

PIANO DI MONITORAGGIO DEI SUOLI E DEI SISTEMI AGRICOLI

2020-2023

RAPPORTO FINALE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Articolazione del piano di monitoraggio | 3 |
| 2 | Rete per il monitoraggio diffuso dei suoli | 6 |
| 2.1 | Metodica di campionamento | 8 |
| 2.2 | Parametri analizzati | 9 |
| 2.3 | RISULTATI 2023: nutrienti | 10 |
| 2.3.1 | <i>Azoto residuale</i> | 10 |
| 2.3.2 | <i>Fosforo assimilabile</i> | 13 |
| 2.3.3 | <i>Carbonio organico</i> | 15 |
| 2.3.4 | <i>Rapporto C/N</i> | 17 |
| 2.3.5 | <i>Presemina 2024 vs post-raccolta 2023</i> | 18 |
| 2.3.6 | <i>Analisi delle correlazioni</i> | 20 |
| 2.4 | RISULTATI 2020-2023: nutrienti | 22 |
| 2.4.1 | <i>Azoto residuale</i> | 22 |
| 2.4.2 | <i>Fosforo assimilabile</i> | 24 |
| 2.4.3 | <i>Carbonio Organico</i> | 25 |
| 2.4.4 | <i>Presemina vs post-raccolta</i> | 27 |
| 2.5 | RISULTATI 2020-2023: metalli pesanti | 29 |
| 2.5.1 | <i>Arsenico</i> | 30 |
| 2.5.2 | <i>Nichel</i> | 31 |
| 2.5.3 | <i>Zinco</i> | 32 |
| 3 | Rete per il monitoraggio della falda acquifera ipodermica | 33 |
| 3.1 | Metodica di campionamento | 34 |
| 3.2 | Parametri analizzati | 34 |
| 3.3 | RISULTATI 2020-2023 | 34 |
| 3.3.1 | <i>Nitrati disciolti</i> | 34 |
| 3.3.2 | <i>Fosfati disciolti</i> | 38 |
| 4 | BIBLIOGRAFIA | 39 |

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 culturale.

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

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

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

Tabella 1. Caratterizzazione dei suoli prevalenti per ciascuna FA

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

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

Tabella 2: il carico zootecnico di partenza (2018) che ha contribuito alla definizione delle FA. Inoltre, viene riportato il carico zootecnico aggiornato (2023), ottenuto partendo dallo scarico Sis.Co. (2023) sulla consistenza degli allevamenti e stimando la produzione di azoto al campo tramite apposite tabelle. Quanto ottenuto è stato poi ripartito sulla SAU, stimata partendo dal Piano colturale grafico delle aziende agricole di Regione Lombardia (scaricato da Sis.Co 2023); eventuali mancanze di informazioni sono state sopperite utilizzando il Dusaf 2021 che ha quindi portato alla definizione dell'Uso Agricolo del Suolo (USAGR 2023).

Tabella 3: la SAU e le tipologie di coltura per ogni FA partendo dall'Uso Agricolo del Suolo (USAGR 2023, Piano Colturale Grafico 2023 e Dusaf 2021).

Tabella 2. Caratterizzazione delle FA: carico zootecnico (kg/ha) e % SAU (DUSAF 2021– Sis.Co. 2023)

| Denominazione FA | Carico di N da e.a. 2018 | Carico di N da e.a. su USAGR 2023 (kg N/ha) | % SAU sul territorio 2023 |
|-------------------------------|-----------------------------|--|------------------------------|
| Alta Pianura Est | 188 | 196 | 53% |
| Alta Pianura Ovest | 62 | 57 | 29% |
| Media Pianura | 269 | 274 | 80% |
| Bassa Pianura Est | 134 | 138 | 78% |
| Bassa Pianura Centrale | 132 | 141 | 79% |
| Bassa Pianura Ovest | 52 | 58 | 69% |

Tabella 3. Caratterizzazione delle FA: % delle principali colture (DUSAF 2021 – Sis.Co. 2023)

| FA | SAU (ha) | MAIS | FORAGGERE | ALTRI CEREALI | COLTURE ARBOREE | ALTRO |
|------------|----------|--------|-----------|---------------|-----------------|--------|
| APE | 126242 | 29,29% | 27,08% | 8,69% | 10,11% | 24,84% |
| APO | 73864 | 13,55% | 22,06% | 13,01% | 0,68% | 50,69% |
| MP | 128044 | 43,87% | 30,52% | 8,40% | 0,20% | 17,01% |
| BPE | 127835 | 23,47% | 26,37% | 19,27% | 1,37% | 29,52% |
| BPC | 281640 | 37,78% | 20,49% | 14,22% | 0,42% | 27,09% |
| BPO | 123237 | 18,36% | 17,91% | 10,21% | 4,25% | 49,26% |

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

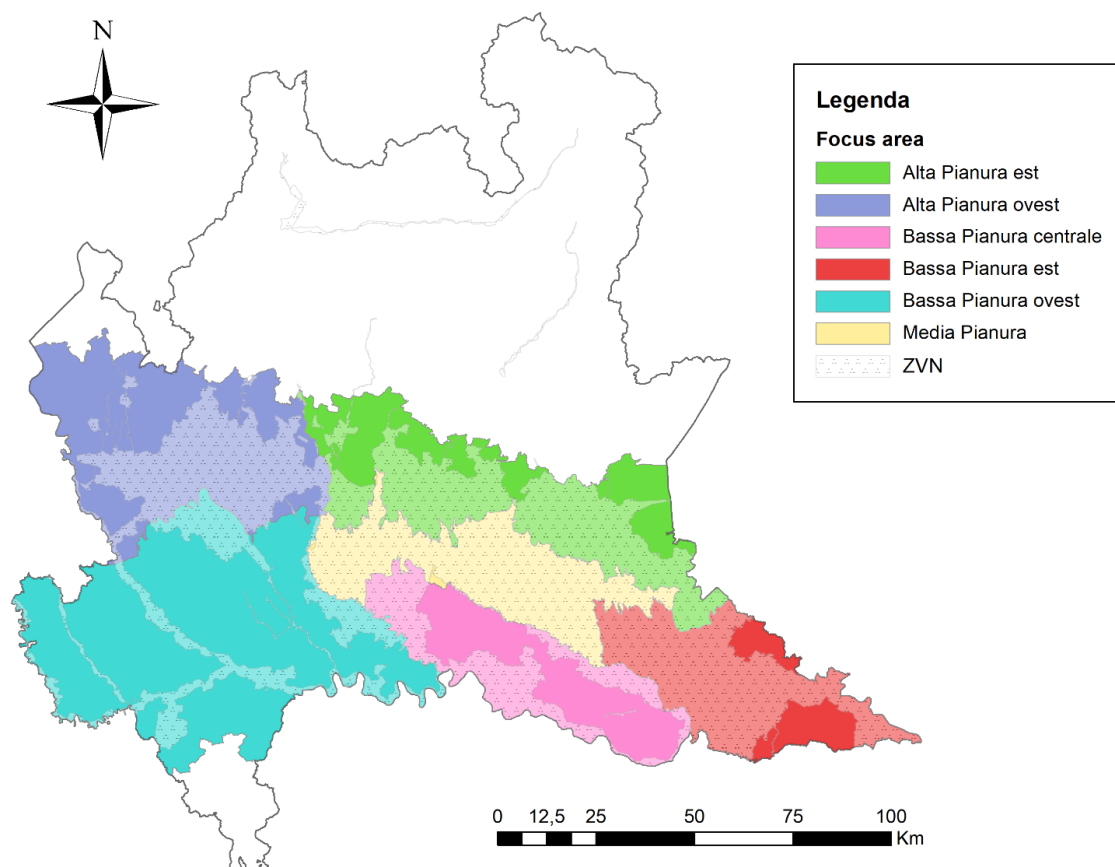


Figura 1. Delimitazione delle FA in pianura e zone vulnerabili ai nitrati (ZVN 2020) - Regione Lombardia.

Nel 2020, nell'ambito del programma di sorveglianza per la verifica dell'efficacia del Programma d'Azione nelle ZVN 2020-2023, è stato definito da ERSAF un Piano di Monitoraggio (PdM) finalizzato a valutare gli effetti conseguenti e potenziali delle pratiche agricole e dei loro effetti sullo stato delle acque, in particolare per quanto attiene la concentrazione dei nitrati e del fosforo. Ciò ha comportato il monitoraggio di alcuni indicatori chiave come le pratiche agricole nella loro evoluzione, la presenza dei nitrati e del fosforo nei suoli coltivati e nelle falde ipodermiche.

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

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

2 Rete per il monitoraggio diffuso dei suoli

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

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

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

Nella seguente **Tabella 4** si riporta il totale di campioni raccolti nel periodo 2020-2023 per ciascuna annualità in funzione del periodo e della profondità di raccolta raggiunta.

Tabella 4. Numero totale di campioni raccolti dal 2020 alle diverse profondità

| ANNUALITÀ | PERIODO | profondità 0-30 cm | profondità 30-60 cm | profondità 60-90 cm |
|-----------|---------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 2020 | PRE-SEMINA | - | - | - |
| | POST-RACCOLTA | 93 | 93 | 86 |
| 2021 | PRE-SEMINA | 17 | 17 | 16 |
| | POST-RACCOLTA | 94 | 85 | 73 |
| 2022 | PRE-SEMINA | 26 | 25 | 22 |
| | POST-RACCOLTA | 87 | 86 | 76 |
| 2023 | PRE-SEMINA | 21 | 21 | 20 |
| | POST-RACCOLTA | 90 | 90 | 82 |
| 2024 | PRE-SEMINA | 23 | 23 | 22 |
| | TOTALE | 451 | 440 | 397 |

La localizzazione dei punti oggetto dell'attività di monitoraggio nel periodo 2020-2023 e la relativa ripartizione degli stessi tra ZVN e ZnVN sono riportati in **Figura 2** e **Figura 3**; in **Figura 4** sono indicate le principali tipologie di colture praticate sui campi monitorati in post-raccolta: la maggior parte dei campi risultava coltivato a mais (>65%), ma sono stati eseguiti campionamenti anche in aree coltivate a riso, soia, cereali autunno vernini, prati, ecc.

Per quanto riguarda le tipologie aziendali oggetto del monitoraggio nel quadriennio 2020-2023, la maggioranza delle aziende zootecniche sono rappresentate da allevamenti di bovini (>40%) e suini (>20%); inoltre, sono presenti aziende che utilizzano fanghi (ca. 6%) e gessi (ca. 4%).

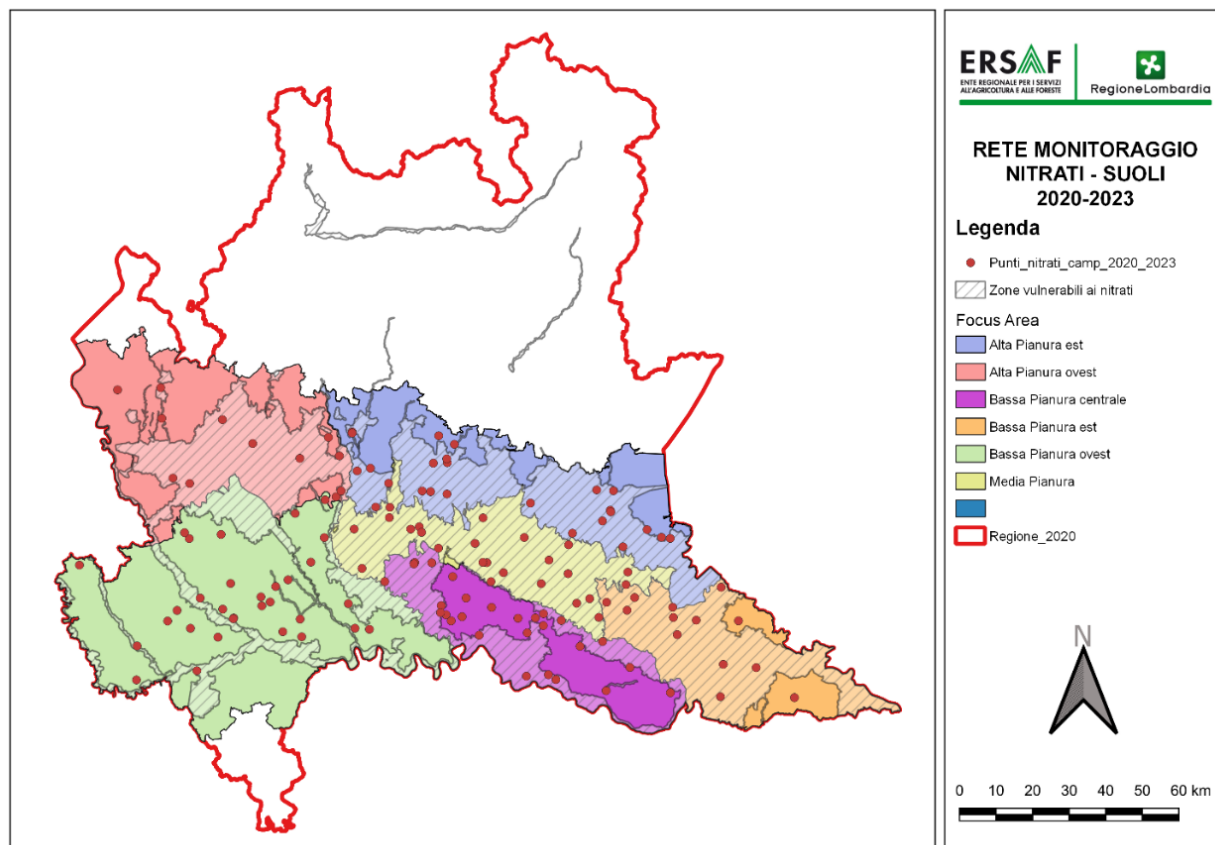


Figura 2. Localizzazione di tutti i punti oggetto del monitoraggio dei suoli nel periodo 2020-2023.

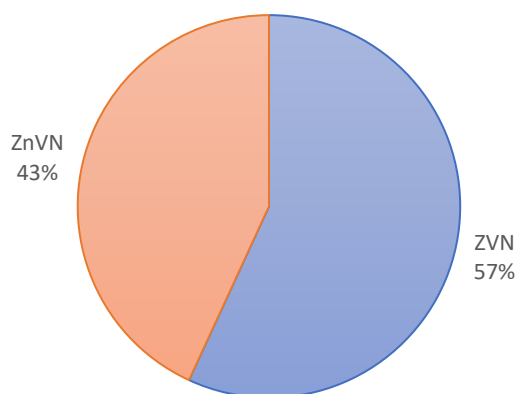


Figura 3. Ripartizione % dei campioni eseguiti in post-raccolta tra 2020 e 2023 in ZVN e ZnVN.

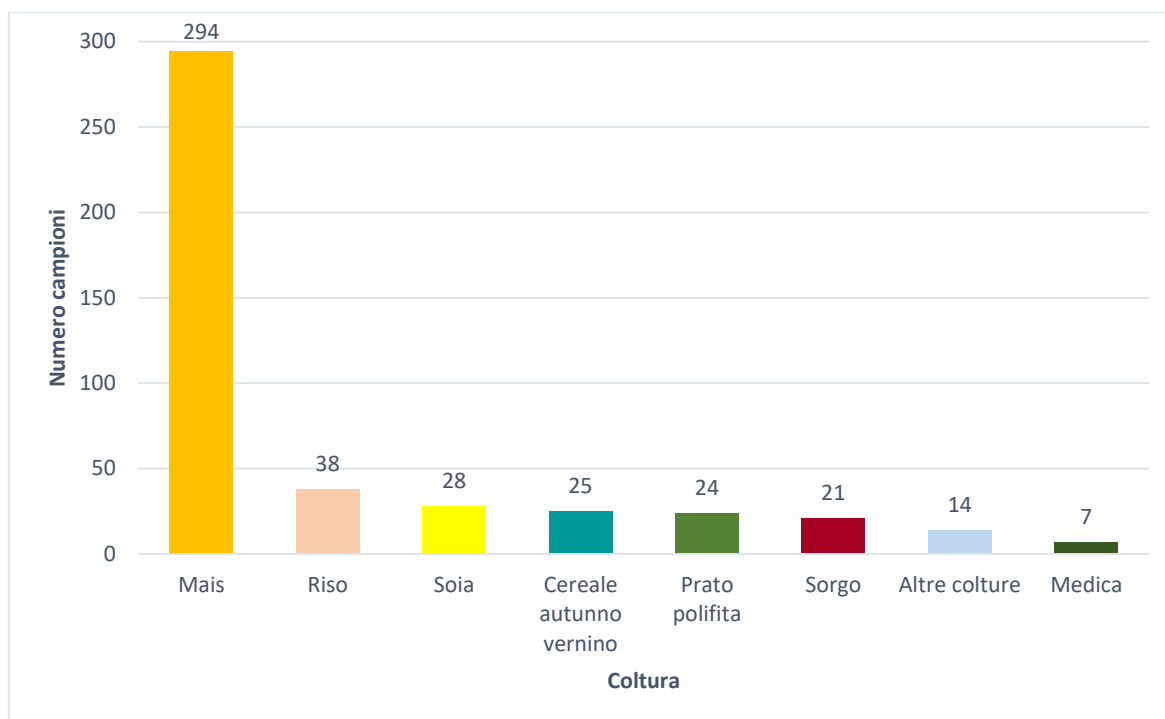


Figura 4. Ripartizione delle colture praticate sui campi campionati in post-raccolta nel periodo 2020-23.

2.1 Metodica di campionamento

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

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

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

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

2.2 Parametri analizzati

Come definito nel PdM, le determinazioni analitiche eseguite sui campioni di suolo hanno riguardato principalmente il contenuto di nitrati (azoto nitrico [NO₃-N]), azoto totale (metodo Kjeldahl - TKN) e fosforo disponibile [P₂O₅] per ognuna delle tre profondità in tutte le annualità; inoltre, anche la determinazione del contenuto di carbonio organico (CO) (e il conseguente rapporto C/N) sono stati oggetto delle analisi eseguite in tutti i punti di campionamento. Infine, nel corso del quadriennio sono stati anche valutati, tendenzialmente almeno una volta in ciascuno dei punti della rete, i parametri di pH, conducibilità elettrica (CE), capacità di scambio cationico (CSC), metalli pesanti (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn) e tessitura.

Nella seguente **Tabella 5** si riporta lo schema seguito per le determinazioni analitiche sui campioni di suolo raccolti nel periodo 2020-2023.

Tabella 5. Schema applicato per l'esecuzione delle determinazioni analitiche

| | | NO ₃ -N | TKN | P ₂ O ₅ | pH | CE | CO | C/N | CSC | Metalli pesanti | Tessitura |
|------|-----------|--------------------|-----|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----------------|-----------|
| 2020 | 0 - 30cm | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | 30 - 60cm | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | |
| | 60 - 90cm | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | |
| 2021 | 0 - 30cm | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| | 30 - 60cm | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | |
| | 60 - 90cm | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | |
| 2022 | 0 - 30cm | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | |
| | 30 - 60cm | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | |
| | 60 - 90cm | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | |
| 2023 | 0 - 30cm | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | 30 - 60cm | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | 60 - 90cm | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Nella seguente **Tabella 6** si riportano i metodi di analisi chimica e fisica applicati dal laboratorio di analisi.

Tabella 6. 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 |
| pH (in acqua) | DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met III.1 |
| Conducibilità Elettrica a 20 °C | UNI 10780:1998 App. D |
| Capacità di scambio cationico (CSC) | DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met XIII.2 |
| Carbonio organico (come C) | DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met VII.1 |
| Azoto totale (come N) | DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met VII.1 |
| Azoto nitrico (come N) | DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met IV.2+DM 25/03/2002 GU n°84 |
| Fosforo assimilabile (come P) | DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met XV.3 |
| GRANULOMETRIA (5 frazioni) | DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met II.6 |
| Metalli (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn) | EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018 |

2.3 RISULTATI 2023: nutrienti

Nel presente paragrafo si riportano i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dei suoli nell'ambito della campagna di campionamento 2023.

2.3.1 Azoto residuale

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 nel 2023. Si può notare come in tutte le FA le concentrazioni di azoto nitrico presentino valori mediamente bassi, con trend in diminuzione scendendo in profondità. I valori più elevati sono stati riscontrati nella zona occidentale della pianura (prevalentemente caratterizzata dalla coltivazione di riso nella bassa pianura e mais nell'alta pianura) dove gli orizzonti superficiali presentano valori medi > 20 mg/kg di $\text{NO}_3\text{-N}$ residuale; i valori più bassi sono invece stati riscontrati nell'Alta Pianura Est a tutte le profondità. Tali risultati sono in controtendenza rispetto al passato, pur confermando un basso contenuto di nitrati nei suoli della pianura abbinato a una notevole variabilità di tutto il dataset, dovuto prevalentemente ai vari sistemi di gestione agronomica, alle diverse matrici utilizzate per la fertilizzazione e, soprattutto, ai differenti input di azoto.

Tabella 7. Concentrazione media (\pm SQM) di $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg) residuale per FA a diverse profondità in post-raccolta 2023

| Focus Area | Profondità di campionamento | | |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Alta Pianura Est | 8,7 \pm 8,8 | 6,0 \pm 5,5 | 4,2 \pm 4,0 |
| Alta Pianura Ovest | 20,3 \pm 21,2 | 15,0 \pm 12,6 | 7,9 \pm 6,9 |
| Media Pianura | 16,4 \pm 11,3 | 12,2 \pm 9,0 | 12,6 \pm 7,6 |
| Bassa Pianura Est | 14,4 \pm 13,3 | 9,7 \pm 6,8 | 9,4 \pm 7,0 |
| Bassa Pianura Centrale | 18,1 \pm 11,8 | 10,9 \pm 9,0 | 9,1 \pm 6,7 |
| Bassa Pianura Ovest | 20,9 \pm 23,2 | 14,7 \pm 17,2 | 13,3 \pm 18,4 |
| Totale Pianura | 16,6\pm16,4 | 11,5\pm11,7 | 10,0\pm11,4 |

Nella **Tabella 8** si riportano i valori medi per FA e per coltura alle diverse profondità di campionamento in post-raccolta 2023. Le concentrazioni più elevate sono state riscontrate nei suoli che, al momento del campionamento in post-raccolta, erano utilizzati come prati (in particolare, erba medica – soprattutto nella zona orientale della pianura – e prato polifita – nella zona occidentale). Per il mais, ampiamente rappresentato nei suoli oggetto di campionamento, l'unico valore di concentrazione elevato è stato rilevato nella BPO determinandone, insieme ai campi a prato, il livello più alto nei suoli; nella stessa FA, i campi a riso risultano invece avere valori di nitrati trascurabili.

Tabella 8. Concentrazione media di $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg) per FA a diverse profondità in funzione delle colture presenti in post-raccolta 2023

| | | | |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Cereale autunno vernino | 17,6 | 8,1 | 3,3 |
| APE | 4,8 | 2,3 | 3,0 |
| APO | 18,5 | 8,0 | 2,0 |
| BPC | 29,5 | 14,0 | 4,0 |
| Mais | 16,4 | 11,4 | 11,2 |
| APE | 9,0 | 6,1 | 5,2 |
| APO | 12,4 | 14,2 | 4,3 |
| BPC | 18,9 | 11,9 | 11,3 |
| BPE | 12,0 | 10,0 | 14,0 |
| BPO | 24,5 | 14,5 | 16,1 |
| MP | 16,4 | 12,2 | 12,6 |
| Erba medica | 24,8 | 14,0 | 9,7 |
| APE | 35,0 | 21,0 | - |
| BPC | 12,0 | 4,0 | 5,0 |
| BPE | 26,0 | 15,5 | 12,0 |
| Prato polifita | 31,2 | 22,0 | 12,8 |
| APE | 1,0 | 4,0 | 2,0 |
| APO | 47,0 | 27,0 | 15,5 |
| BPE | 17,0 | 8,0 | 3,0 |
| BPO | 37,5 | 33,0 | 20,5 |
| Riso | 13,9 | 3,8 | 1,7 |
| BPO | 13,9 | 3,8 | 1,7 |
| Soia | 4,0 | 6,0 | 5,8 |
| BPC | 5,0 | 3,0 | 5,5 |
| BPE | 4,0 | 4,5 | 5,5 |
| BPO | 2,0 | 15,0 | 7,0 |
| Sorgo | 11,5 | 15,0 | 13,4 |
| APE | 1,3 | 2,5 | 1,3 |
| APO | 10,0 | 9,0 | 13,0 |
| BPC | 18,0 | 16,0 | 7,0 |
| BPO | 16,7 | 25,0 | 23,8 |

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

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

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

La **Figura 5** rappresenta i siti campionati (n. totale 90) suddivisi secondo l'appartenenza alle classi di Sullivan e Cogger in funzione del contenuto di azoto nitrico nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) in post-raccolta 2023: la maggioranza dei siti monitorati (ca. 72%) ricade nella Classe I, mentre nelle zone centrali della pianura risultano concentrati la maggior parte di quelli ricadenti in Classe II (ca. 23%); i punti ricadenti in Classe III (ca. 5%) si concentrano nella zona occidentale, soprattutto nella Bassa Pianura e 3 su 4 ricadono in ZnVN.

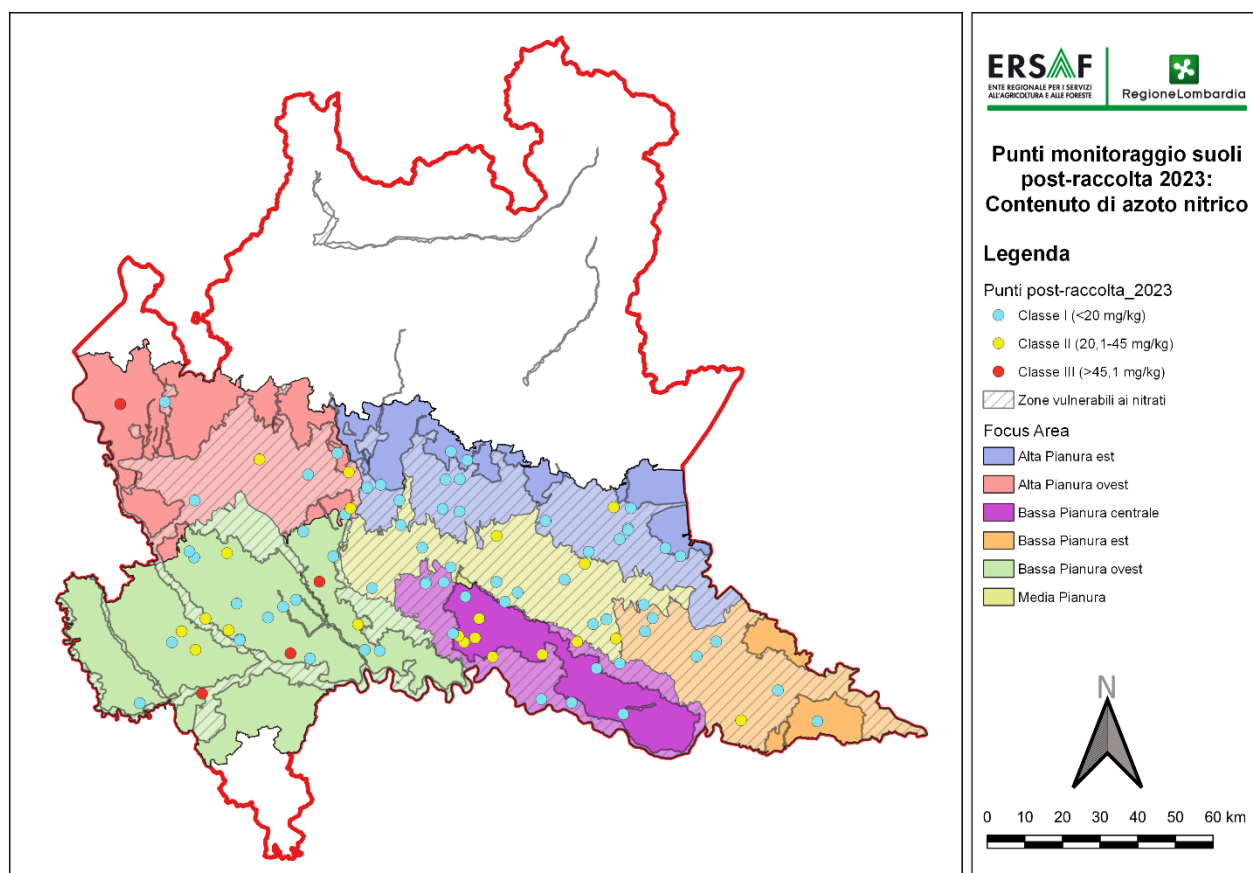


Figura 5. Carta del contenuto di $\text{NO}_3\text{-N}$ nel primo strato di suolo (0-30 cm) nelle diverse FA in post-raccolta 2023, in relazione all'appartenenza alle classi di Sullivan e Cogger (**Tabella 9**).

Una valutazione dettagliata dei singoli punti di monitoraggio rivela, inoltre, che dei 25 siti in Classe II e III che superano la soglia di 20 mg/kg di azoto nitrico, circa il 60% risulta coltivato a mais; dei 4 siti che rientrano nella Classe III, 2 risultano utilizzati a prato.

2.3.2 Fosforo assimilabile

Per quanto riguarda il contenuto di fosforo nel suolo, è stata eseguita l'analisi del fosforo assimilabile presente in soluzione attraverso il metodo Olsen che permette di determinare il quantitativo biodisponibile e quindi la quantità di fosforo utilizzabile dalle colture vegetali. L'analisi 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 P_2O_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 P_2O_5 .

La **Tabella 10** riporta i risultati dell'analisi del contenuto di P_2O_5 assimilabile (mg/kg) nei suoli a diverse profondità per FA. In un contesto generale caratterizzato da alti valori medi negli orizzonti superficiali, pur con elevate variabilità, l'Alta Pianura Est e la Media Pianura presentano le situazioni più critiche, confermando i risultati delle campagne degli anni precedenti.

Tabella 10. Concentrazione media (\pm SQM) di P_2O_5 assimilabile (mg/kg) per FA a diverse profondità di campionamento in post-raccolta 2023

| Focus Area | profondità di campionamento | | |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Alta Pianura Est | 72,4 \pm 25,4 | 50,4 \pm 31,8 | 25,3 \pm 22,5 |
| Alta Pianura Ovest | 65,6 \pm 42,1 | 44,9 \pm 41,6 | 26,1 \pm 24,6 |
| Media Pianura | 77,4 \pm 29,9 | 51,3 \pm 37,5 | 22,9 \pm 13,5 |
| Bassa Pianura Est | 34,8 \pm 21,8 | 23,2 \pm 17,4 | 11,2 \pm 3,2 |
| Bassa Pianura Centrale | 57,4 \pm 35,7 | 31,4 \pm 20,8 | 13,0 \pm 5,7 |
| Bassa Pianura Ovest | 68,5 \pm 46,9 | 42,1 \pm 41,6 | 28,8 \pm 29,4 |
| Pianura totale | 65,5\pm37,0 | 41,9\pm34,4 | 22,1\pm21,1 |

Nella **Tabella 11** si riportano i valori medi per FA e per coltura alle diverse profondità di campionamento in post-raccolta 2023. Le concentrazioni più elevate sono state riscontrate nei suoli che, al momento del campionamento in post-raccolta, erano coltivati a mais e sorgo e, in particolare, nella parte occidentale della pianura. Anche se il dato risulta meno rappresentativo in virtù di un minor numero di campioni, i valori più bassi sono stati riscontrati su soia e prati.

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

| | | | |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Cereale autunno vernino | 58,0 | 45,8 | 16,1 |
| APE | 76,0 | 88,0 | 23,7 |
| APO | 35,2 | 20,5 | 14,6 |
| BPC | 62,9 | 28,8 | 13,1 |
| Mais | 72,2 | 45,6 | 24,8 |
| APE | 68,1 | 46,1 | 28,5 |
| APO | 90,0 | 63,3 | 32,2 |
| BPC | 61,1 | 32,6 | 13,4 |
| BPE | 36,5 | 20,5 | 10,0 |
| BPO | 80,7 | 48,5 | 35,4 |
| MP | 77,4 | 51,3 | 22,9 |
| Erba medica | 63,7 | 49,3 | 10,6 |
| APE | 108,0 | 99,0 | |
| BPC | 53,0 | 24,6 | 13,9 |
| BPE | 46,9 | 36,9 | 8,9 |
| Prato polifita | 38,1 | 17,9 | 17,9 |
| APE | 81,0 | 10,8 | 8,0 |
| APO | 29,9 | 22,6 | 23,8 |
| BPE | 30,5 | 15,8 | 17,9 |
| BPO | 28,6 | 17,7 | 17,1 |
| Riso | 46,5 | 24,1 | 19,5 |
| BPO | 46,5 | 24,1 | 19,5 |
| Soia | 33,7 | 16,3 | 12,1 |
| BPC | 33,0 | 11,8 | 9,4 |
| BPE | 23,3 | 16,1 | 11,3 |
| BPO | 56,0 | 25,9 | 19,2 |
| Sorgo | 81,4 | 58,8 | 25,0 |
| APE | 72,5 | 34,3 | 20,3 |
| APO | 76,0 | 46,0 | 17,9 |
| BPC | 55,0 | 68,0 | 14,0 |
| BPO | 98,0 | 76,4 | 34,3 |

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 |

In base a questa interpretazione agronomica, circa il 66% dei campioni superficiali presenta valori “alti” (> 45 mg/kg) di fosforo disponibile, di cui circa la metà presenta valori “molto alti” (> 70 mg/kg), con una distribuzione abbastanza omogenea in tutto il territorio (**Figura 6**).

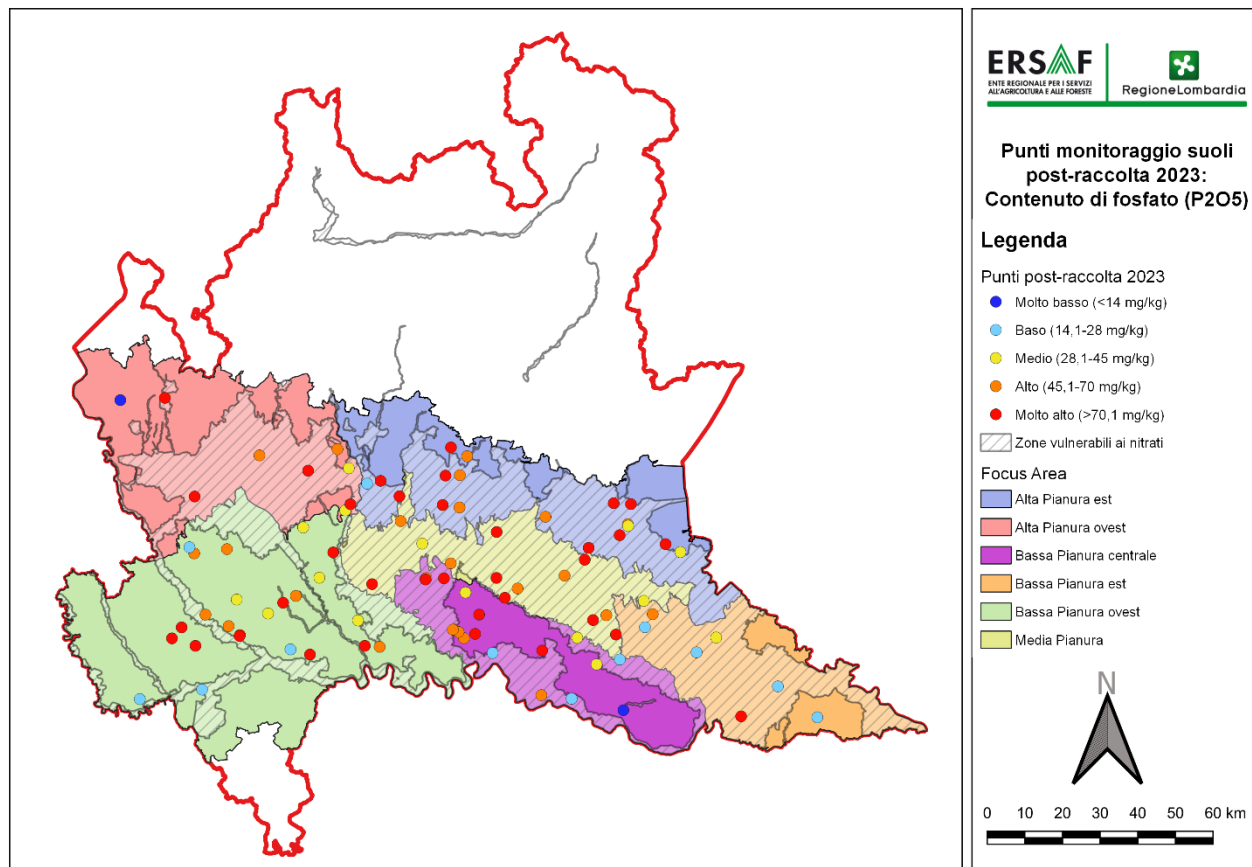


Figura 6. Carta del contenuto di P_2O_5 nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA, in relazione all'appartenenza alle classi in **Tabella 12**.

2.3.3 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 i fenomeni erosivi. 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 evidenziano, in linea con il passato, un discreto stato di fertilità dei suoli del territorio in quanto, in quasi tutti i punti monitorati, gli orizzonti superficiali, indipendentemente dal tipo di coltura, superano la soglia minima accettabile di 9 g/kg di carbonio organico.

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 |

Come si evince anche dalla **Figura 7**, i suoli maggiormente ricchi di CO sono risultati essere quelli dell'alta pianura, prevalentemente legato alla presenza di campi a prato e medica. 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.

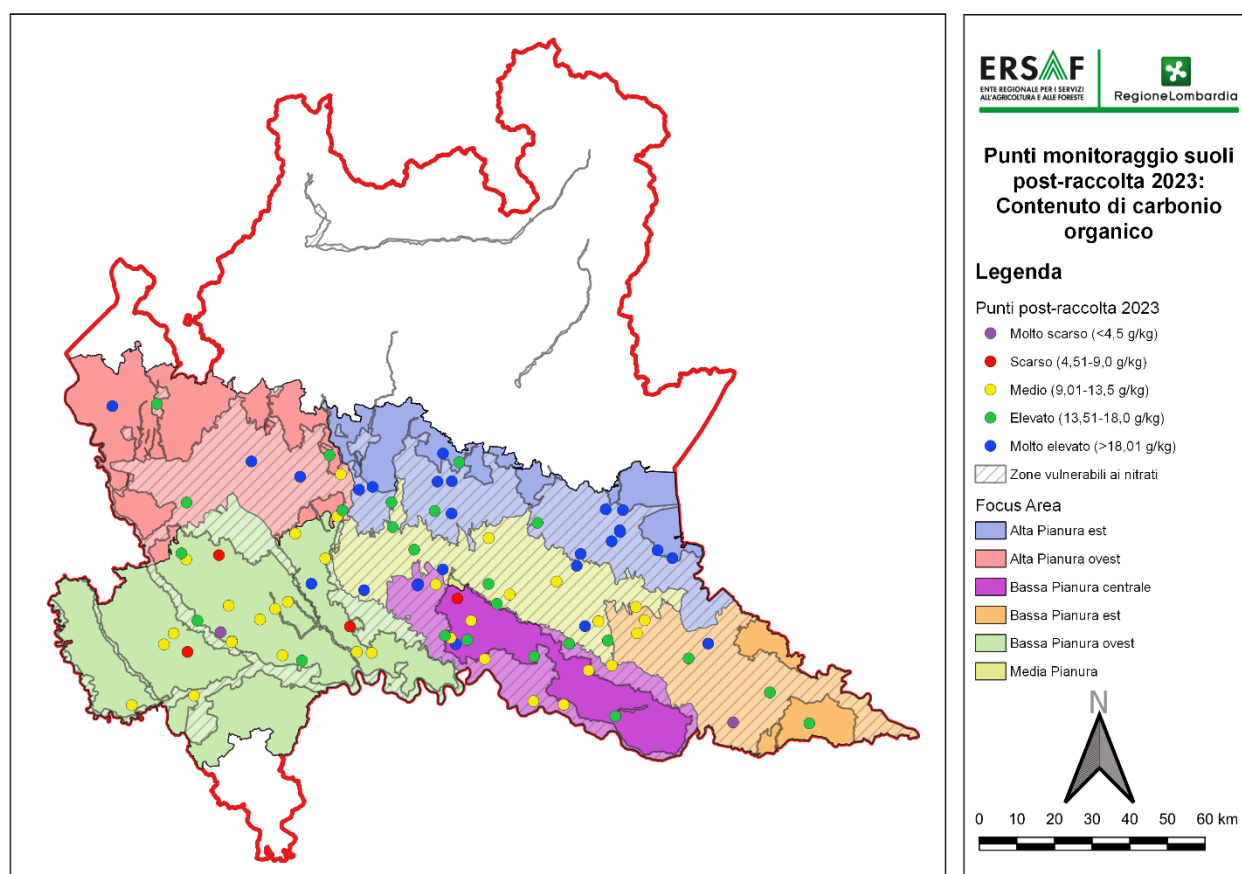


Figura 7. Carta del contenuto di carbonio organico in post-raccolta 2023 negli orizzonti superficiali (0-30 cm), in relazione all'appartenenza alle classi in **Tabella 13**.

2.3.4 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 |

I risultati di questa campagna evidenziano una limitata differenza tra i topsoil di tutta la pianura nel processo di mineralizzazione della sostanza organica con valori equilibrati del rapporto C/N che si attesta mediamente intorno a 8,5 e 9,5 (**Figura 8**).

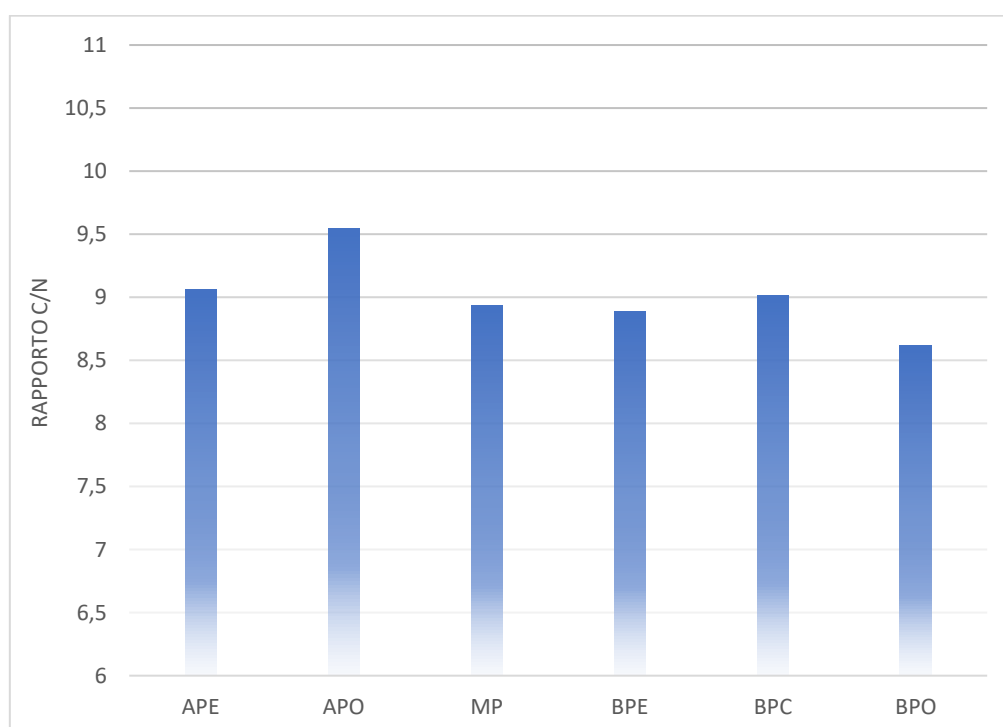


Figura 8. Rapporto C/N medio del top-soil per ogni FA.

2.3.5 Presemina 2024 vs post-raccolta 2023

Il confronto tra i risultati ottenuti nella campagna di monitoraggio in presemina realizzata tra gennaio e febbraio 2024 e quelli riscontrati in post-raccolta 2023 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 23 punti che erano già stati campionati in post-raccolta 2023 a causa del fatto che il terreno per essere campionabile non dovesse essere stato lavorato e/o concimato. Nella **Tabella 15** si può osservare la variazione media dell'azoto nitrico ($\text{NO}_3\text{-N}$) e la sua deviazione standard, anche in questo caso sempre molto elevata.

Tabella 15. Variazione media (\pm SQM) del contenuto di $\text{NO}_3\text{-N}$ tra presemina 2024 e post-raccolta 2023

| FOCUS AREA | $\Delta \text{NO}_3\text{-N}$ espresso in mg/kg per profondità di campionamento | | |
|------------------------|---|--------------------|-------------------|
| | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Alta Pianura Est | 19,50 \pm 20,51 | 5,50 \pm 10,61 | - |
| Alta Pianura Ovest | -30,33 \pm 20,50 | -18,67 \pm 13,05 | -8,83 \pm 9,57 |
| Media Pianura | -8,80 \pm 10,03 | -3,80 \pm 9,42 | -2,00 \pm 6,12 |
| Bassa Pianura Est | - | - | - |
| Bassa Pianura Centrale | -6,57 \pm 12,27 | 3,14 \pm 5,96 | 3,43 \pm 5,22 |
| Bassa Pianura Ovest | -18,50 \pm 27,64 | -10,00 \pm 18,62 | -5,75 \pm 12,93 |

I risultati, rappresentati anche nella **Figura 9**, evidenziano un generale calo delle concentrazioni di $\text{NO}_3\text{-N}$ che tende ad attenuarsi scendendo in profondità. Fanno eccezione la BPC dove in profondità si rileva un leggero accumulo e, soprattutto, la APE dove l'effetto di accumulo risulta particolarmente elevato in superficie (occorre però sottolineare che i suoli di questa FA presentano le concentrazioni medie di nitrati più basse). Questo aumento negli strati più superficiali potrebbe essere stato determinato anche da eventuali distribuzioni che non sono state individuate prima del campionamento di presemina.

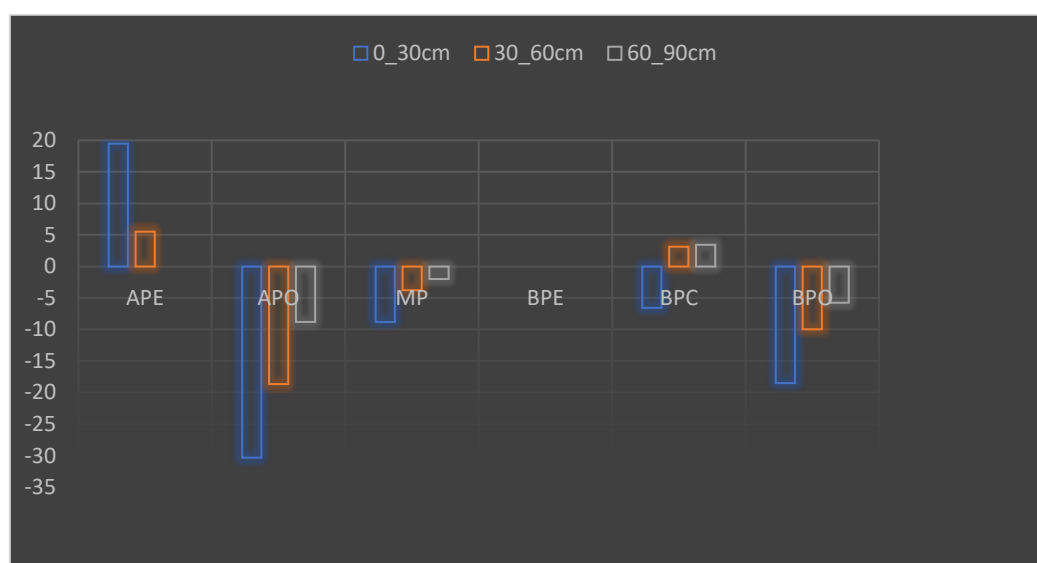


Figura 9. Variazione di N-NO_3 tra presemina 2024 e post-raccolta 2023 suddivisa per Focus Area.

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 (\pm SQM) del contenuto di P_2O_5 tra presemina e post-raccolta

| Focus Area | ΔP_2O_5 espresso in mg/kg per profondità di campionamento | | |
|------------------------|---|--------------------|------------------|
| | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Alta Pianura Est | 11,45 \pm 13,51 | 23,50 \pm 39,88 | - |
| Alta Pianura Ovest | -1,73 \pm 1,51 | -11,17 \pm 13,71 | -2,33 \pm 3,82 |
| Media Pianura | 22,00 \pm 18,68 | 15,32 \pm 8,48 | 4,34 \pm 3,64 |
| Bassa Pianura Est | - | - | - |
| Bassa Pianura Centrale | 14,63 \pm 16,67 | 4,57 \pm 10,00 | -0,47 \pm 3,15 |
| Bassa Pianura Ovest | 0,27 \pm 5,58 | -0,33 \pm 7,20 | -0,25 \pm 3,65 |

Nonostante la scarsa mobilità di questo elemento, i risultati ottenuti, seppur caratterizzati da un'elevata variabilità, evidenziano un effetto di accumulo del contenuto di fosforo negli orizzonti superficiali, soprattutto nelle seguenti FA: APE, MP e BPC (**Figura 10**).

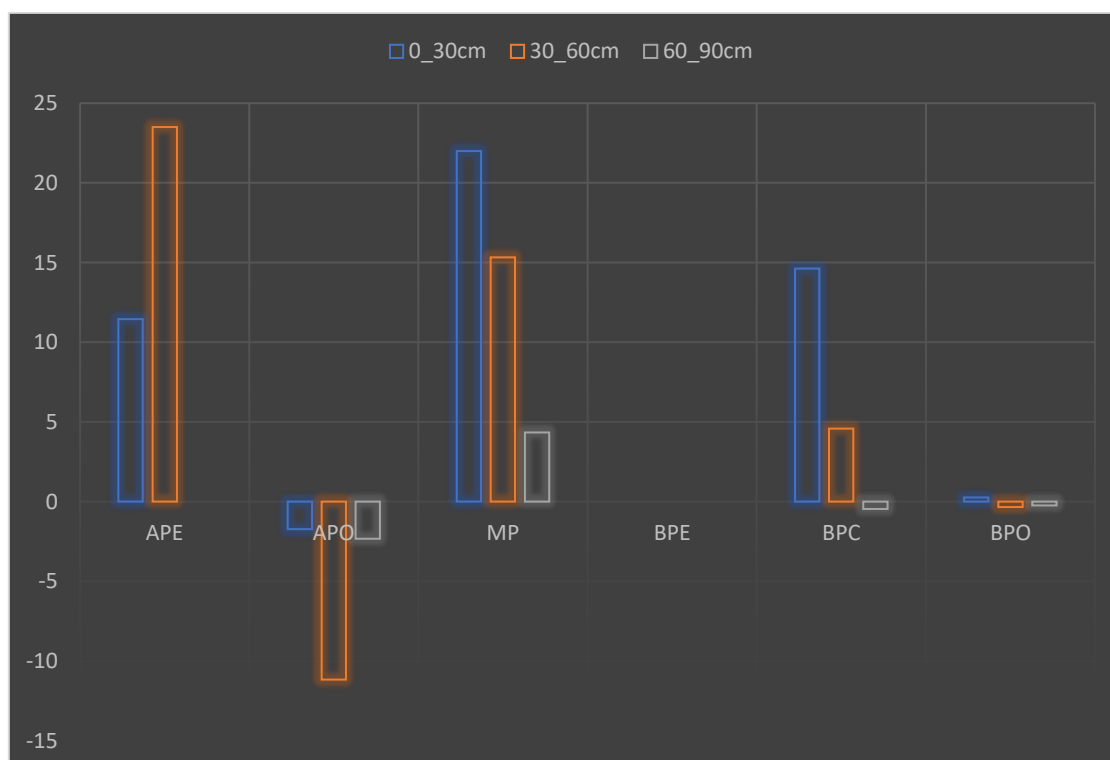


Figura 10. Variazione di P_2O_5 tra presemina 2024 e post-raccolta 2023 suddivisa per Focus Area.

2.3.6 Analisi delle correlazioni

Con i campioni raccolti durante la campagna di monitoraggio 2023 è stata eseguita un'analisi della correlazione a due code attraverso la determinazione del coefficiente di correlazione di Pearson (r). Per effettuare l'analisi è stato creato un dataset costituito da tutti i campioni raccolti e analizzati durante la campagna 2023. Di seguito vengono riportati i risultati maggiormente significativi per l'azoto nitrico, il fosforo ed il carbonio organico per i quali la correlazione è significativa allo 0,01.

❖ $N-NO_3^-$

Il grafico in **Figura 11** mostra le principali correlazioni per l'azoto nitrico: dall'analisi dei dati raccolti il contenuto di azoto nitrico risulta correlato positivamente al contenuto di carbonio organico ($r=0,225$) e a quello del fosforo ($r=0,171$), mentre si ha una correlazione inversa con il pH ($r=-0,21$). Nonostante le correlazioni siano statisticamente significative, l'indice di correlazione di Pearson non raggiunge per nessuna variabile lo 0,3 in valore assoluto, quindi, non si tratta di correlazioni "forti" e ciò suggerisce che il contenuto di $N-NO_3^-$ nel terreno potrebbe essere maggiormente influenzato da altre variabili come, per esempio, le precipitazioni/irrigazioni, gli input di azoto e, più in generale, la gestione agronomica delle concimazioni a livello aziendale.

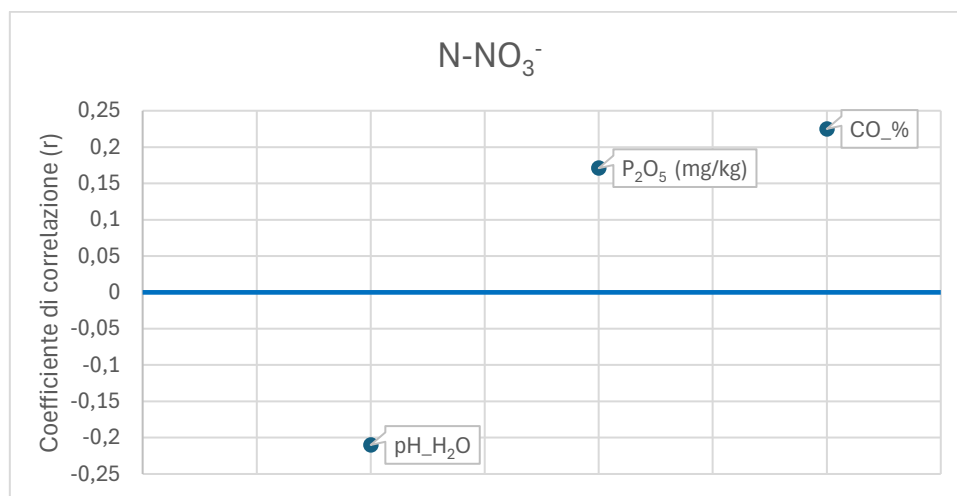


Figura 11. Analisi della correlazione per $N-NO_3^-$.

❖ P_2O_5

Per quanto riguarda l'analisi della correlazione del contenuto di P_2O_5 nel suolo (**Figura 12**), dai risultati emerge una forte correlazione positiva con alcuni metalli pesanti come lo zinco ($r=0,539$) e, in misura minore, rame ($r=0,288$) e piombo ($r=0,281$). Questo legame con il contenuto di fosforo nel terreno può essere dovuto alle caratteristiche chimiche delle deiezioni zootecniche: infatti, oltre ad apportare fosforo, queste possono contenere zinco e rame, elementi essenziali nella dieta degli animali e spesso aggiunti alla razione alimentare. Inoltre, lo zinco risulta essere anche un componente di numerosi fertilizzanti fosfatici poiché vi è un'azione sinergica tra i due elementi. Anche l'utilizzo di fanghi di depurazione come concime

organico potrebbe essere una causa dell'accumulo di metalli pesanti nei suoli. La correlazione positiva esistente può essere spiegata anche dalla natura chimica degli elementi: infatti sia il piombo che il rame, così come il fosforo, sono elementi poco mobili e tendono a legarsi alla sostanza organica. Il fosforo risulta inoltre fortemente correlato anche con il contenuto di carbonio organico ($r=0,366$) questo perché attraverso le concimazioni organiche viene apportata al terreno sostanza organica contenente anche fosforo.

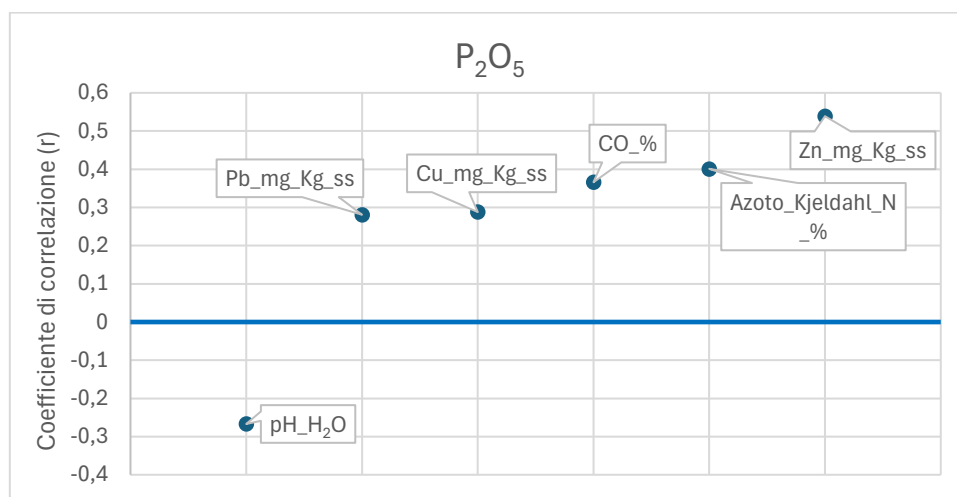


Figura 12. Analisi della correlazione per P_2O_5 .

❖ Corganico

In **Figura 13** sono riportati i risultati dell'analisi della correlazione per il contenuto di carbonio organico nel suolo. Come atteso, emerge una forte correlazione diretta con l'azoto totale Kjeldahl ($r=0,972$) in quanto sommatoria di azoto organico, ammoniaca e ammonio, la CSC ($r=0,456$) e il fosforo ($r=0,366$). Inoltre, vi è correlazione positiva con Zn ($r=0,369$) e Pb ($r=0,463$), probabilmente per la loro capacità di legarsi con la sostanza organica nel suolo.

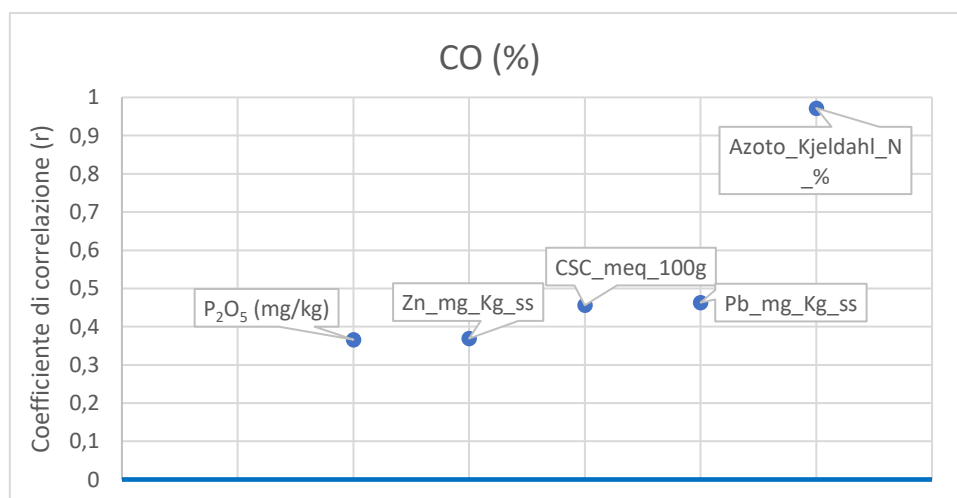


Figura 13. Analisi della correlazione per carbonio organico.

2.4 RISULTATI 2020-2023: nutrienti

Nel presente paragrafo si riportano i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dei suoli nell'ambito delle campagne di campionamento eseguite nel quadriennio 2020-2023 in termini di contenuto di nutrienti.

2.4.1 Azoto residuale

Nella **Tabella 17** 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 nel periodo 2020-2023. Si può notare come i valori in tutte le FA siano molto simili tra di loro con marcati trend di diminuzione scendendo in profondità lungo il profilo e un'elevata variabilità dei dati (le deviazioni standard sono spesso \geq alle concentrazioni medie). In questo contesto, si differenziano leggermente 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 e l'Alta Pianura Ovest presentano invece le maggiori concentrazioni medie di azoto nitrico nel suolo.

Tabella 17. Concentrazione media (\pm SQM) di $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg) residuale per FA a diverse profondità nel periodo 2020-2023

| Focus Area | Profondità di campionamento | | |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Alta Pianura Est | 16,3 \pm 21,1 | 12,7 \pm 19,2 | 7,9 \pm 11,7 |
| Alta Pianura Ovest | 20,0 \pm 18,4 | 14,8 \pm 18,1 | 7,3 \pm 8,8 |
| Media Pianura | 18,3 \pm 16,7 | 13,2 \pm 13,6 | 11,7 \pm 10,8 |
| Bassa Pianura Est | 14,9 \pm 15,0 | 10,0 \pm 10,5 | 7,6 \pm 7,7 |
| Bassa Pianura Centrale | 20,9 \pm 22,3 | 12,6 \pm 11,1 | 9,5 \pm 8,8 |
| Bassa Pianura Ovest | 13,1 \pm 17,2 | 10,3 \pm 15,9 | 9,7 \pm 20,7 |
| Totale Pianura | 17,0\pm18,9 | 12,1\pm15,1 | 9,4\pm13,7 |

Il grafico in **Figura 14** analizza la tendenza della concentrazione di azoto nitrico N-NO_3 nel suolo nel periodo 2020-2023 per ciascuna *Focus Area* nello strato superficiale (0-30 cm): dall'analisi dei dati non emergono differenze significative tra FA (n.s. nel grafico) nel corso degli anni. Non è altresì possibile osservare un trend comune a tutte le FA nel tempo ma anzi si osserva un'elevata eterogeneità di valori: ciò può significare che il contenuto di azoto nitrico è determinato da altri fattori esterni come la gestione dei piani di concimazione a livello aziendale, le precipitazioni e il tipo di suolo.

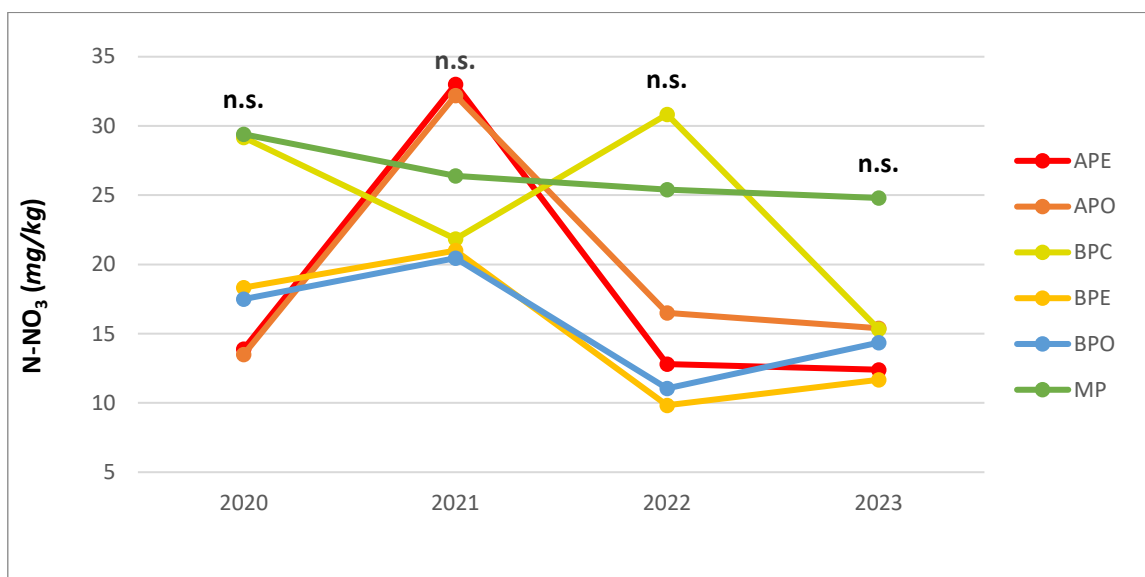


Figura 14. Andamento di $N-NO_3$ nel tempo per Focus Area a 0-30 cm.

Con i campioni raccolti è stato possibile fare un confronto tra gli andamenti di azoto nitrico nei primi 30 cm di suolo distinti sulla base della localizzazione in zona vulnerabile e zona non vulnerabile. La **Figura 15** riporta i risultati dell'analisi dei dati raccolti: non emergono differenze significative (n.s. nel grafico) tra ZVN e ZnVN, ciononostante si può comunque notare un trend che è in generale diminuzione nel corso degli anni e superiore nelle ZVN rispetto ai valori riscontrati in ZnVN.

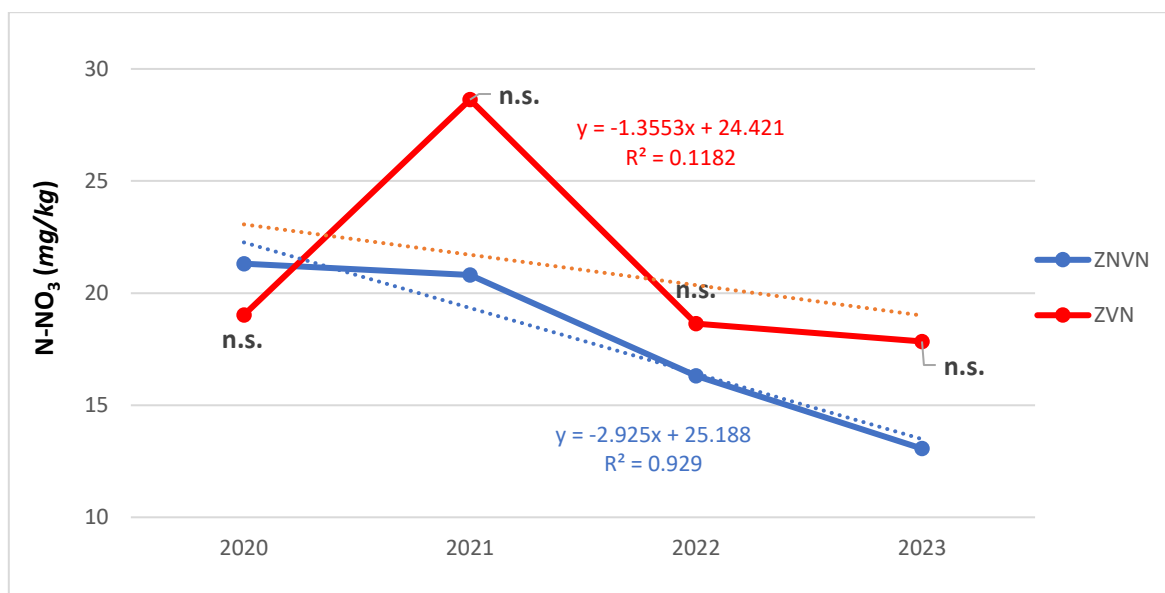


Figura 15. Andamento di $N-NO_3$ nel tempo per tipologia di zona nello strato 0-30 cm.

2.4.2 Fosforo assimilabile

La **Tabella 18** riporta i risultati dell'analisi del contenuto di P_2O_5 assimilabile (mg/kg) nei suoli a diverse profondità per FA nel periodo 2020-2023. In un contesto generale caratterizzato da alti valori medi, pur con elevate variabilità, in tutte le FA negli orizzonti superficiali e trend in diminuzione lungo i profili, l'Alta Pianura Est e la Media Pianura presentano le situazioni più delicate; la Bassa Pianura Est presenta invece le concentrazioni mediamente più basse.

Tabella 18. Concentrazione media (\pm SQM) di P_2O_5 (mg/kg) residuale per FA a diverse profondità di campionamento nel periodo 2020-2023

| Focus Area | profondità di campionamento | | |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Alta Pianura Est | 97,9 \pm 57,4 | 64,8 \pm 44,0 | 48,3 \pm 55,9 |
| Alta Pianura Ovest | 69,2 \pm 51,6 | 39,7 \pm 33,9 | 24,3 \pm 19,8 |
| Media Pianura | 89,8 \pm 40,1 | 52,5 \pm 34,5 | 23,6 \pm 16,5 |
| Bassa Pianura Est | 44,5 \pm 28,5 | 25,4 \pm 17,2 | 13,8 \pm 9,1 |
| Bassa Pianura Centrale | 59,6 \pm 38,8 | 37,2 \pm 26,2 | 19,0 \pm 13,1 |
| Bassa Pianura Ovest | 58,8 \pm 42,5 | 42,4 \pm 38,5 | 31,0 \pm 28,7 |
| Pianura totale | 70,8\pm47,5 | 44,8\pm36,2 | 26,5\pm28,4 |

La **Figura 16** mostra la tendenza del contenuto di P_2O_5 nel periodo 2020-2023 per ogni FA nello strato 0-30 cm di suolo. Non si osservano differenze significative (n.s. nel grafico) tra le varie FA, tuttavia, il contenuto di P_2O_5 segue un andamento comune nel tempo all'interno di tutte le FA. Infatti, su tutto il territorio oggetto di campionamento si nota un aumento nel 2022 a cui segue una diminuzione nel 2023. Questo andamento simile potrebbe indicare che il P sia meno influenzato da fattori "gestionali" ma è maggiormente correlato con altre variabili come, per esempio, il contenuto di CO nel terreno. Inoltre, è possibile osservare che l'Alta Pianura Est è la FA con il maggiore contenuto di P_2O_5 e ciò può essere dovuto alla tipologia di matrici distribuite infatti è la zona maggiormente vocata all'allevamento suinicolo i cui reflui zootecnici risultano avere un rapporto N/ P_2O_5 inferiore rispetto a quello mediamente presente in un refluo bovino; pertanto, a parità di azoto distribuito, risulta una quantità di P_2O_5 al campo molto superiore.

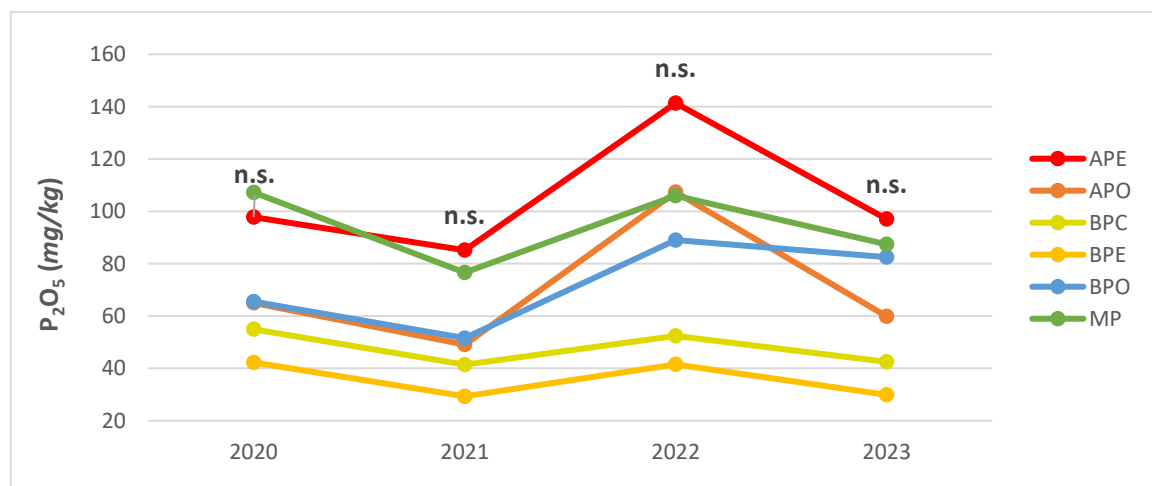


Figura 16. Andamento di P_2O_5 nel tempo per FA nello strato 0-30 cm.

2.4.3 Carbonio Organico

La **Tabella 22** riporta il contenuto medio di CO (g/kg) negli orizzonti superficiali dei campioni di suolo raccolti nel periodo 2020-2023. Mediamente la dotazione in CO risulta buona non denotando, quindi, criticità. I valori più elevati sono stati rilevati nell'Alta Pianura e quelli più bassi nella Bassa Pianura Ovest.

Tabella 19. Concentrazione media (\pm SQM) di CO (g/kg) per FA nello strato superficiale dei campioni di suolo raccolti nel periodo 2020-2023 (colori di fondo in funzione dell'appartenenza alle classi in **Tabella 13**)

| | |
|------------------------|----------------|
| Alta Pianura Est | 21,7 \pm 6,1 |
| Alta Pianura Ovest | 18,9 \pm 9,4 |
| Media Pianura | 14,7 \pm 3,7 |
| Bassa Pianura Est | 14,2 \pm 5,6 |
| Bassa Pianura Centrale | 13,5 \pm 4,7 |
| Bassa Pianura Ovest | 12,8 \pm 5,5 |
| Pianura totale | 15,6 \pm 6,6 |

In **Figura 17** è riportato l'andamento del contenuto di CO nello strato superficiale per ciascuna FA. Dall'analisi dei dati raccolti è emersa una differenza significativa tra le FA: l'Alta Pianura Est presenta un andamento nel contenuto di carbonio organico significativamente superiore rispetto alle altre FA (ad eccezione dell'APO).

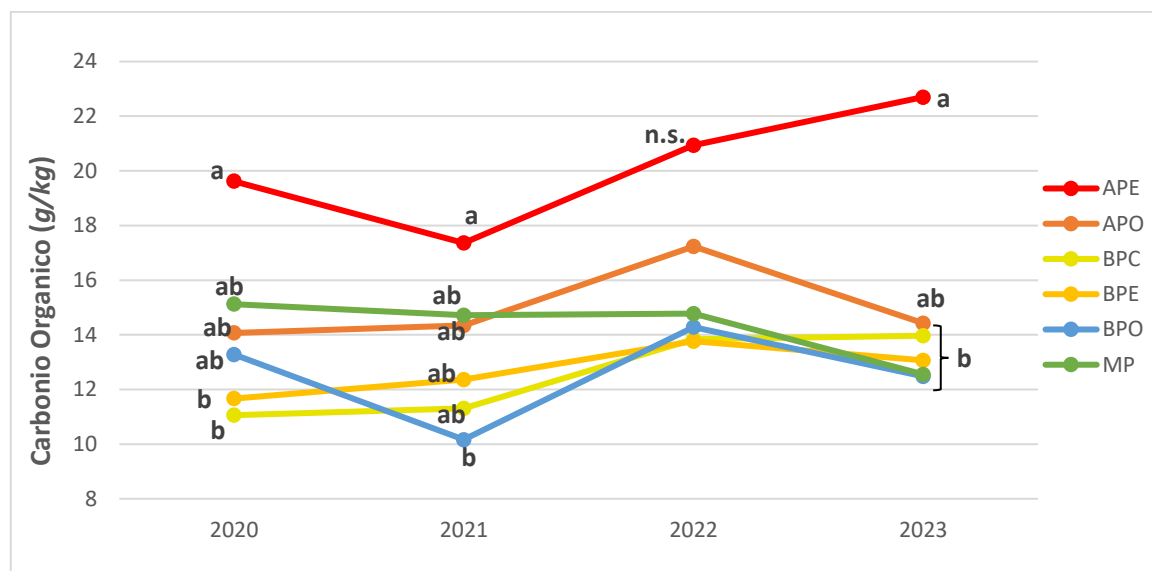


Figura 17. Andamento del CO nel tempo per FA a 0-30 cm di profondità (lettere differenti indicano differenze significative per $P < 0,05$; n.s. indica differenze non significative).

Una possibile spiegazione alle differenze tra le varie FA può essere data dal carico di azoto per ettaro: se infatti si osserva la **Figura 18** che analizza il contenuto di carbonio organico nei primi 30 cm di suolo per tutti gli anni di campionamento e il carico di N per ettaro si osserva un andamento molto simile tra le due variabili che potrebbe quindi spiegare la differenza di C.O. nel territorio lombardo.

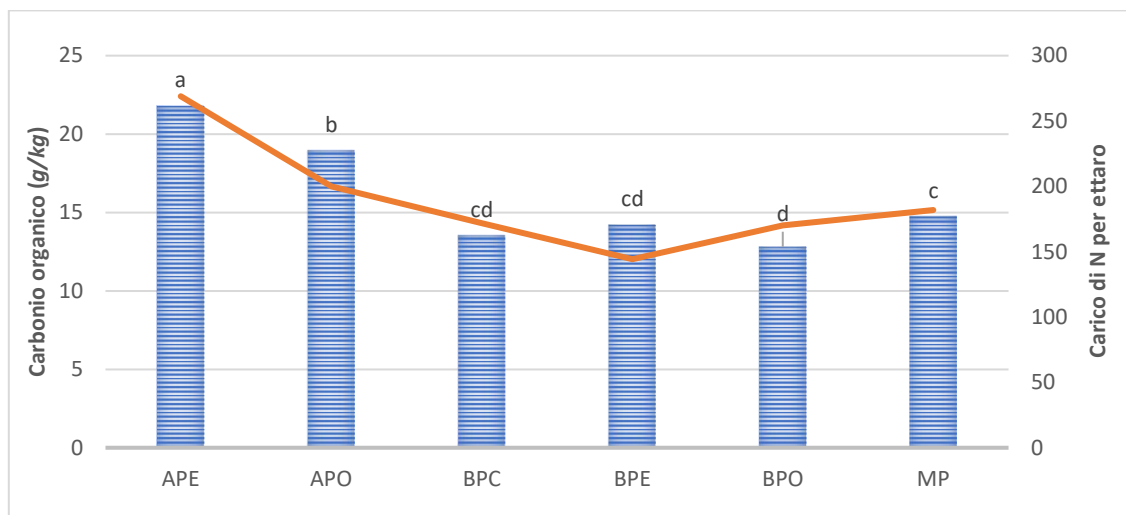


Figura 18. Contenuto di CO e carico di N per ettaro a 0-30 cm di profondità.

Sicuramente il carico di azoto al campo, indicatore indiretto del grado di utilizzo della fertilizzazione organica nella gestione aziendale, non è l'unica variabile che spiega le differenze riscontrate nel territorio lombardo. Anche la differente tipologia di suolo, in particolare la tessitura, può determinare differenze nel contenuto di carbonio organico. Il grafico seguente (**Figura 19**) mette in relazione il contenuto medio di argilla, espresso in %, con il contenuto medio di carbonio organico nelle varie FA alla profondità 0-30 cm. Si nota, innanzitutto, come la BPE abbia i suoli con un contenuto di argilla maggiore rispetto alle altre aree a cui, però, non corrisponde un prevedibile elevato valore di carbonio organico. Tuttavia, come si evince dalla **Figura 18**, è anche l'area a più basso carico di N a cui corrisponde quindi un utilizzo meno spinto della fertilizzazione organica. Invece, l'idea che ad un suolo più pesante sia associato un maggior contenuto di sostanza organica è rispettata guardando le differenze riscontrate tra l'Alta Pianura Orientale col l'Alta Pianura Ovest e la Bassa Pianura Ovest con la Media Pianura.

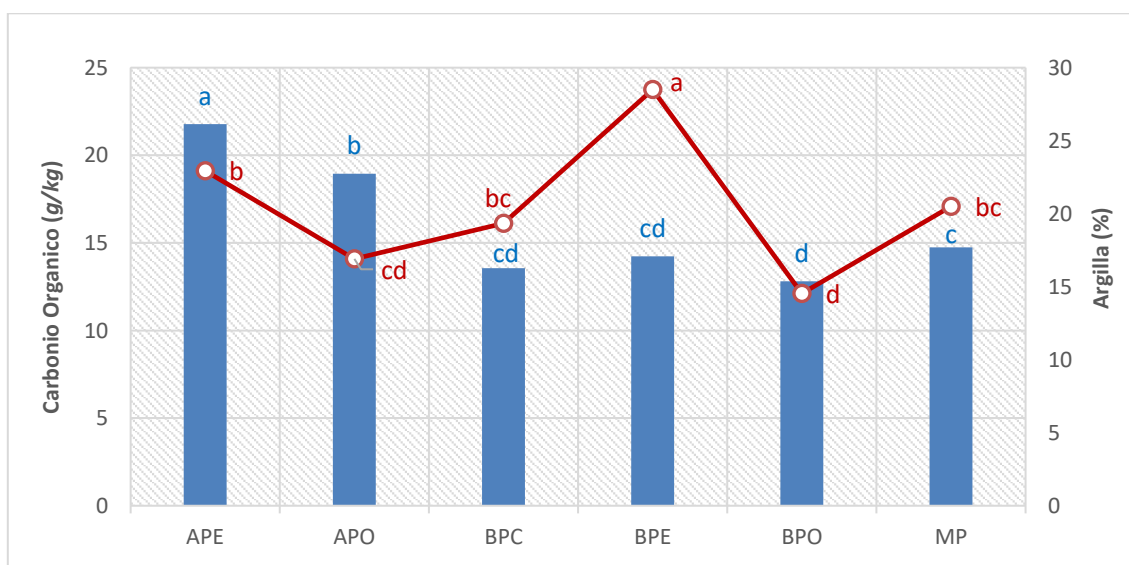


Figura 19. Contenuto di CO e di argilla a 0-30 cm di profondità nelle diverse FA (lettere differenti indicano differenze significative per $P < 0,05$).

In termini generali, il contenuto di carbonio organico nei primi 30 cm di suolo nel periodo 2020-2023 non mostra una variazione significativa (n.s. nel grafico) tra gli anni; tuttavia, è possibile osservare un andamento crescente passando da valori inferiori a 15 g/kg nel 2020 a valori di ca. 17 g/kg nell'ultima campagna di monitoraggio (**Figura 20**).

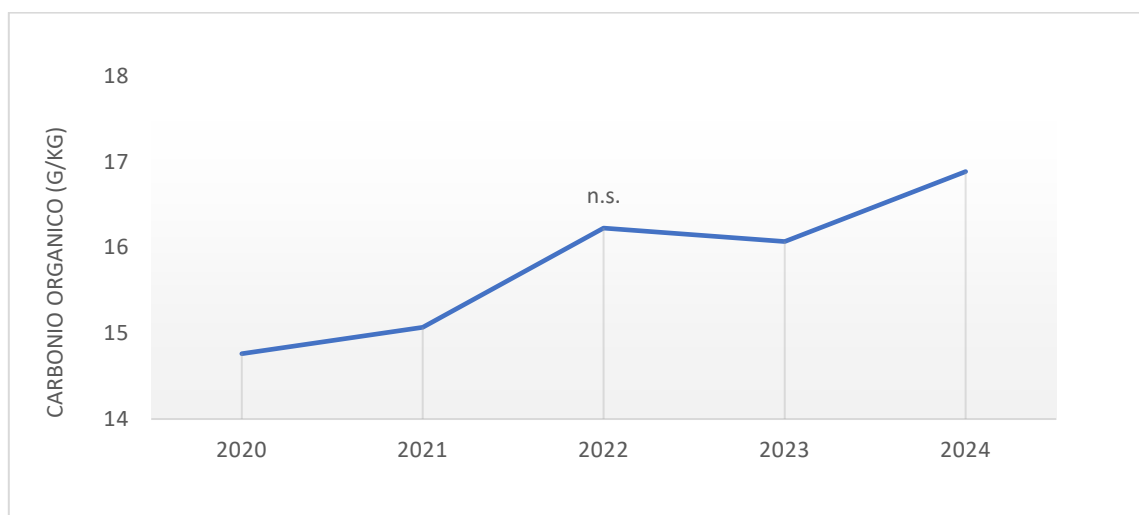


Figura 20. Andamento nel tempo del contenuto di C.O. a 0-30 cm di profondità.

2.4.4 Presemina vs post-raccolta

Oltre al confronto del singolo anno, è stato eseguito anche il confronto tra i risultati ottenuti in tutte le campagne di monitoraggio in presemina e quelli riscontrati in post-raccolta (**Tabella 20**). L'analisi in più annate ha indubbiamente dei vantaggi in quanto va ad analizzare un maggior numero di dati e consente di evidenziare meglio alcuni trend.

Tabella 20. Variazione media (\pm SQM) del contenuto medio di N-NO₃ tra presemina e post-raccolta

| FOCUS AREA | Δ N-NO ₃ espresso in mg/kg per profondità di campionamento | | |
|------------------------|--|--------------------|-------------------|
| | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Alta Pianura Est | 1,38 \pm 27,13 | -1,54 \pm 11,52 | 3,36 \pm 15,95 |
| Alta Pianura Ovest | -34,94 \pm 17,02 | -27,43 \pm 26,90 | -4,07 \pm 17,23 |
| Media Pianura | -13,71 \pm 17,89 | -1,36 \pm 7,82 | 3,08 \pm 7,84 |
| Bassa Pianura Est | -23,67 \pm 20,18 | -12,67 \pm 15,07 | 1,25 \pm 13,27 |
| Bassa Pianura Centrale | -6,57 \pm 12,27 | 3,14 \pm 5,96 | 3,43 \pm 5,22 |
| Bassa Pianura Ovest | -10,43 \pm 15,87 | -1,07 \pm 14,28 | 6,96 \pm 28,10 |

I risultati, rappresentati anche nella **Figura 21**, evidenziano un generale calo delle concentrazioni di N-NO₃ praticamente in tutte le FA; solo negli orizzonti più profondi le concentrazioni tendono a equilibrarsi e, in alcuni casi (nella Bassa Pianura) si rileva un leggero accumulo. L'unica eccezione a questo comportamento si riscontra nell'APE dove, a tutte le profondità, le variazioni di concentrazione di azoto nitrico risultano trascurabili.

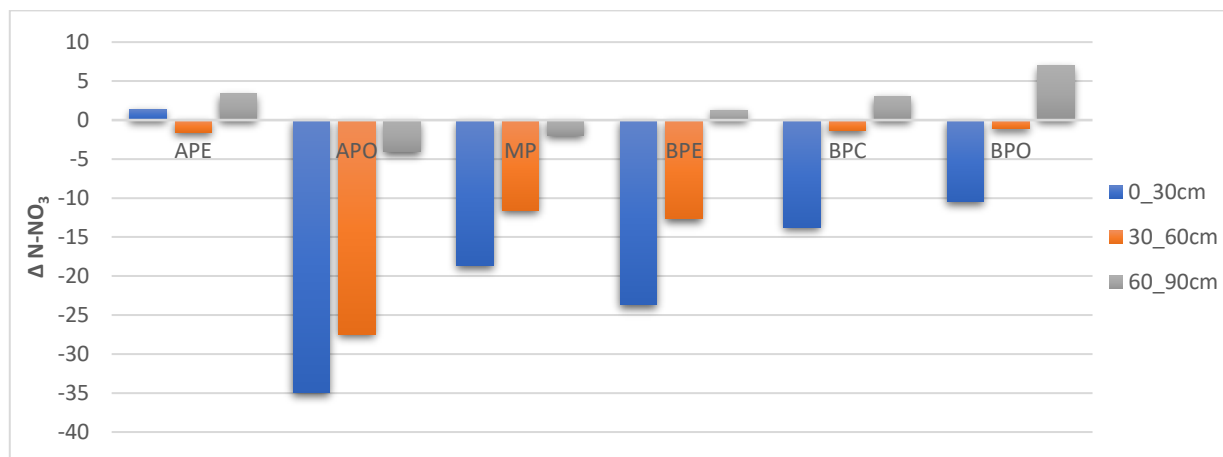


Figura 21. Variazione di $N-NO_3$ tra presemina e post-raccolta suddivisa per Focus Area.

Anche per il fosforo (in termini di fosforo assimilabile presente in soluzione) si è andati ad osservare la sua variazione nelle varie campagne di campionamento (**Tabella 21**).

Tabella 21. Variazione media ($\pm SQM$) del contenuto di P_2O_5 tra presemina e post-raccolta

| Focus Area | ΔP_2O_5 espresso in mg/kg per profondità di campionamento | | |
|------------------------|---|-------------------|--------------------|
| | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Alta Pianura Est | -9,09 \pm 26,11 | 5,05 \pm 46,26 | 42,69 \pm 124,77 |
| Alta Pianura Ovest | -6,25 \pm 25,49 | -11,54 \pm 8,83 | -3,40 \pm 5,27 |
| Media Pianura | 10,84 \pm 26,33 | 10,61 \pm 15,73 | -0,58 \pm 7,83 |
| Bassa Pianura Est | -2,47 \pm 10,72 | 1,70 \pm 7,56 | -0,60 \pm 4,04 |
| Bassa Pianura Centrale | 1,82 \pm 22,22 | -4,43 \pm 19,58 | -10,71 \pm 22,14 |
| Bassa Pianura Ovest | 3,08 \pm 16,03 | 15,75 \pm 30,20 | 12,84 \pm 28,76 |

Nonostante la scarsa mobilità del fosforo, i risultati ottenuti, seppur caratterizzati da un'elevata variabilità, evidenziano, specie negli orizzonti più profondi, un significativo effetto di accumulo nella BPO e MP e, soprattutto, nell'APE. Nelle altre FA le variazioni sono più limitate, con una tendenza alla diminuzione delle concentrazioni tra presemina e post-raccolta (**Figura 22**).

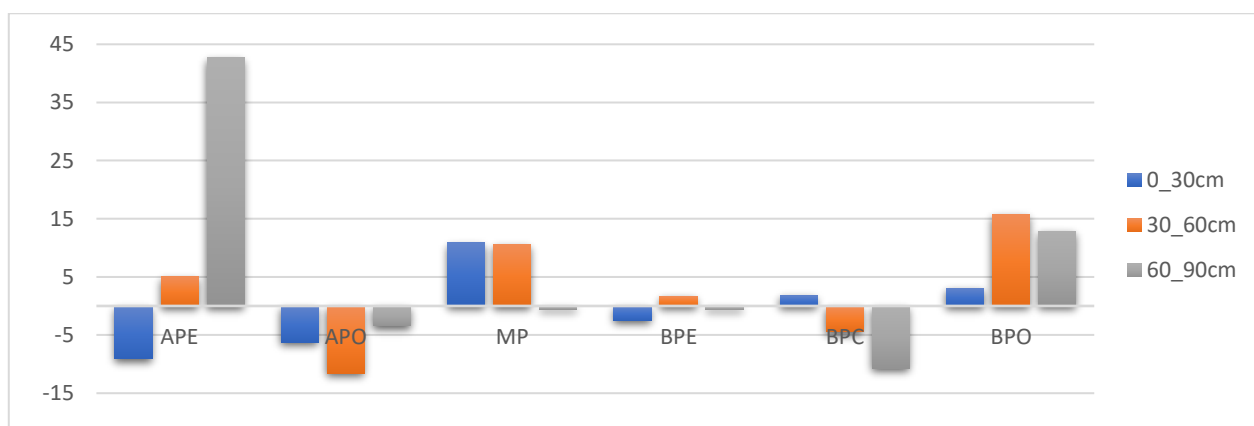


Figura 22. Variazione di P_2O_5 tra presemina e post-raccolta suddivisa per Focus Area.

2.5 RISULTATI 2020-2023: metalli pesanti

Nel presente paragrafo vengono discussi i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dei suoli nell'ambito delle campagne di campionamento eseguite nel quadriennio 2020-2023 in termini di contenuto di metalli pesanti.

I suoli della pianura oggetto di monitoraggio nel corso del quadriennio 2020-2023 presentano un contenuto medio dei metalli pesanti analizzati (As, Cd, Cr_{tot}, Cu, Ni, Pb, Zn) sempre inferiore ai limiti di legge (CSC col. A D.lgs. 152/2006) e ai Valori di Fondo Geochimico (VFG) dei metalli nei suoli della pianura lombarda (ERSAF, 2020-2022) sia nei topsoil (0-30 cm) (**Tabella 22**) che nei subsoil (30-90 cm) (**Tabella 23**).

Tabella 22. Contenuto medio di Metalli Pesanti (mg/kg) nel topsoil nelle diverse FA

| | As | Cd | Cr _{tot} | Cu | Ni | Pb | Zn |
|------------------------------|----------|---------|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| APE | 12,6±5,1 | 0,4±0,2 | 27,3±14,9 | 38,0±19,2 | 20,5±7,5 | 31,3±12,1 | 98,4±38,7 |
| APO | 13,6±5,0 | 0,4±0,2 | 39,6±18,5 | 37,3±29,9 | 26,8±7,7 | 43,3±21,8 | 102,6±60,6 |
| MP | 12,9±4,4 | 0,3±0,1 | 21,8±7,0 | 27,7±12,4 | 17,8±5,9 | 17,9±5,8 | 86,5±34,4 |
| BPE | 9,0±2,4 | 0,3±0,1 | 49,4±38,1 | 34,9±21,6 | 43,3±39,0 | 16,4±3,7 | 71,8±19,8 |
| BPC | 13,5±4,7 | 0,3±0,2 | 40,2±39,8 | 29,2±16,0 | 36,8±38,5 | 19,3±8,0 | 84,1±42,5 |
| BPO | 11,8±7,2 | 0,3±0,1 | 38,3±30,1 | 26,8±17,3 | 28,2±28,9 | 20,6±6,0 | 89,3±76,3 |
| Totale | 12,4±5,4 | 0,3±0,2 | 35,0±28,2 | 31,6±19,5 | 27,9±26,4 | 24,3±13,5 | 89,5±51,5 |
| CSC Dlgs 152/06 col.A | 20 | 2 | 150 | 120 | 120 | 100 | 150 |
| VFA (ERSAF) | 23,9 | 2,0 | 116,4 | 82,8 | 124,4 | 94,3 | 142,0 |

Tabella 23. Contenuto medio di Metalli Pesanti (mg/kg) nei subsoil nelle diverse FA

| | As | Cd | Cr _{tot} | Cu | Ni | Pb | Zn |
|------------------------------|----------|---------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| APE | 13,6±7,6 | 0,2±0,0 | 24,5±10,4 | 24,2±10,5 | 21,2±9,6 | 20,7±8,2 | 64,1±24,1 |
| APO | 10,5±3,4 | 0,1±0,0 | 34,0±11,0 | 22,3±12,4 | 27,3±9,0 | 20,5±10,7 | 57,1±14,5 |
| MP | 13,7±8,8 | 0,1±0,0 | 18,5±8,9 | 16,9±8,6 | 16,4±7,9 | 11,1±4,0 | 44,9±16,1 |
| BPE | 8,1±2,7 | 0,1±0,0 | 55,1±47,9 | 29,3±26,4 | 52,6±48,6 | 11,3±5,0 | 51,3±30,3 |
| BPC | 15,1±6,0 | 0,1±0,0 | 40,4±41,2 | 24,3±11,7 | 39,1±40,1 | 13,9±4,6 | 58,6±19,4 |
| BPO | 14,1±8,1 | 0,1±0,0 | 36,3±28,1 | 21,0±8,9 | 30,9±29,8 | 14,5±5,4 | 56,4±23,8 |
| Totale | 13,1±7,3 | 0,1±0,0 | 33,4±29,4 | 22,4±12,6 | 29,9±29,5 | 15,3±7,2 | 56,0±22,2 |
| CSC Dlgs 152/06 col.A | 20 | 2 | 150 | 120 | 120 | 100 | 150 |
| VFN (ERSAF) | 23,3 | 2,6 | 133,9 | 39,5 | 131,9 | 38,2 | 101,9 |

Entrando nel dettaglio dei singoli elementi, occorre segnalare che gli unici elementi per i quali non sono stati mai riscontrati superamenti dei limiti normativi sono il *Cr* e il *Cd*. Per *Pb* e *Cu* è stato rilevato un singolo superamento nello stesso campione raccolto nella campagna 2020 nello strato superficiale in APO (rispettivamente, 119 e 153 mg/kg); tale campione presenta un elevato contenuto anche di *As* e *Zn* (rispettivamente, 27 e 329 mg/kg).

Nei successivi paragrafi si tratteranno più in dettaglio gli elementi per i quali sono stati rinvenuti alcuni superamenti nel corso delle diverse campagne.

2.5.1 Arsenico

Su un dataset di 539 campioni di suolo raccolti nel periodo 2020-2023, sono stati rilevati 70 superamenti del limite normativo (20 mg/kg); di questi, meno del 25% nei topsoil (0-30 cm) (**Figura 23**). Prendendo in considerazione il VFG, calcolato da ERSAF sulla base dei dati raccolti in diversi anni di attività in tutti i suoli della pianura, il numero di campioni che presentano un contenuto elevato di As si dimezza (totale: 36), confermando che i suoli della pianura sono “naturalmente” caratterizzati da un contenuto di As mediamente elevato. Tale condizione è stata riscontrata soprattutto nella Bassa Pianura Ovest dove ricadono ca. il 40% dei superamenti del limite normativo; tale dato risulta in controtendenza rispetto a quanto rilevato dalle elaborazioni ERSAF nell’ambito dell’individuazione dei VFG (**Figura 24**).

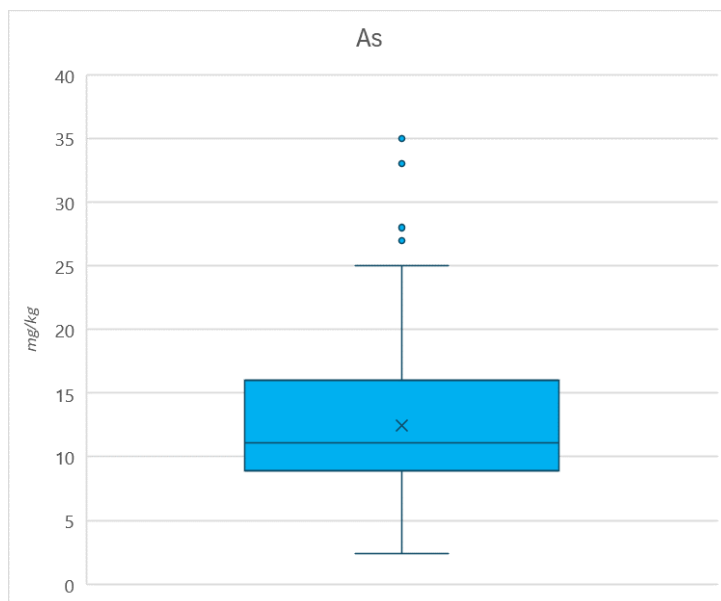


Figura 23. Rappresentazione grafica del contenuto di As (mg/kg) nei topsoil della pianura.

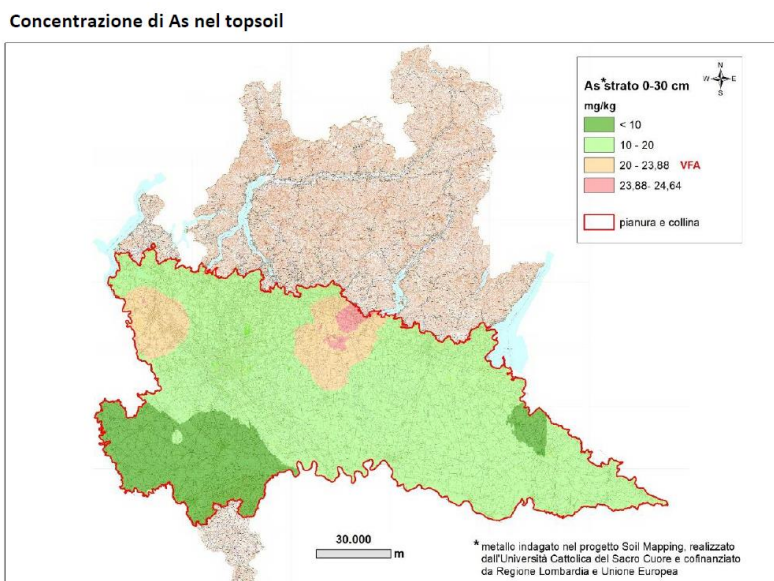


Figura 24. Individuazione del VFG per l'As nei suoli della pianura (ERSAF 2020-2022).

2.5.2 Nichel

Su un dataset di 383 campioni di suolo raccolti nel periodo 2020-2023, sono stati rilevati 14 superamenti del limite normativo (120 mg/kg) che però afferiscono tutti a 5 punti campionati nel 2023 e distribuiti nella Bassa Pianura (BPE-BPC-BPO). Tale dato è in linea con quanto elaborato da ERSAF in quanto i valori maggiori di concentrazione nei suoli sono sempre risultati ubicati lungo la pianura alluvionale del Po e nella parte di pianura dell'Oltrepò pavese determinando la necessità di individuare dei Valori di Fondo del Ni specifici per la bassa pianura (149,6 mg/kg per i topsoil e 179,6 mg/kg per i subsoil) (**Figura 25** e **Figura 26**).

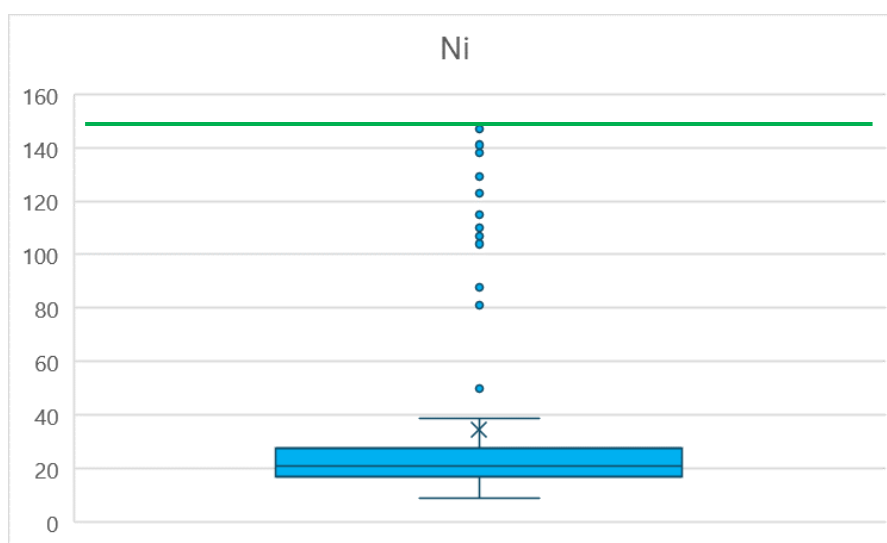


Figura 25. Rappresentazione grafica del contenuto di Ni (mg/kg) nei topsoil della bassa pianura (la linea verde indica il VFA per Ni per la bassa pianura).

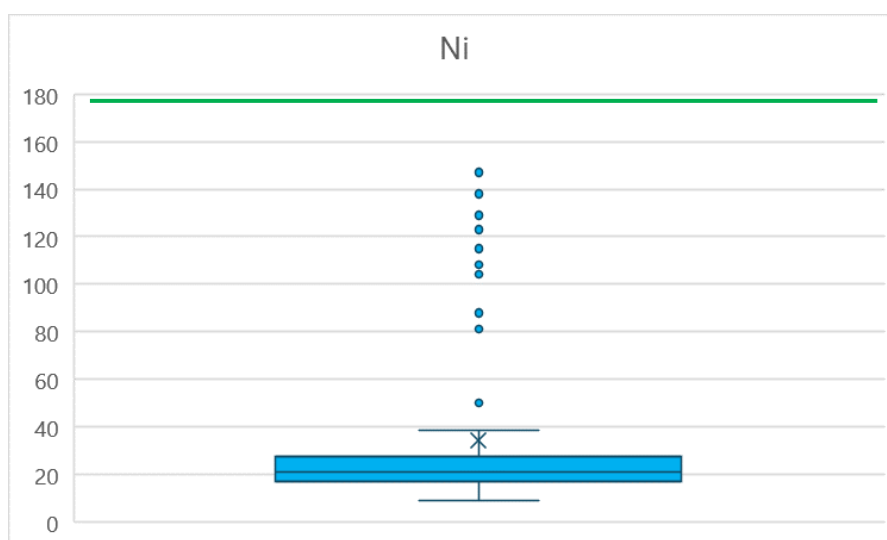


Figura 26. Rappresentazione grafica del contenuto di Ni (mg/kg) nei subsoil della bassa pianura (la linea verde indica il VFN per Ni per la bassa pianura).

2.5.3 Zinco

Su un dataset di 383 campioni di suolo raccolti nel periodo 2020-2023, sono stati rilevati 16 superamenti del limite normativo (150 mg/kg). Tali contaminazioni puntuali, distribuite all'interno della pianura, sono state riscontrate tutte solo su orizzonti superficiali, a conferma della presumibile origine antropica legata all'apporto di concimi organici al suolo.

L'analisi della distribuzione del contenuto medio di Zn negli orizzonti superficiali in funzione della coltura in corso (**Tabella 24**) mette in evidenza l'elevata variabilità dei dati ottenuti, soprattutto nei suoli con coltivazione di mais e sorgo che rappresentano ca. il 40% dei campioni raccolti.

Tabella 24. *Contenuto medio di Zn (mg/kg) negli orizzonti superficiali in funzione della coltura in corso*

| | |
|--------------------------------|------------|
| Cereale autunno vernino | 71,1±22,2 |
| Mais | 92,9±55,7 |
| Medica | 96,9±25,9 |
| Patate | 139±0,0 |
| Prato polifita | 80,7±28,9 |
| Riso | 64,3±12,7 |
| Sorgo | 113,9±79,9 |
| altro | 106,8±56,3 |

3 Rete per il monitoraggio della falda acquifera ipodermica

Come riportato nel PdM, in ciascuna delle 6 *Focus Area* sono stati individuati 3 punti caratterizzati dalla presenza di falda acquifera ipodermica dove, a una profondità compresa tra 0 e 3 m, sono stati installati piezometri per il campionamento delle acque per un totale di n. 18 piezometri (**Figura 27**). Queste falde molto superficiali sono fortemente influenzate dalle precipitazioni e dagli interventi irrigui oltre che dalla presenza di eventuali corsi d'acqua e fontanili adiacenti. I valori di concentrazione di nitrati misurati non devono quindi essere confrontati con quelli rilevati nei pozzi della rete di monitoraggio regionale della prima falda (Idrostruttura Sotterranea Superficiale – ISS); le concentrazioni misurate, seppur risentendo in prima battuta delle gestioni agricole (obiettivo di questo monitoraggio), possono subire variazioni legate anche alla presenza di corpi idrici che alimentano a intermittenza l'idromorfia dei suoli e il grado di saturazione dell'immediato sottosuolo.

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

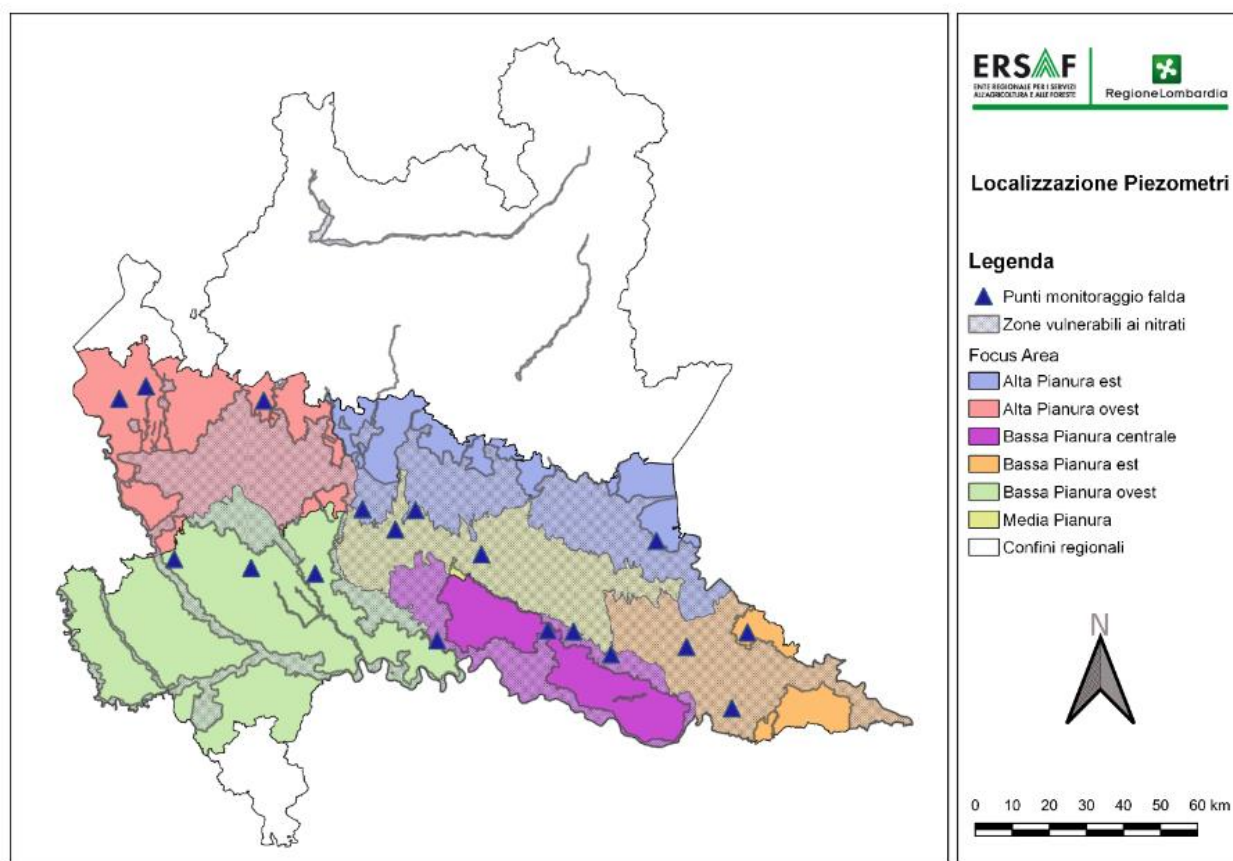


Figura 27. Localizzazione dei 18 punti per il monitoraggio della falda acquifera ipodermica.

3.1 Metodica di campionamento

Ogni piezometro è costituito da un tubo forato nella parte basale che 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 Parametri analizzati

Le determinazioni analitiche sui campioni di acqua hanno riguardato il contenuto di nitrati e fosfati disciolti nella falda ipodermica e sono state eseguite, in accordo con metodi ufficiali di analisi (**Tabella 25**), presso un laboratorio di analisi esterno accreditato.

Tabella 25. *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 |

3.3 RISULTATI 2020-2023

Nel presente paragrafo vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dell'acqua di falda ipodermica nel periodo 2020-2023. I campionamenti sono stati eseguiti prevalentemente presso aree coltivate a seminativi e prati permanenti, nell'ambito di aziende zootecniche (72%) e non zootecniche (28%).

3.3.1 Nitrati disciolti

Nella **Tabella 26** 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 la valutazione dei risultati ottenuti dai campionamenti effettuati nell'ambito delle diverse campagne di monitoraggio.

Tabella 26. *Classi di qualità delle acque sotterranee individuate dalla Commissione Europea*

| Concentrazione NO_3^- (mg/l) | Qualità delle acque sotterranee |
|---------------------------------------|---|
| 0-24,99 | Acque di buona qualità, che possono essere monitorate con periodicità più lunga |
| 25-39,99 | Acque con concentrazione di nitrati oltre la soglia di significatività |
| 40-49,99 | Acque a rischio di superamento dei valori limite (soglia di attenzione) |
| ≥ 50 | Acque oltre il limite (inquinamento) |

Nella **Tabella 27** sono elencati i 18 siti di monitoraggio, suddivisi per FA, con la relativa concentrazione media di NO_3^- riscontrata nell'acqua di falda, ottenuta considerando i risultati delle analisi derivanti dai 4 campionamenti annuali.

Tabella 27. Concentrazione media di ione nitrato (NO_3^-) nelle acque di falda per ciascuna annualità

| Focus Area | Prov | Comune | Concentrazione media NO_3^- (mg/L) | | |
|------------------------|------|--------------------------|---|--------|--------|
| | | | 2021 | 2022 | 2023 |
| Alta Pianura Est | BS | Desenzano del Garda | 121,08 | 37,73 | 142,76 |
| Alta Pianura Est | BG | Fara Olivana | 25,00 | - | - |
| Alta Pianura Est | BG | Casirate d'Adda | 13,00 | 20,40 | 22,55 |
| Alta Pianura Ovest | VA | Varano Borghi | 1,31 | 1,15 | 1,21 |
| Alta Pianura Ovest | CO | Anzano del Parco | 6,35 | 1,13 | 13,60 |
| Alta Pianura Ovest | VA | Varese | 23,25 | 1,54 | 15,13 |
| Media Pianura | CR | Pessina Cremonese | 1,56 | 0,85 | 2,15 |
| Media Pianura | BG | Caravaggio | 20,83 | 128,73 | 71,88 |
| Media Pianura | BS | Orzinuovi | 36,38 | 28,50 | 59,75 |
| Bassa Pianura Est | MN | San Giorgio Bigarello | 6,55 | 9,69 | 9,29 |
| Bassa Pianura Est | MN | Pegognaga | 0,21 | 0,98 | 0,35 |
| Bassa Pianura Est | MN | Castellucchio | 2,01 | 0,13 | 4,45 |
| Bassa Pianura Centrale | CR | Pizzighettone | 1,01 | 4,57 | 0,80 |
| Bassa Pianura Centrale | MN | Canneto sull'Oglio | 3,80 | 1,45 | 25,16 |
| Bassa Pianura Centrale | CR | Pescarolo ed Uniti | 1,69 | 1,20 | 6,65 |
| Bassa Pianura Ovest | MI | Abbiategrosso | 28,70 | 55,20 | 91,88 |
| Bassa Pianura Ovest | MI | Basiglio | 0,26 | 0,39 | 2,03 |
| Bassa Pianura Ovest | LO | Tavazzano con Villavesco | 1,96 | 3,13 | 1,35 |

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 ($< 25 \text{ mg/L}$). Occorre però sottolineare che la concentrazione di nitrati nelle acque campionate nel 2023 è risultata essere mediamente più elevata.

Fanno eccezione, in particolare, le seguenti stazioni:

- Desenzano del Garda (APE)
- Caravaggio (MP)
- Orzinuovi (MP)
- Abbiategrosso (BPO)

Nei successivi paragrafi analizziamo nel dettaglio le stazioni per le quali sono state riscontrate criticità e le concentrazioni di nitrati misurate nelle diverse campagne di monitoraggio vengono anche messe in relazione con le precipitazioni rilevate nello stesso periodo presso le stazioni meteo ARPA più vicine al relativo piezometro.

❖ Stazione di Desenzano del Garda (APE)

Nella stazione di Desenzano (**Figura 28**), situata nell'ambito di un terreno associato a un'azienda zootecnica, si evidenzia una concentrazione media di nitrati fortemente al di sopra dei valori soglia di accettabilità, che determina la presenza di acque inquinate. Solo nell'anno 2022 i campioni di acqua sono risultati prevalentemente di qualità accettabile. Negli anni 2021 e 2023 invece sono stati rilevati diversi valori elevati, con alcuni picchi particolarmente significativi che potrebbero essere considerati come outlier (soprattutto il valore di 453 mg/L riscontrato a maggio 2023); alla luce di questa considerazione, l'anno 2021 è risultato essere quello maggiormente critico per le concentrazioni di nitrati nelle acque. Per quanto riguarda l'epoca di campionamento, solo nelle campagne eseguite nel mese di febbraio non è stato mai rilevata una concentrazione a rischio inquinamento.

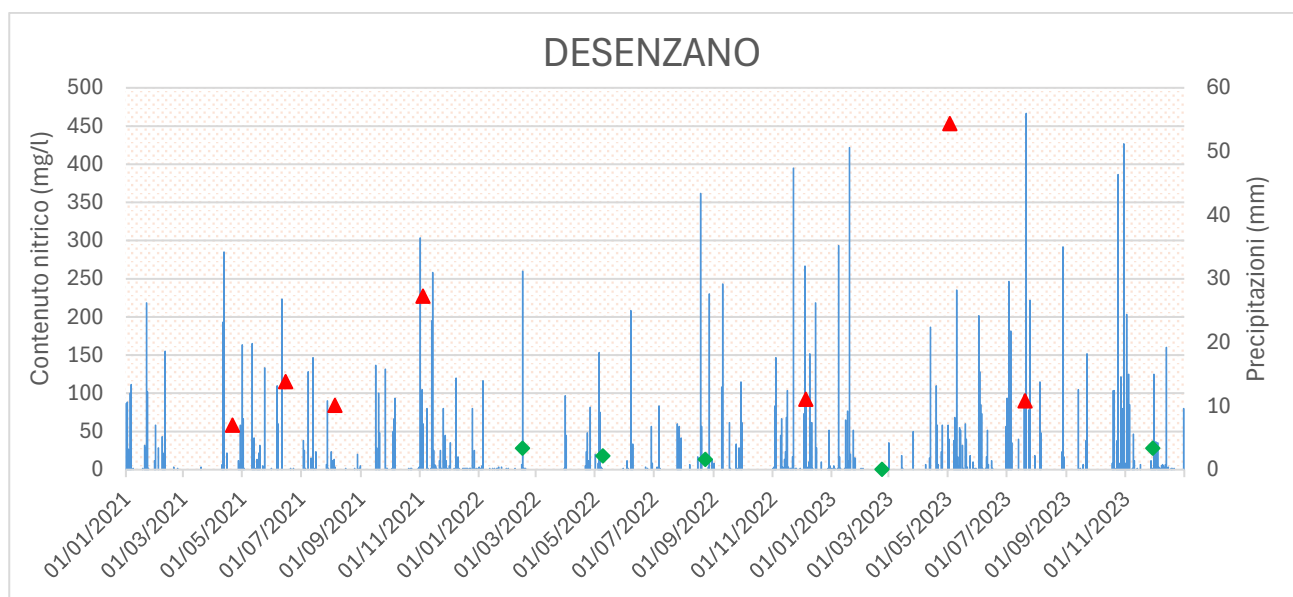


Figura 28. Contenuto medio di nitrati (mg/L) nelle acque campionate nella stazione di Desenzano del Garda in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Montichiari Boschetti (i triangoli rossi evidenziano i valori per i quali le acque sono considerate “inquinare”).

❖ Stazione di Caravaggio (MP)

Nella stazione di Caravaggio (**Figura 29**) i valori si attestano mediamente in una classe considerata accettabile e non a rischio di superamento dei valori limite. I valori medi elevati riscontrati nel 2022 e nel 2023 sono principalmente dovuti a valori eccezionalmente elevati osservati nell'ambito di una singola campagna (in particolare, 346 mg/L a novembre 2022 e 122 mg/L a febbraio 2023). Se, però, nel primo caso tale valore potrebbe essere considerato un outlier in quanto chiaramente distante dalle altre osservazioni disponibili sullo stesso sito nel corso dell'anno, nel 2023 è possibile osservare un generale aumento delle concentrazioni in quasi tutte le campagne di monitoraggio. Per quanto riguarda l'epoca di campionamento, in tutte le campagne eseguite nel mese di novembre i valori di concentrazione dei nitrati sono sempre risultati molto elevati, presumibilmente legato ad operazioni di concimazione organica dei terreni.

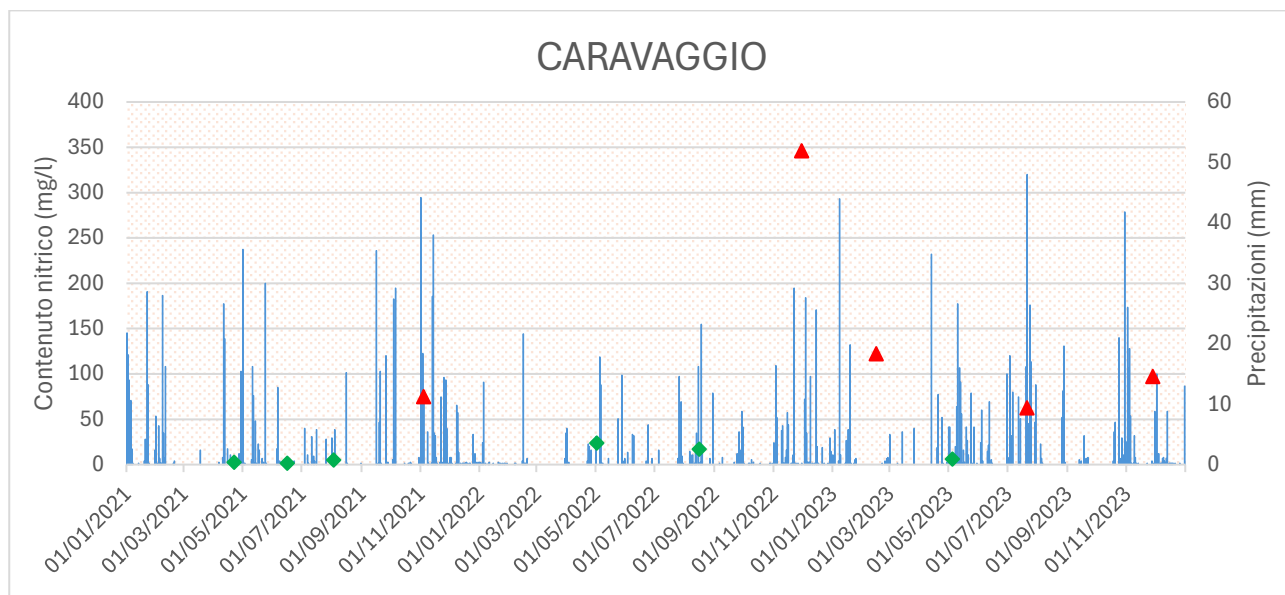


Figura 29. Contenuto medio di nitrati (mg/L) nelle acque campionate nella stazione di Caravaggio in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Mozzanica (i triangoli rossi evidenziano i valori per i quali le acque sono considerate “inquinata”).

❖ Stazione di Orzinuovi (MP)

Nella stazione di Orzinuovi (**Figura 30**), situata nell’ambito di un terreno associato a un’azienda zootecnica, nel corso delle diverse campagne non sono stati rilevati valori “anomali”. Nel 2021 e 2022 i valori si attestano mediamente in una classe considerata accettabile e non a rischio di superamento dei valori limite; nel 2023, invece, le concentrazioni risultano tendenzialmente più elevate, evidenziando un inquinamento delle acque. In tutte le campagne si è riscontrato un trend decrescente della concentrazione di nitrati nel corso dell’anno.

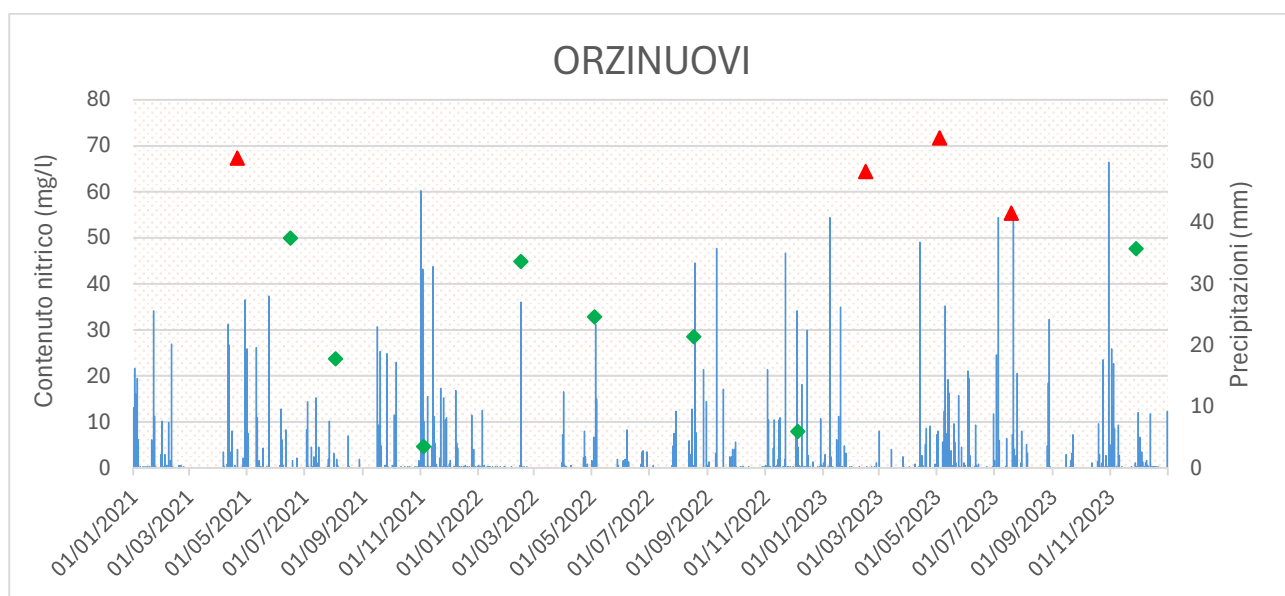


Figura 30. Contenuto medio di nitrati (mg/L) nelle acque campionate nella stazione di Orzinuovi in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Soncino (i triangoli rossi evidenziano i valori per i quali le acque sono considerate “inquinata”).

❖ Stazione di Abbiategrasso (BPO)

Nella stazione di Abbiategrasso (**Figura 31**), situata nell'ambito di un terreno non associato ad azienda zootecnica, il livello di contaminazione delle acque è risultato crescente nel corso degli anni. Infatti, nel 2021 non sono stati rilevati superamenti delle soglie; nel 2022 solo le campagne di febbraio e maggio hanno evidenziato una importante contaminazione delle acque campionate. Nel 2023 tutte le analisi eseguite nel corso delle campagne di campionamento hanno rilevato valori delle concentrazioni di nitrati nei campioni di acqua tali da determinare un elevato grado di contaminazione.

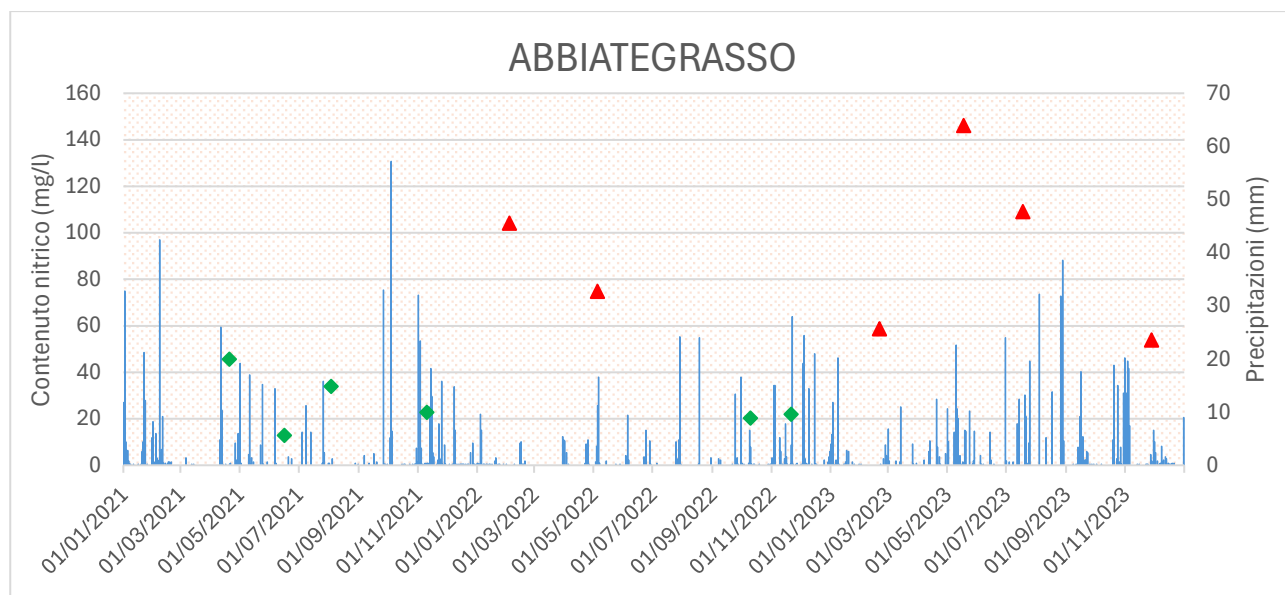


Figura 31. *Contenuto medio di nitrati (mg/L) nelle acque campionate nella stazione di Abbiategrasso in rapporto alle precipitazioni (mm) rilevate presso la stazione meteo ARPA di Vigevano (i triangoli rossi evidenziano i valori per i quali le acque sono considerate "inquinare").*

3.3.2 Fosfati disciolti

Tutti i risultati delle analisi condotte sulla concentrazione di fosfati disciolti nei campioni di acqua di falda ipodermica raccolti nel periodo 202-2023 hanno evidenziato valori inferiori al limite di rilevabilità, probabilmente a causa della scarsa mobilità dello stesso e al suo possibile accumulo nel suolo. L'unica eccezione è rappresentata da 1 campione raccolto nella campagna di novembre 2023 presso la stazione di Desenzano del Garda (0,800 mg/L).

4 BIBLIOGRAFIA

- Costantini E. (2006). *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*. AA.VV.. Ediz. Cantagalli
- D.lgs 16 marzo 2009, n. 30 - *Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento*.
- D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. *Norme in materia ambientale*.
- Decreto Ministeriale del 13/09/1999. *Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo*. Supplemento Ordinario n. 185 – G.U. n. 248 del 21 ottobre 1999 e ss.mm.ii.
- ERSAF (2011). *Carta dei Suoli della Lombardia*.
- ERSAF (2020-2022). *Identificazione dei valori di fondo geochimico dei metalli nei suoli della pianura lombarda - analisi preliminare*.
- 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.