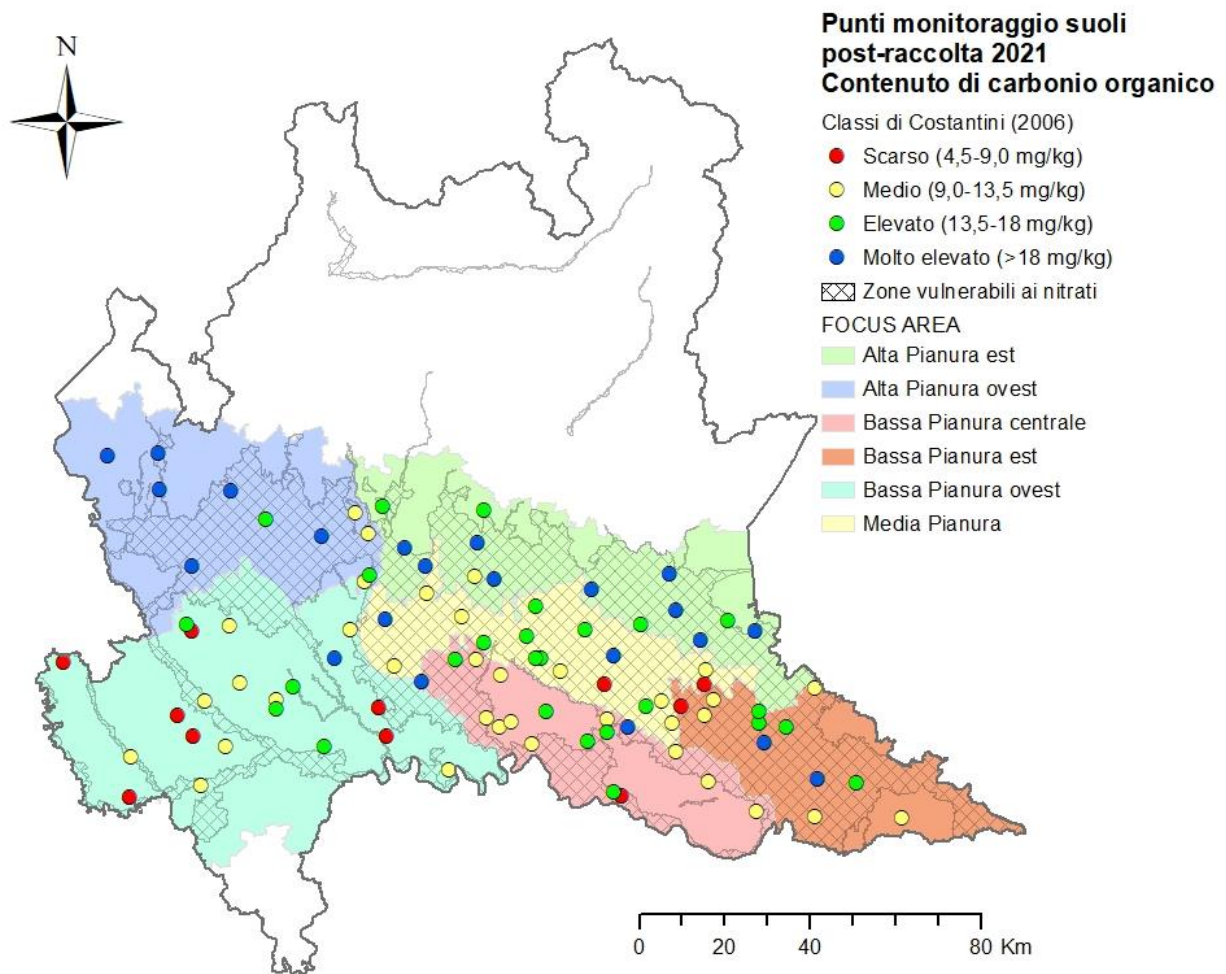
**Tabella 13.** Classificazione dei suoli in base al contenuto di carbonio organico (da Costantini, 2006)

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 8.** Box plot del contenuto di CO nel primo strato di suolo (0-30 cm) in relazione alla coltura (in alto) e alla FA di appartenenza (in basso).





**Figura 9.** Carta del contenuto di carbonio organico nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA, in relazione all'appartenenza alle classi in **Tabella 13**.

Come si evince dalla **Figura 9**, la Bassa Pianura Ovest presenta un maggior numero di punti con uno scarso contenuto di carbonio a causa, probabilmente, del minor carico zootecnico e della gestione a risaia dei suoli.

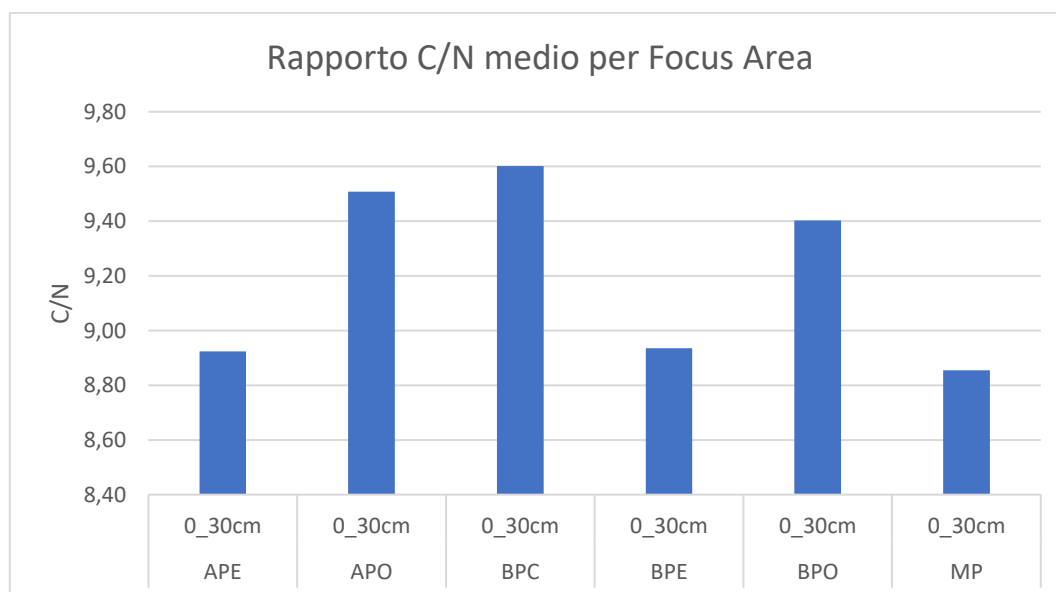
#### 2.4.4. Elaborazione dati: rapporto C/N

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 14**).

**Tabella 14.** 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 10** si può osservare che mediamente in alcune FA (Alta Pianura Est, Bassa Pianura Est e Media Pianura) il rapporto C/N per il top-soil presenti dei valori medi bassi. Per quanto riguarda l'Alta Pianura Est e la Media Pianura, questo è spiegabile a causa della tessitura tendenzialmente sabbiosa che caratterizza i suoli di queste aree e che quindi favorisce una più rapida mineralizzazione dalla sostanza organica; questo potrebbe in parte spiegare anche una concentrazione più elevata di nutrienti disponibili per le piante (nitrati e fosfati). Per quanto riguarda la Bassa Pianura Est, invece, il minor rapporto C/N potrebbe essere dovuto al fatto che la maggiore variabilità di colture e, pertanto, la minor copertura di mais in questa FA determina un minor quantitativo di residui colturali lasciati in campo e, probabilmente, di concimazione richiesta dalle colture.



**Figura 10.** Rapporto C/N medio del top-soil per ogni FA.

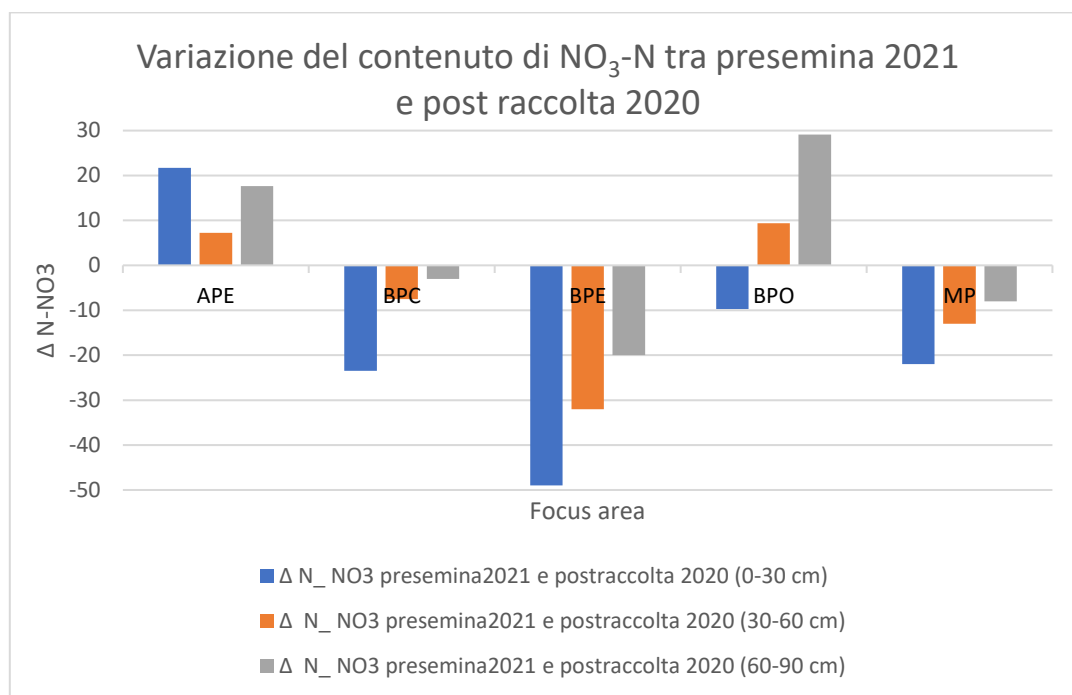
#### 2.4.5. Confronto presemina 2021 e post-raccolta 2020

La realizzazione di una campagna di monitoraggio in presemina tra gennaio e marzo 2021 (§ 2.2), ha consentito anche un ulteriore approfondimento attraverso l'osservazione del comportamento di azoto nitrico e fosforo durante il periodo invernale e di una loro eventuale lisciviazione lungo i profili dei suoli. Dei 30 punti previsti dal piano di monitoraggio è stato possibile procedere solo in 17 punti che erano già stati campionati in post-raccolta 2020 a causa del fatto che il terreno per essere campionabile non dovesse essere stato lavorato e/o concimato. Questo, ovviamente, incide sulla rappresentatività dei dati ottenuti per questa annata, soprattutto in alcune FA in particolare (per la Bassa Pianura Centrale solo 1 punto campionabile e nessun punto per l'Alta Pianura Ovest). In ogni caso, si riportano di seguito alcune elaborazioni eseguite; nella **Tabella 15** si può osservare la variazione media dell'azoto nitrico ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) e la sua deviazione standard.

**Tabella 15.** Variazione media del contenuto di  $\text{NO}_3\text{-N}$  tra presemina 2021 e post-raccolta 2020 e deviazione standard ripartito per FA

FOCUS AREA	NO <sub>3</sub> -N espresso in mg/kg per profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta Pianura Est	21,71 ± 14,5	7,23 ± 6,37	17,62 ± 13,32
Bassa Pianura Centrale	-23,5 ± 23,33	-7,5 ± 9,19	-3 ± 7,07
Bassa Pianura Est	-49	-32	-20
Bassa Pianura Ovest	-9,76 ± 15,65	9,37 ± 12,46	29,12 ± 44,61
Media Pianura	-22 ± 16,97	-13 ± 9,9	-8 ± 11,31

I risultati, rappresentati anche nella **Figura 11**, ci confermano quanto ipotizzato, ossia un calo della concentrazione di  $\text{NO}_3\text{-N}$  nello strato superficiale ad eccezione dell'alta Pianura Est (APE). Questa FA è caratterizzata da un'elevata concentrazione zootecnica e ciò potrebbe aver portato a distribuzioni di effluenti non identificate durante il sopralluogo. Per le altre FA si assiste invece ad una riduzione anche negli strati più profondi, tranne che nella Bassa Pianura Ovest (BPO) dove si è evidenziato un effetto accumulo: questo potrebbe essere in parte influenzato dal livello di precipitazioni medie che normalmente nel sud-ovest della regione tendono ad essere molto più basse e che quindi, per la stagione 2021, non hanno garantito una lisciviazione dell'azoto oltre i 90 cm di profondità.

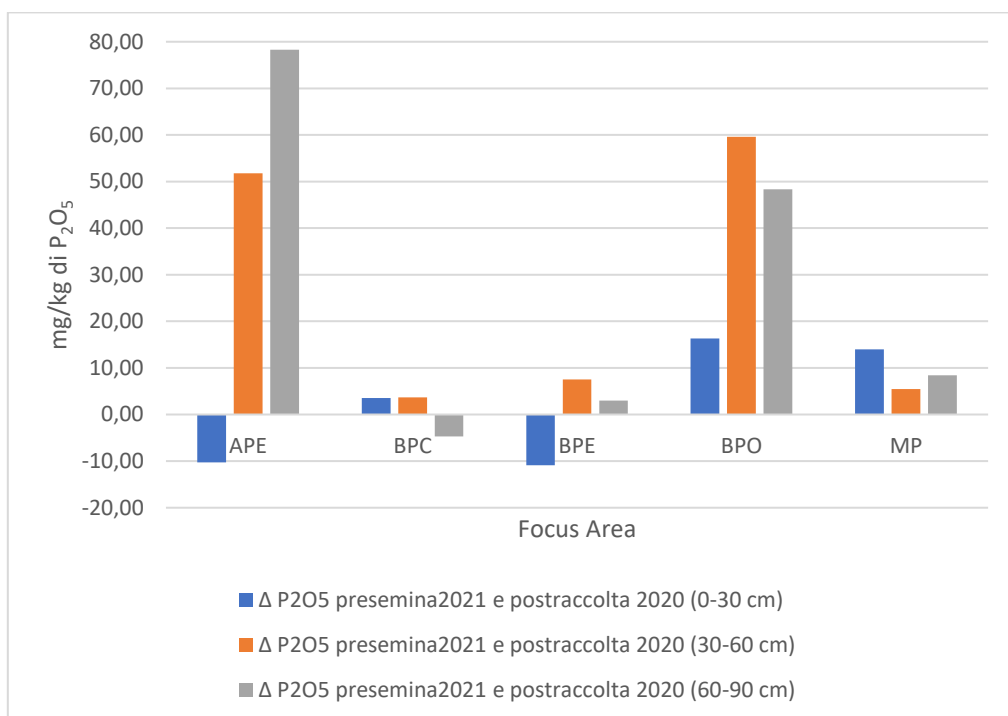


**Figura 11.** Variazione di N-NO<sub>3</sub> tra presemina 2021 e post-raccolta 2020 suddivisa per Focus Area.

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 (**Tabella 16**).

**Tabella 16.** Variazione media del contenuto di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tra presemina 2021 e post-raccolta 2020 e sua deviazione standard ripartito per FA

Focus Area	Variazione del contenuto di P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> espresso in mg/kg per profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta Pianura Est	-10,28 ± 10,91	51,78 ± 32,3	78,3 ± 167,19
Bassa Pianura Centrale	3,55 ± 3,46	3,7 ± 0,71	-4,7 ± 11,46
Bassa Pianura Est	-10,9	7,5	3
Bassa Pianura Ovest	16,34 ± 12,15	59,59 ± 16,39	48,34 ± 30,96
Media Pianura	14 ± 8,49	5,45 ± 6,58	8,45 ± 0,07

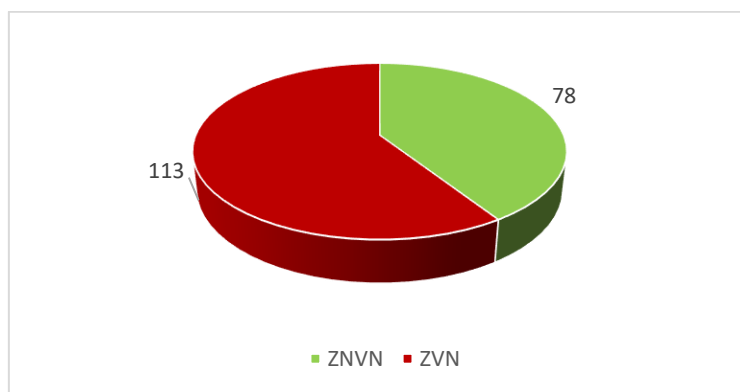


**Figura 12.** Variazione di  $P_2O_5$  tra presemina 2021 e post-raccolta 2020 suddivisa per Focus Area.

I risultati ottenuti (**Tabella 16** e **Figura 12**) evidenziano una limitata variazione nel contenuto di fosforo nei periodi analizzati in quasi tutte le FA, come atteso in funzione della scarsa mobilità di questo elemento. Tale comportamento non viene riscontrato in 2 FA (Alta Pianura Est e Bassa Pianura Ovest) dove si evidenzia un forte aumento del contenuto di fosforo negli strati più profondi (30-60 cm e 60-90 cm), situazione che segue l'andamento riscontrato per il contenuto di nitrati.

#### 2.4.6. Confronto post-raccolta 2021 e post-raccolta 2020

Infine, è stata condotta l'analisi dei risultati delle due campagne di campionamento in post-raccolta per il 2020 e il 2021 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 191 campioni (**Figura 13**).



**Figura 13.** Ripartizione dei campioni raccolti nelle campagne di monitoraggio 2020 e 2021 tra zone vulnerabili (ZVN) e non vulnerabili ai nitrati (ZNVN).

Nelle **Tabella 17** 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 2020 e 2021.

**Tabella 17.** *Contenuto medio di C.O. nei suoli ricadenti in ZVN e ZNVN nelle campagne in post-raccolta 2020 e 2021*

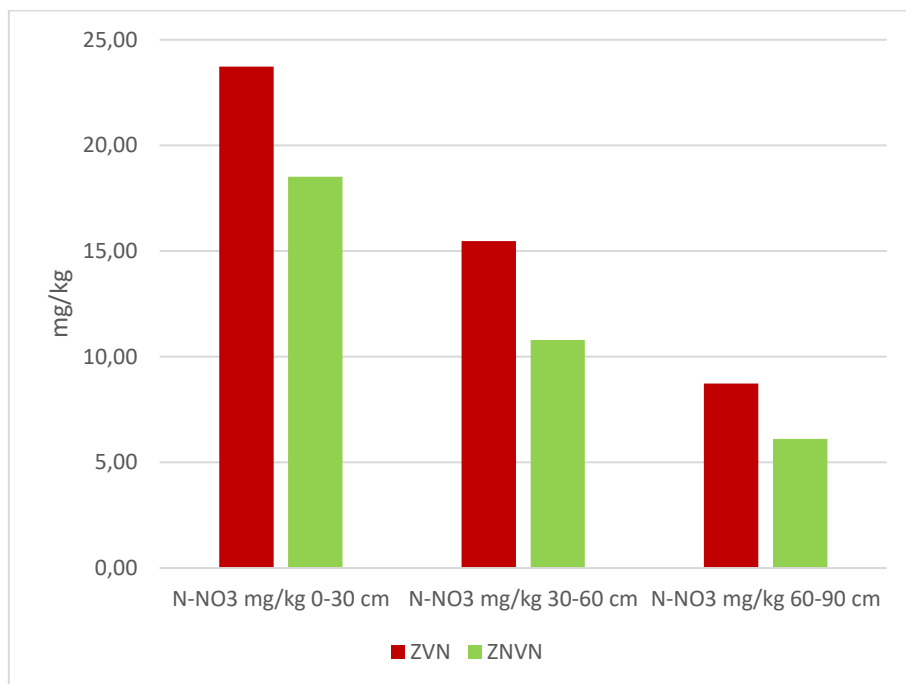
Tipologia di aree	Media di C.O. espresso in g/kg per profondità di campionamento		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
<b>ZVN</b>	16,47 ± 6,59	10,63 ± 6,45	4,71 ± 3,91
<b>ZNVN</b>	12,82 ± 5,19	8,4 ± 5,21	4,47 ± 5,48
<b>Δ% tra ZVN e ZNVN</b>	<b>28,45%</b>	<b>26,52%</b>	<b>5,59%</b>

Nella **Tabella 18**, invece, sono riportate le medie e la deviazione standard del contenuto di NO<sub>3</sub>-N e di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e la variazione percentuale tra le due aree ottenute dai campionamenti eseguiti in post-raccolta nel 2020 e 2021.

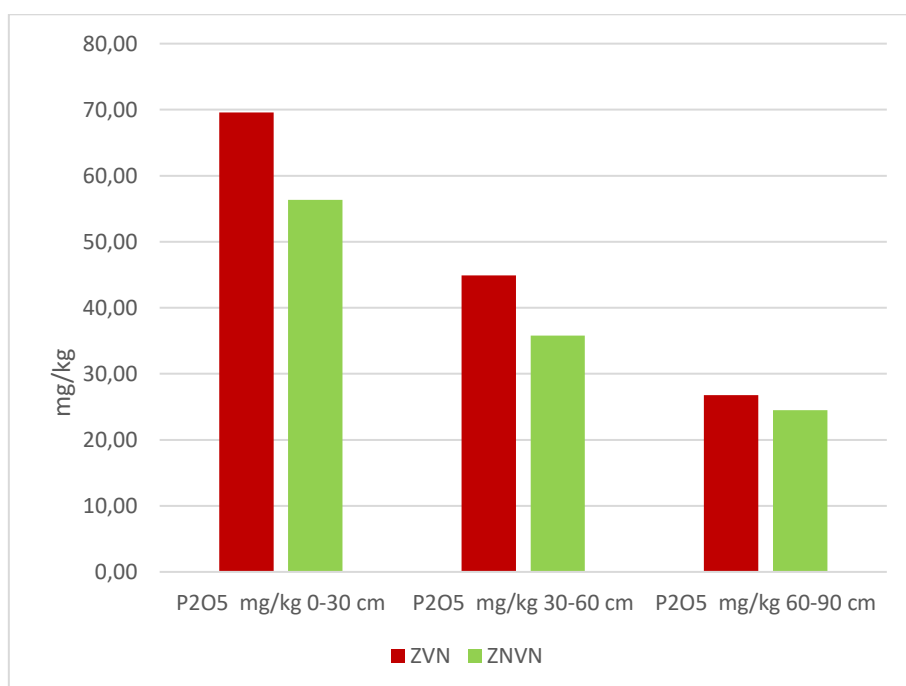
**Tabella 18.** *Contenuto medio di NO<sub>3</sub>-N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nei suoli ricadenti in ZVN e ZNVN nelle campagne in post-raccolta 2020 e 2021*

Tipologia di aree	Media di NO <sub>3</sub> -N espresso in mg/kg per profondità di campionamento			Media di P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 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
<b>ZVN</b>	23,72 ± 22,2	15,48 ± 19,62	8,73 ± 11,02	69,57 ± 38,64	44,92 ± 32,24	26,76 ± 24,5
<b>ZNVN</b>	18,52 ± 16,95	10,79 ± 12,22	6,1 ± 7,67	56,34 ± 32,07	35,79 ± 26,6	24,51 ± 19,01
<b>Δ% tra ZVN e ZNVN</b>	<b>28,12%</b>	<b>43,40%</b>	<b>42,97%</b>	<b>23,49%</b>	<b>25,50%</b>	<b>9,20%</b>

Si può osservare chiaramente come le Zone Vulnerabili ai nitrati abbiano un contenuto medio, per entrambi i nutrienti, che è superiore per tutte le profondità di campionamento. La rappresentazione grafica di quanto enunciato è osservabile nelle **Figura 14** e **Figura 15**.



**Figura 14.** Concentrazione media di  $\text{NO}_3\text{-N}$  alle diverse profondità di campionamento nel periodo 2020 e 2021 per le aree vulnerabili e non vulnerabili ai nitrati.



**Figura 15.** Concentrazione media di  $\text{P}_2\text{O}_5$  alle diverse profondità di campionamento nel periodo 2020 e 2021 per le aree vulnerabili e non vulnerabili ai nitrati.

### 3. RETE PER IL MONITORAGGIO DELLA FALDA ACQUIFERA IPODERMICA

Nell'anno 2021 è stato eseguito il primo 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 installati nella primavera 2021 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 2021, indicativamente ripartite nei periodi seguenti:

1. aprile
2. giugno
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 19**.

**Tabella 19.** *Elenco delle determinazioni analitiche e dei relativi metodi utilizzati*

PARAMETRO	METODO
Concentrazione nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) mg/L	UNI EN ISO 10304-1:2009
Concentrazione fosfati ( $\text{PO}_4^-$ ) mg/L	UNI EN ISO 10304-1:2009
Concentrazione di Arsenico $\mu\text{g/L}^*$	EPA 6020B 2014

*\*le analisi sull'arsenico sono state condotte solamente sulle acque di falda relative alle stazioni di Fara Olivana (BG), Casirate d'Adda (BG) e Caravaggio (BG), nei pressi delle quali, durante la campagna di monitoraggio 2020, erano stati riscontrati valori elevati di questo elemento nel suolo.*



### 3.4. Risultati

Nel presente paragrafo vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dell'acqua di falda ipodermica per l'anno 2021.

Durante le campagne di monitoraggio è stato possibile prelevare l'acqua di falda presso i 18 siti nella quasi totalità dei periodi prestabiliti per i campionamenti. Solamente nella stazione di Fara Olivana non è stato possibile eseguire il 3° campionamento, previsto nel mese di agosto, in quanto non è stata riscontrata la presenza di acqua libera nel terreno.

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 20** 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 2021.

**Tabella 20.** Classi di qualità delle acque sotterranee individuate dalla Commissione Europea

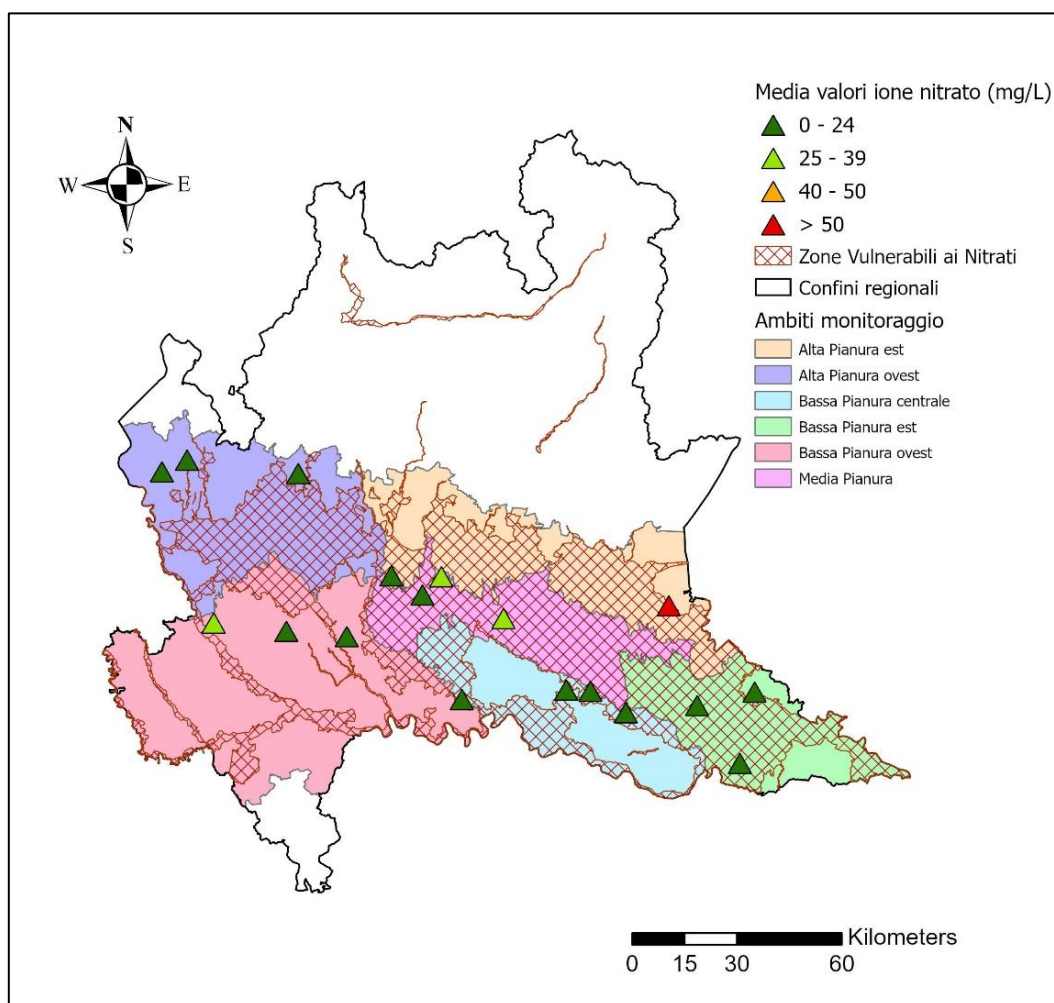
Concentrazione NO <sub>3</sub> - (mg/l)	Qualità acque sotterranee
0-24 mg/l	Acque di buona qualità, che possono essere monitorate con periodicità più lunga
25-39 mg/l	
40-50 mg/l	Acque a rischio di superamento dei valori limite
> 50 mg/l	Acque inquinate

Nella **Tabella 21** sono elencati i 18 siti di monitoraggio, suddivisi per FA, con la relativa concentrazione media di NO<sub>3</sub><sup>-</sup> riscontrata nell'acqua di falda, ottenuta considerando i risultati delle analisi derivanti dai 4 campionamenti annuali.

Nella **Figura 16**, gli stessi siti di monitoraggio, con la relativa concentrazione di NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sono stati resi graficamente per facilitarne l'individuazione sul territorio regionale.

**Tabella 21.** Concentrazione media di ione nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) riscontrata nelle acque di falda per i 18 siti di campionamento

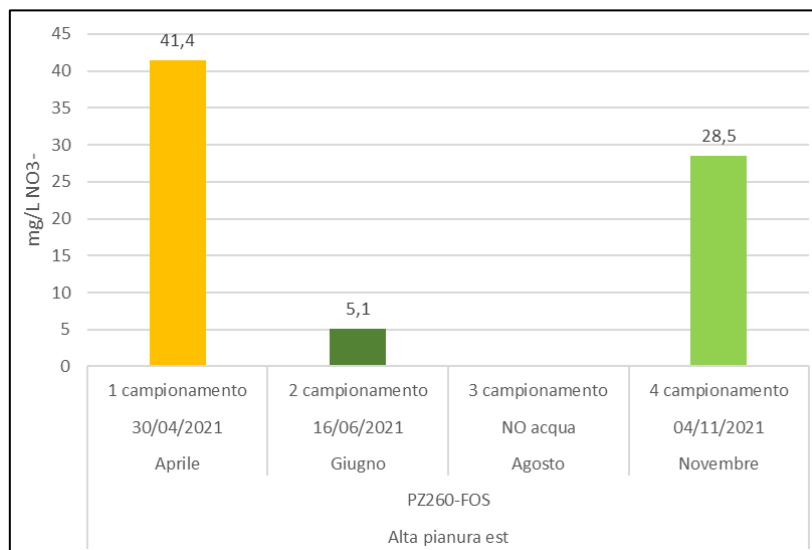
COD Piezometro	Focus Area	Provincia	Comune	Concentrazione media $\text{NO}_3^-$ (mg/L)
PZ380-VBO	Alta Pianura Ovest	VA	Varano Borghi	1,30
PZ360-ANZ	Alta Pianura Ovest	CO	Anzano del Parco	6,35
PZ386-VAR	Alta Pianura Ovest	VA	Varese	23,25
PZ200-DES	Alta Pianura Est	BS	Desenzano del Garda	121,08
PZ260-FOS	Alta Pianura Est	BG	Fara Olivana	25,00
PZ297-CDA	Alta Pianura Est	BG	Casirate d'Adda	13,00
PZ285-PES	Media Pianura	CR	Pessina Cremonese	1,55
PZ152-CRV	Media Pianura	BG	Caravaggio	20,83
PZ187-ORZ	Media Pianura	BS	Orzinuovi	36,38
PZ245-ABB	Bassa Pianura Ovest	MI	Abbiategrosso	28,70
PZ200-BAS	Bassa Pianura Ovest	MI	Basiglio	0,23
PZ270-TAV	Bassa Pianura Ovest	LO	Tavazzano con Villaresco	1,95
PZ300-PIZ	Bassa Pianura Centrale	CR	Pizzighettone	1,00
PZ377-CAN	Bassa Pianura Centrale	MN	Canneto sull'Oglio	3,78
PZ310-PSC	Bassa Pianura Centrale	CR	Pescarolo ed Uniti	1,68
PZ365-CRP	Bassa Pianura Est	MN	San Giorgio Bigarello	6,55
PZ371-PEG	Bassa Pianura Est	MN	Pegognaga	0,18
PZ195-CAS	Bassa Pianura Est	MN	Castellucchio	1,98



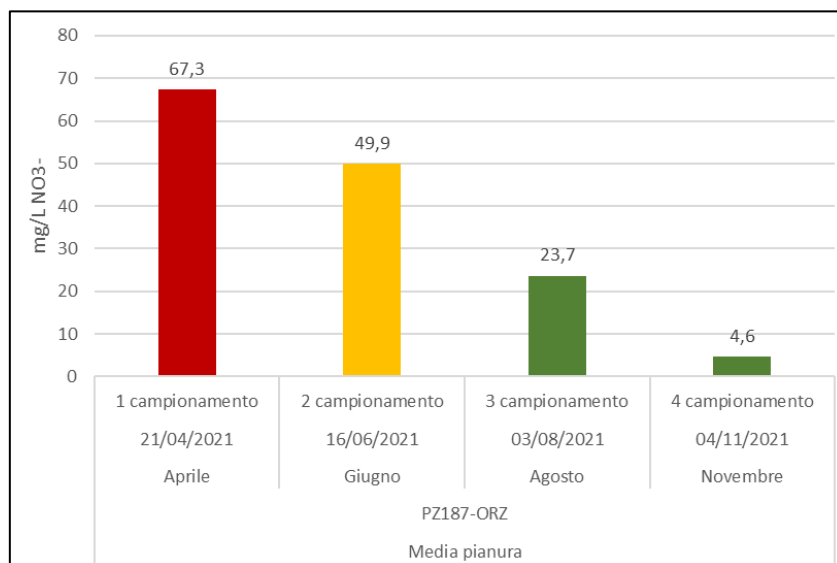
**Figura 16.** Classe di concentrazione media di ione nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) riscontrata nelle acque di falda presso i siti di monitoraggio selezionati durante la campagna 2021.

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 ( $< 25 \text{ mg/L}$ ). Nelle stazioni di Fara Olivana (BG), Orzinuovi (BS) e Abbiategrasso (MI), i valori si attestano mediamente in una classe considerata accettabile e non a rischio di superamento dei valori limite. Solo nella stazione di Desenzano del Garda (BS), nell'Alta Pianura Est, si evidenzia una concentrazione media di nitrati fortemente al di sopra dei valori soglia di accettabilità, che determina la presenza di acque inquinate. È interessante notare inoltre come le stazioni di Orzinuovi e Desenzano del Garda, situate nell'ambito di terreni associati a due aziende zootecniche, abbiano evidenziato valori medi di ione nitrato maggiori rispetto alle altre due aziende di Fara Olivana e Abbiategrasso, non zootecniche, al di fuori della classe di concentrazione ottimale.

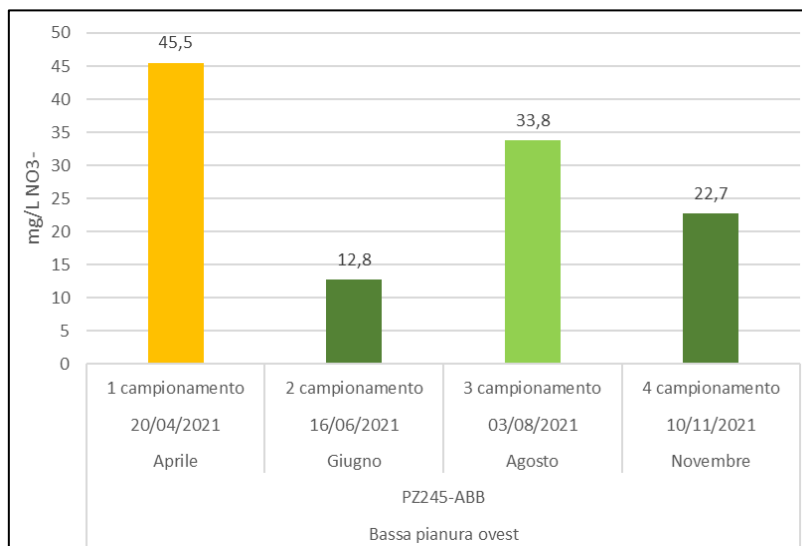
Di seguito sono stati analizzati più nel dettaglio solamente i siti in cui è stata rilevata una concentrazione media di  $\text{NO}_3^-$  al di sopra dei valori considerati come ottimali. In particolare, le seguenti figure (**Figura 17**, **Figura 18**, **Figura 19**, **Figura 20**) mostrano l'andamento dei valori individuati nelle diverse stazioni in ogni epoca di campionamento.



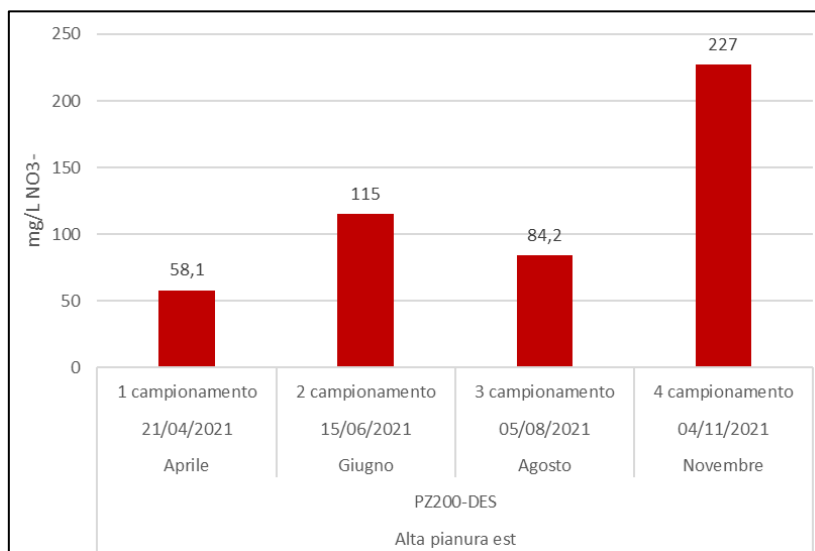
**Figura 17.** Andamento valori  $\text{NO}_3^-$  nell'acqua di falda per le 4 epoche di campionamento – Piezometro di Fara Olivana (BG).



**Figura 18.** Andamento valori  $\text{NO}_3^-$  nell'acqua di falda per le 4 epoche di campionamento – Piezometro di Orzinuovi (BS).



**Figura 19.** Andamento valori NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nell'acqua di falda per le 4 epoche di campionamento – Piezometro di Abbiategrasso (MI).



**Figura 20.** Andamento valori NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nell'acqua di falda per le 4 epoche di campionamento – Piezometro di Desenzano del Garda (BS).

Dalle figure si evidenzia come in tutte e tre le stazioni che hanno presentato concentrazioni medie accettabili di NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, il superamento della soglia ottimale è determinato in particolare da elevati valori di nitrati riscontrati durante il primo periodo di campionamento (aprile). Tali concentrazioni potrebbero essersi verificate in seguito alla preparazione del letto di semina, generalmente eseguita in un periodo di poco antecedente a quello selezionato per il primo campionamento delle acque, a causa dell'elevata mobilità dello ione nitrato nel suolo e alla sua possibile lisciviazione in assenza della coltura principale. Per quanto riguarda invece la stazione di Desenzano del Garda (BS), i valori di NO<sub>3</sub><sup>-</sup> si sono mantenuti estremamente elevati durante tutta la stagione di campionamento.

### ***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.

### ***3.4.3. Elaborazione dati: Arsenico***

Tutti i risultati delle analisi condotte sull'Arsenico evidenziano concentrazioni di questo elemento entro i limiti stabiliti dal Decreto Legislativo del 16 marzo 2009, n. 30, All.3, pari a 10 µg/L.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- Costantini E. (2006). Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, AA.VV.. Ediz. Cantagalli
- 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.
- D.lgs 16 marzo 2009, n. 30 - Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento.