

# **PIANO DI MONITORAGGIO DEI SUOLI**

## **2020-2023**

***RAPPORTO***  
***Annualità 2020***

<b>1. RETE PER IL MONITORAGGIO DIFFUSO DEI SUOLI</b> .....	3
<b>1.1. Metodica di campionamento</b> .....	5
<b>1.2. Epoca di campionamento</b> .....	6
<b>1.3. Parametri analizzati</b> .....	6
<b>2. RISULTATI</b> .....	7
<b>2.1. Elaborazione dati: azoto</b> .....	7
<b>2.2. Elaborazione dati: fosforo</b> .....	11
<b>2.3. Elaborazione dati: Carbonio Organico</b> .....	14
<b>2.4. Elaborazione dati: metalli pesanti</b> .....	15
<b>3. BIBLIOGRAFIA</b> .....	17

## 1. RETE PER IL MONITORAGGIO DIFFUSO DEI SUOLI

L'obiettivo del monitoraggio a scala aziendale 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
- Alta Pianura ovest
- Media Pianura
- Bassa Pianura est
- Bassa Pianura centrale
- Bassa Pianura ovest

Le Focus Area sono state delineate e caratterizzate nel 2018 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. 2019) (**Tabella 2**), la SAU e le tipologie di coltura per ogni FA (dati 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 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	Qualità delle acque sotterranee				
	n. pozzi	% 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%

**Tabella 2.** Caratterizzazione delle FA per carico zootecnico (kg/ha) e % SAU (DUSAF 2018 – Sis.Co. 2019)

Denominazione FA	Carico di N da e.a. (kg N/ha)	% SAU sul territorio
Alta Pianura est	188	78%
Alta Pianura ovest	62	64%
Media Pianura	269	87%
Bassa Pianura est	134	87%
Bassa Pianura centrale	132	83%
Bassa Pianura ovest	52	89%

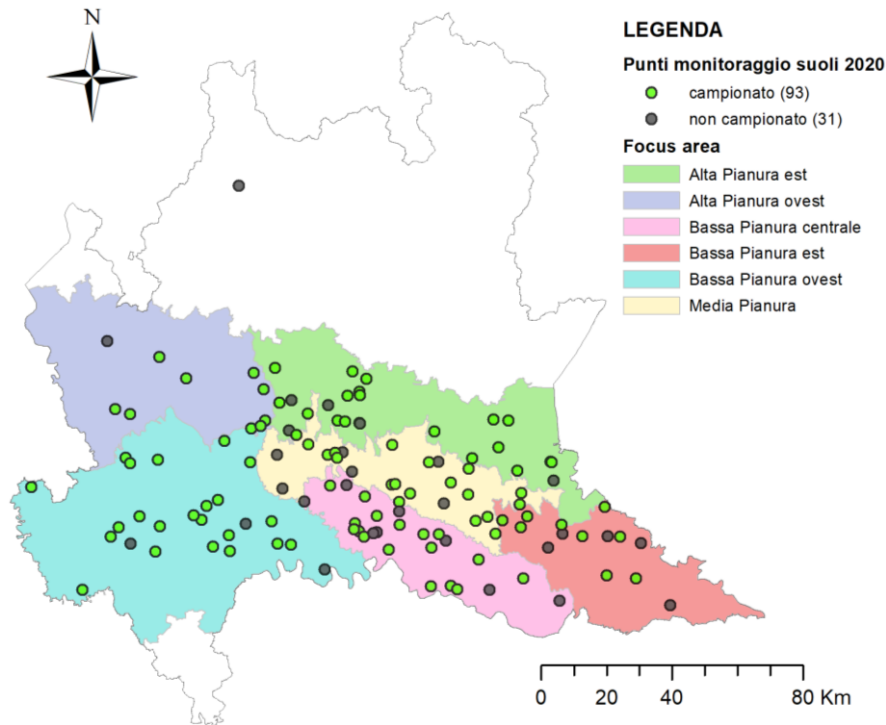
**Tabella 3.** Caratterizzazione delle FA - % delle principali colture

Denominazione FA	SAU (ha)	% Mais	% Prati permanenti	% Erbai estivi	% Cereali autunno-vernini	% altro
Alta Pianura est	141701,57	50%	3%	21%	13%	13%
Alta Pianura ovest	81188,21	31%	9%	28%	20%	11%
Media Pianura	125985,76	65%	0%	21%	9%	5%
Bassa Pianura est	133663,16	36%	1%	26%	19%	19%
Bassa Pianura centrale	138176,47	61%	0%	13%	12%	13%
Bassa Pianura ovest	312553,22	31%	0%	13%	10%	47%

**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.

Nella seguente **Figura 1** si riporta la delimitazione delle FA in pianura e le relative stazioni di monitoraggio 2020.



*Figura 1. Delimitazione delle FA e relative stazioni di monitoraggio 2020.*

### 1.1. 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.

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: 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 per valutare, ad ognuna delle tre profondità, il contenuto di azoto nitrico (N-NO<sub>3</sub>), azoto totale (metodo Kjeldahl - TKN) e fosforo disponibile (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Inoltre, nei campioni superficiali (0-30 cm) è stato valutato anche il contenuto di carbonio organico (CO), il pH, la capacità di scambio cationico (CSC), la percentuale delle principali frazioni tessiturali e il contenuto dei principali metalli pesanti (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn).

## 1.2. Epoca di campionamento

La campagna di campionamento è stata realizzata nel periodo di post raccolta dei cereali primaverili-estivi (tra settembre e novembre). I campionamenti sono stati eseguiti prima degli interventi autunnali 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.

## 1.3. 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 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met VII.1
pH (in acqua)	DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met III.1
Capacità di scambio cationico (CSC)	DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met XIII.2
GRANULOMETRIA (5 frazioni)	DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met II.6
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 10/04/2002
Fosforo assimilabile (come P)	DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met XV.3
Metalli (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018

## 2. RISULTATI

Nel presente paragrafo vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'attività di monitoraggio dei suoli per l'anno 2020.

Durante la campagna di monitoraggio è stato possibile campionare 93 siti (**Figura 1**), la maggior parte dei quali (62) coltivati a mais. Campionamenti sono stati eseguiti anche in aree coltivate a riso, in prati e, in misura minore su soia, sorgo, frumento, brassicacee, aree incolte, *cover crops* (raggruppate sotto il nome di "altre colture").

### 2.1. Elaborazione dati: azoto

Nella **Tabella 6** sono rappresentati i dati di sintesi descrittiva relativi al contenuto medio ( $\pm$  deviazione standard) di azoto nitrico (N-NO<sub>3</sub>) nei suoli, suddivisi per Focus Area (FA) in funzione delle diverse profondità di campionamento. Si può notare come i valori della Bassa Pianura centrale 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 numerosi siti con contenuto di N-NO<sub>3</sub> sotto al limite di rilevabilità (<1 mg/kg) nei suoli dell'Alta Pianura est (10 siti su 18) e della Bassa Pianura ovest (5 su 23) 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 6.** Concentrazione media e deviazione standard di N-NO<sub>3</sub> (mg/kg) residuale per FA a diverse profondità di campionamento

Focus Area	Profondità		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Alta Pianura est	9,17 ± 14,08	4,83 ± 7,89	1,69 ± 2,98
Alta Pianura ovest	15,75 ± 9,60	6,25 ± 4,50	3,43 ± 1,72
Bassa Pianura centrale	25,65 ± 13,30	14,82 ± 9,95	10,12 ± 10,76
Bassa Pianura est	21,33 ± 13,08	11,11 ± 9,40	7,78 ± 6,78
Bassa Pianura ovest	14,43 ± 18,22	8,39 ± 14,05	5,57 ± 10,76
Media Pianura	23,17 ± 12,33	12,89 ± 9,22	8,53 ± 6,63

Nella **Tabella 7** sono riportati i valori medi ( $\pm$  deviazione standard) per FA e per coltura alle diverse profondità di campionamento. I valori di N-NO<sub>3</sub> risultano piuttosto elevati nei prati della Bassa Pianura Centrale e Bassa Pianura est. Sebbene questi valori siano notevolmente più alti rispetto alle altre aree analizzate, è necessario tenere in considerazione il bassissimo numero di repliche (1- 2 per FA) e quindi la scarsa rappresentatività del dato. Per quanto riguarda il mais, ampiamente rappresentato durante questa campagna di campionamenti, si riconferma la tendenza individuata in precedenza: è presente una riduzione del contenuto di N-NO<sub>3</sub> residuale lungo il profilo tra lo strato più superficiale (0-30 cm) e quelli più profondi (30-60 e 60-90 cm).

Mediamente la riduzione del contenuto di N-NO<sub>3</sub> tra lo strato superficiale (0-30 cm) e lo stato sotto-superficiale (30-60 cm) si attesta attorno al 44%, mentre la riduzione tra quest'ultimo e lo strato profondo (60-90 cm) è del 30% circa (in questo calcolo non sono stati considerati i siti per i quali, almeno per una delle 3 profondità, la concentrazione di N-NO<sub>3</sub> risultava sotto la soglia di rilevabilità). Sono numerosi i casi in cui la diminuzione di azoto residuale lungo il profilo risulta superiore al 50%. In soli 5 siti è stata rilevata una concentrazione più elevata nello strato 30-60 rispetto allo strato superiore, ma nella quasi totalità dei casi si tratta di variazioni trascurabili.

**Tabella 7.** Concentrazione media e deviazione standard di N-NO<sub>3</sub> residuale per FA nei suoli a diverse profondità per diverse colture

Coltura	Focus area	Profondità		
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
mais	Alta Pianura est	12,6 ± 17,52	3,7 ± 4,72	2,38 ± 3,58
	Alta Pianura ovest	15,75 ± 9,6	6,25 ± 4,5	3,43 ± 1,72
	Bassa Pianura centrale	27,23 ± 14,31	15,62 ± 10,54	8,38 ± 3,18
	Bassa Pianura est	22 ± 15,19	12,17 ± 11,65	9,5 ± 7,87
	Bassa Pianura ovest	25,55 ± 19,8	14,91 ± 18,35	9,91 ± 14,47
	Media Pianura	24 ± 13,01	13,43 ± 10,01	8,77 ± 7,46
prato	Alta Pianura est	9,67 ± 8,74	5 ± 7	1,5 ± 2,12
	Bassa Pianura centrale	33	25	50
	Bassa Pianura est	31	9	3
	Bassa Pianura ovest	2	4	1
riso	Bassa Pianura ovest	1,13 ± 1,81	1,25 ± 2,43	1 ± 2,07
altre colture	Alta Pianura est	2 ± 4,47	7 ± 13,45	0 ± 0
	Bassa Pianura centrale	16,33 ± 3,79	8 ± 0	4,33 ± 1,15
	Bassa Pianura est	14,5 ± 4,95	9 ± 2,83	5 ± 1,41
	Bassa Pianura ovest	13,33 ± 14,57	5 ± 1,73	3,33 ± 2,52
	Media Pianura	20,25 ± 10,63	11 ± 6,38	7,75 ± 3,3

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.

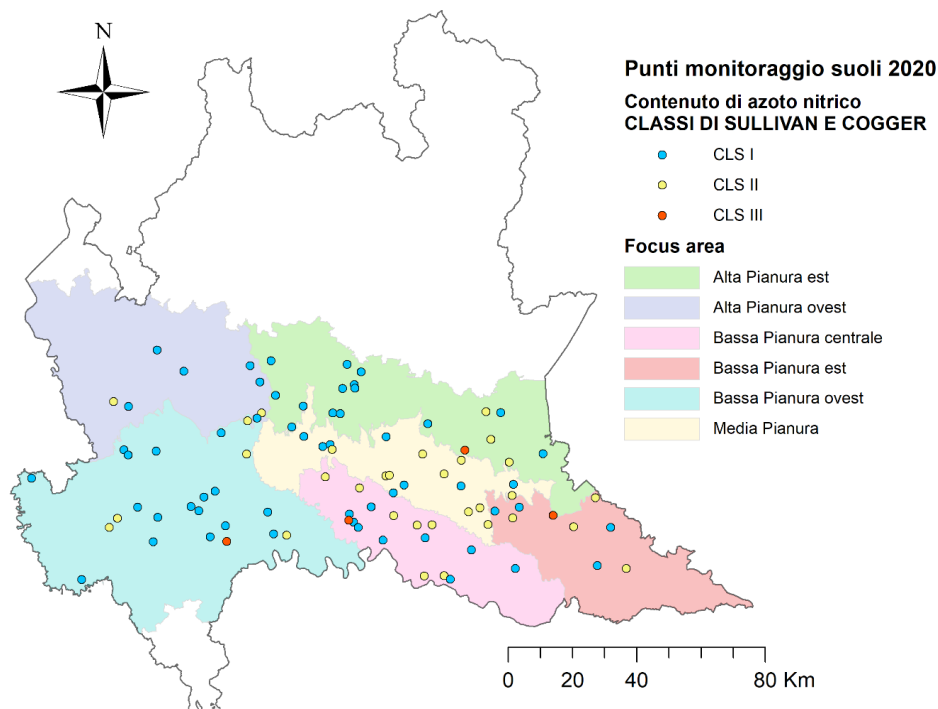
Sullivan e Cogger (2003) hanno ipotizzato 3 possibili intervalli di concentrazioni di N-NO<sub>3</sub> che corrispondono a differenti consigli sulla gestione dell'azoto (**Tabella 8**).



**Tabella 8.** Possibili intervalli di concentrazioni di  $N-NO_3$  secondo Sullivan e Cogger (2003)

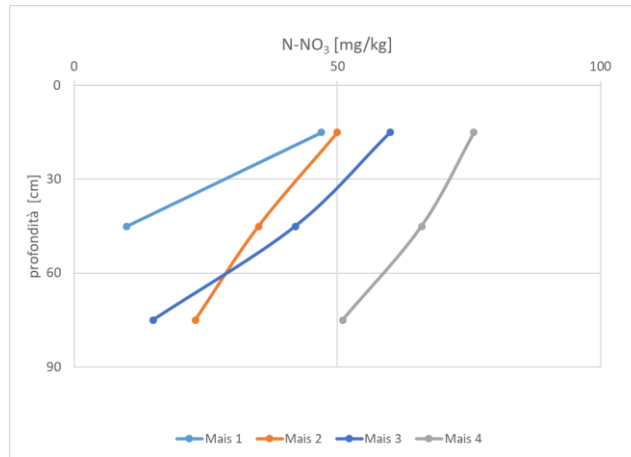
	$N-NO_3$ $mg\ kg^{-1}$	$NO_3$ $mg\ kg^{-1}$	$N-NO_3$ $kg\ ha^{-1}$	Suggerimenti di gestione
Classe I	< 20	< 88,5	< 78	Continuare con il piano di concimazione attuale.
Classe II	20 - 45	88,5 - 199	78 - 175	Ridurre la concimazione in copertura nella stagione successiva, utilizzando il test dell'azoto nitrico 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	> 199	> 175	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 2** rappresenta i siti campionati, suddivisi secondo l'appartenenza alle classi di Sullivan e Cogger (**Tabella 8**) in funzione del contenuto di azoto nitrico nell'orizzonte superficiale (0-30 cm): la maggioranza dei siti monitorati ricade nella Classe I, mentre nella Bassa Pianura Centrale e nella Media Pianura risultano concentrati la maggior parte di quelli ricadenti in Classe II.



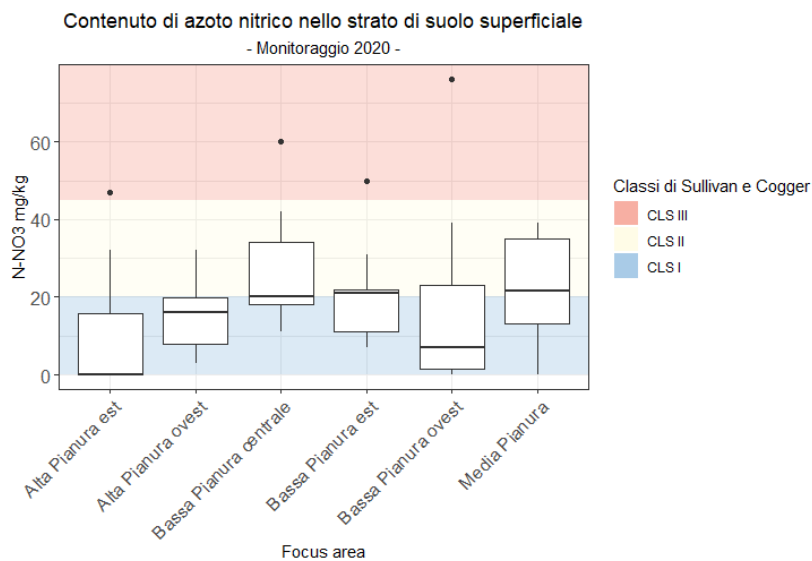
**Figura 2.** Carta del contenuto di  $N-NO_3$  nel primo strato di suolo (0-30 cm) nelle diverse FA, in relazione all'appartenenza alle classi di Sullivan e Cogger.

Una valutazione dettagliata dei singoli punti di monitoraggio rivela inoltre che tutti i siti che superano la soglia di 45 mg/kg di azoto nitrico (Classe III) sono coltivati a mais (punti rossi nella **Figura 2**): in questi siti il contenuto diminuisce lungo il profilo negli strati più profondi del suolo, pur mantenendo valori piuttosto elevati (**Figura 3**).



**Figura 3.** Contenuto di N-NO<sub>3</sub> alle diverse profondità nei 4 siti in Classe III (Tabella 8).

Nella **Figura 4** si riportano i boxplot 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, la maggior parte dei punti campionati nella Bassa Pianura Centrale e nella Media Pianura presenta valori ricadenti nella Classe II di Sullivan e Cogger (20-45 mg/kg di N-NO<sub>3</sub>), per i quali sarebbe quindi consigliata una riduzione dell'apporto di N.



**Figura 4.** Boxplot del contenuto N-NO<sub>3</sub> nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA; i colori di fondo rappresentano le classi di Sullivan e Cogger.

## 2.2. 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  $P_2O_5$ ), 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) indicano comunque soglie di pericolosità per le acque di superficie superiori a 70 mg/kg di  $P_2O_5$ .

La **Tabella 9** riporta i risultati dell'analisi del contenuto di  $P_2O_5$  assimilabile (mg/kg) nei suoli a diverse profondità per FA. Sia nell'Alta Pianura est che nella Media Pianura, i valori residuali risultano estremamente alti.

**Tabella 9.** 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	92,52 $\pm$ 43,13	60,67 $\pm$ 36,97	57,6 $\pm$ 40,69
Alta Pianura ovest	65,09 $\pm$ 42,05	45,03 $\pm$ 40,72	26,74 $\pm$ 24,16
Bassa Pianura centrale	62,35 $\pm$ 30,64	40,82 $\pm$ 30,57	22,36 $\pm$ 12,86
Bassa Pianura est	51,02 $\pm$ 26,21	29,76 $\pm$ 15,41	17,92 $\pm$ 7,85
Bassa Pianura ovest	59,07 $\pm$ 32,79	34,57 $\pm$ 21,86	31,65 $\pm$ 19,32
Media Pianura	97,41 $\pm$ 35,66	54,92 $\pm$ 30,33	27,48 $\pm$ 14,27

Nella **Tabella 10** 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 nella Bassa Pianura ovest e nella Media Pianura, dove si riscontrano maggiori carichi zootecnici.

Mediamente la diminuzione della concentrazione di  $P_2O_5$  tra lo strato superficiale (0-30 cm) e sotto-superficiale (30-60 cm) si attesta attorno al 35%, mentre la riduzione tra quest'ultimo e lo strato profondo (60-90 cm) è del 21% circa. In 11 siti la riduzione tra i primi 2 orizzonti è trascurabile (<1%), mentre in 3 siti è stato riscontrato un aumento della concentrazione di  $P_2O_5$  negli orizzonti più profondi, raggiungendo picchi di 127 mg/kg di  $P_2O_5$ .

**Tabella 10.** Concentrazione media ( $\pm$  deviazione standard) di  $P_2O_5$  (mg/kg) residuale per FA nei suoli a diverse profondità per diverse colture

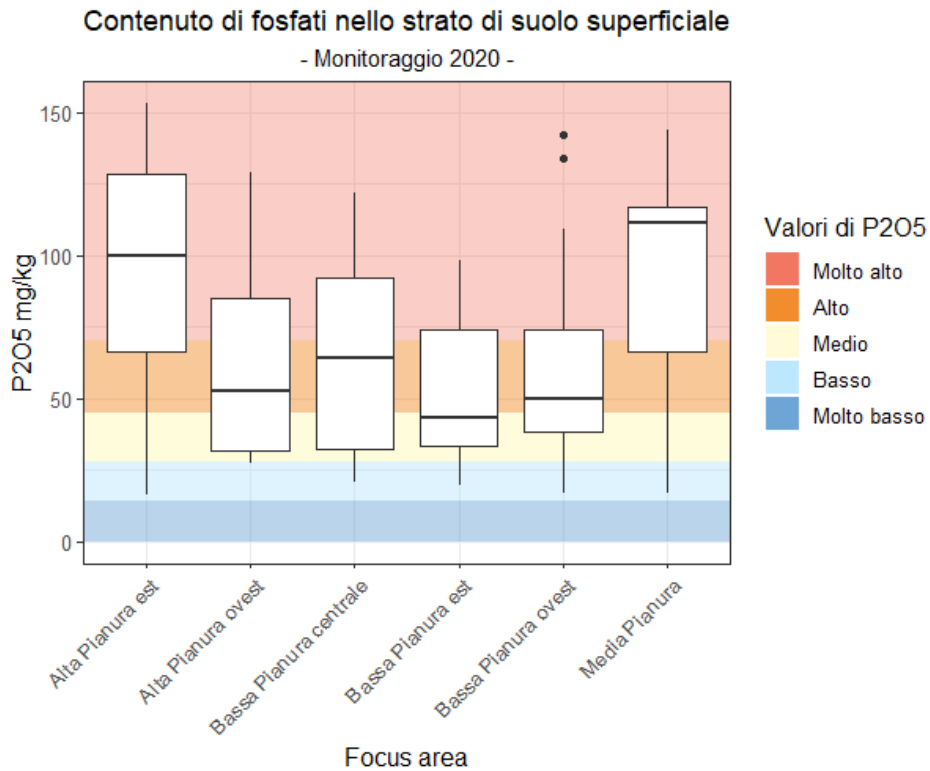
Coltura	Focus Area	Profondità di campionamento		
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
mais	Alta Pianura est	80,34 $\pm$ 51,27	55,07 $\pm$ 37,81	60,66 $\pm$ 40,75
	Alta Pianura ovest	65,09 $\pm$ 42,05	45,03 $\pm$ 40,72	26,74 $\pm$ 24,16
	Bassa Pianura centrale	60,31 $\pm$ 31,29	40,88 $\pm$ 34,09	21,76 $\pm$ 13,53
	Bassa Pianura est	52,27 $\pm$ 29,64	30,6 $\pm$ 17,9	17,52 $\pm$ 9,36
	Bassa Pianura ovest	69,94 $\pm$ 40,8	37,14 $\pm$ 30,41	33,04 $\pm$ 27,57
	Media Pianura	103,11 $\pm$ 29,74	56,57 $\pm$ 26,59	27,75 $\pm$ 13,92
prato	Alta Pianura est	100,67 $\pm$ 28,92	50,3 $\pm$ 35,4	24,45 $\pm$ 7,99
	Bassa Pianura centrale	58	27,7	10,8
	Bassa Pianura est	43	24,5	20,3
	Bassa Pianura ovest	25,7	16,1	28,2
riso	Bassa Pianura ovest	49,35 $\pm$ 22,06	34,51 $\pm$ 9,27	32,96 $\pm$ 6,44
altre colture	Alta Pianura est	112 $\pm$ 26,04	78,1 $\pm$ 37,78	71,53 $\pm$ 51,61
	Bassa Pianura centrale	72,63 $\pm$ 37,96	44,9 $\pm$ 19,87	28,83 $\pm$ 9,65
	Bassa Pianura est	51,3 $\pm$ 32,1	29,85 $\pm$ 16,33	17,95 $\pm$ 7
	Bassa Pianura ovest	56,3 $\pm$ 14,22	31,47 $\pm$ 10,45	24,23 $\pm$ 7,33
	Media Pianura	77,45 $\pm$ 51,88	49,13 $\pm$ 45,71	26,58 $\pm$ 17,59

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 campagna successivo. In **Tabella 11** vengono riportati i valori di riferimento.

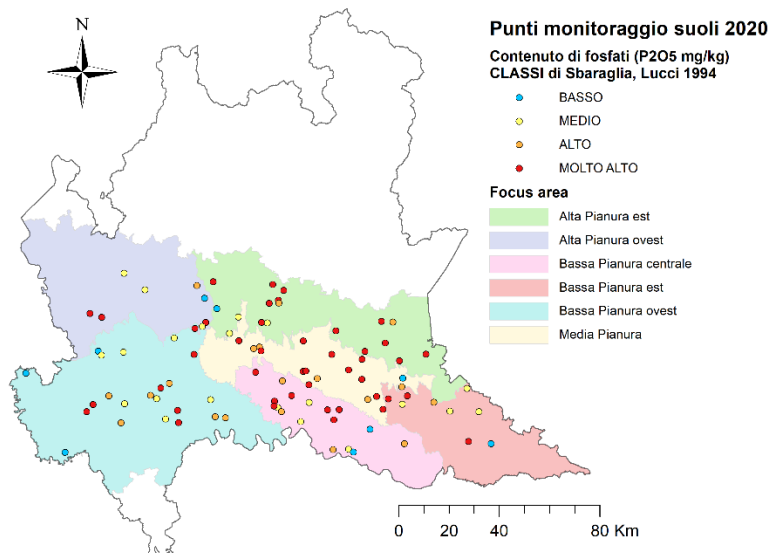
**Tabella 11.** Concentrazione di  $P_2O_5$  assimilabile (metodo Olsen) nel terreno e relativa interpretazione agronomica (da Sbaraglia e Lucci, 1994)

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 5** si riportano i boxplot 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 11**, quasi tutti i campioni presentano valori "alti" di fosforo disponibile e che valori "molto alti" sono stati riscontrati nella Alta Pianura est e nella Media Pianura (già caratterizzata da un elevato carico di azoto nitrico). Tali risultati sono confermati anche in **Figura 6**, dove si riporta la carta dei siti campionati, differenziati secondo l'interpretazione agronomica in **Tabella 11** in funzione del contenuto di  $P_2O_5$  nell'orizzonte superficiale (0-30 cm).



**Figura 5.** Boxplot 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 11**.



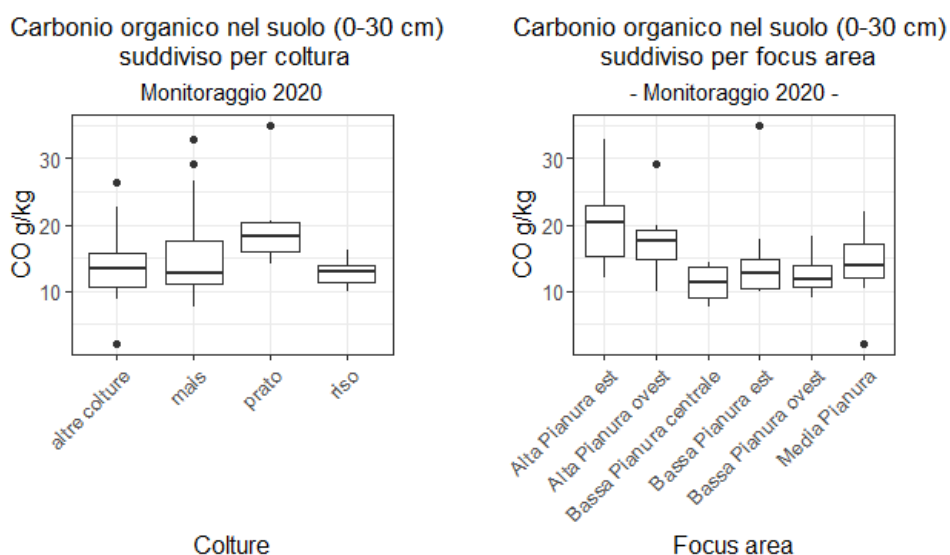
**Figura 6.** Carta del contenuto di  $P_2O_5$  nell'orizzonte superficiale (0-30 cm) nelle diverse FA, in relazione all'appartenenza alle classi in **Tabella 11**.

### 2.3. 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 12** è riportata una classificazione dei suoli in base al contenuto di carbonio organico. 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 7**). Sebbene le superfici a prato siano rappresentate da un numero limitato di siti (6), è evidente come il contenuto di carbonio sia notevolmente superiore rispetto ai seminativi.

**Tabella 12.** Classificazione dei suoli in base al contenuto di carbonio organico (da Costantini, 2006)

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



**Figura 7.** Boxplot del contenuto di CO nel primo strato di suolo (0-30 cm) in relazione alla coltura (sulla sinistra) e alla FA di appartenenza (sulla destra).

## 2.4. Elaborazione dati: metalli pesanti

I suoli contengono naturalmente metalli pesanti in quantità variabili a seconda della *parent material* su cui si sono formati. Nello strato più superficiale, oltre al contenuto naturale si aggiunge il contributo legato agli interventi antropici (come attività agricole e industriali).

Il DM 46/2019 rappresenta il regolamento relativo agli interventi di bonifica, di ripristino ambientale e di messa in sicurezza, d'emergenza, operativa e permanente, delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento, ai sensi dell'art. 241 del d.lgs. 152/2006. In particolare, l'allegato 2 riporta le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) per i suoli delle aree agricole che rappresentano quindi i valori al di sopra dei quali è necessaria la caratterizzazione del sito e l'analisi di rischio sito specifica; come previsto dal DM, tali valori sono da utilizzare solo in assenza di Valori di Fondo Geochimico (VFG) validati da ARPA. Un lavoro di analisi preliminare realizzato da ERSAF nel 2020 ha reso possibile una prima valutazione dei valori di fondo pedo-geochimico (VFN), riferiti al contenuto naturale di ciascun metallo e dei valori di fondo naturale antropico (VFA), riferiti al contenuto di metalli dovuto sia a sorgenti naturali sia a sorgenti non naturali diffuse (**Tabella 13**).

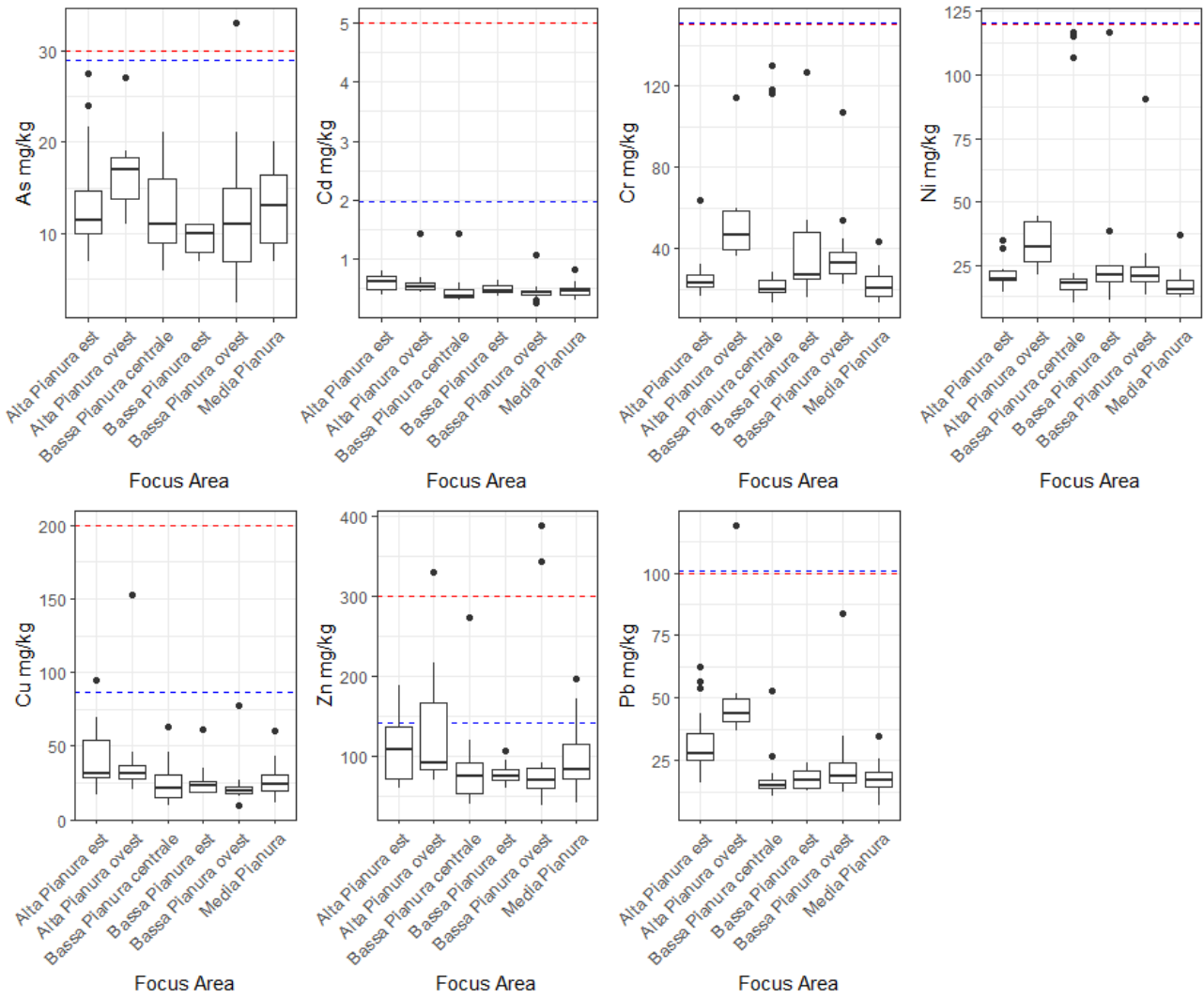
*Tabella 13. Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) ai sensi dei DM 46/2019 e Valori di Fondo Antropici (VFA) per i principali metalli e metalloidi*

Parametro	U.M.	Soglia VFA (fonte ERSAF)	DM 46/2019
<b>Cadmio</b>	mg/kg s.s.	2,0	5
<b>Nichel</b>	mg/kg s.s.	124,4	120
<b>Piombo</b>	mg/kg s.s.	98,1	100
<b>Rame</b>	mg/kg s.s.	86,5	200
<b>Zinco</b>	mg/kg s.s.	142,0	300
<b>Arsenico</b>	mg/kg s.s.	23,9	30
<b>Cromo totale</b>	mg/kg s.s.	133,9	150

Sebbene elevati carichi zootecnici potrebbero rappresentare un fattore di rischio per il superamento della Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC), i dati evidenziano un numero molto ridotto di superamenti di tali soglie (ai sensi del DM 46/2019) e dei VFA (**Figura 8**).

Da un'analisi più approfondita emerge che solo in 2 siti (1 in Bassa Pianura ovest e 1 in Alta Pianura est) sono stati riscontrati valori molto elevati per quasi tutti i metalli valutati, oltre che alte concentrazioni di azoto nitrico.

### Metalli pesanti



limiti --- d.lgs. 46/2019, all. 2 --- VFA Valore di Fondo Antropico

**Figura 8.** Boxplot del contenuto medio in metalli pesanti (As, Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb) nel primo strato di suolo (0-30 cm) in relazione alla FA.



### 3. 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.