

FONDAZIONE
EDMUND MACH
dal 1874

**MONITORAGGIO MINCIO - ATTIVITÀ CONOSCITIVE E DI MONITORAGGIO QUALI-
QUANTITATIVO NEL FIUME MINCIO**

RELAZIONE SCIENTIFICA - ATTIVITÀ ANNO 2025

**FONDAZIONE EDMUND MACH, CENTRO RICERCA E INNOVAZIONE, UNITÀ
IDROBIOLOGIA**

**Maria Cristina Bruno, ricercatrice, referente progetto
Leonardo Cerasino, responsabile Piattaforma Idrochimica**

San Michele all'Adige, 29 dicembre 2025

La referente di progetto
Maria Cristina Bruno
Centro Ricerca e Innovazione -Unità Idrobiologia

Sommario

MONITORAGGIO DEI PARAMETRI FISICO-CHIMICI E BIOLOGICI.....	6
1. Premessa	6
2. Materiali e metodi	9
2.1. Area di studio, stazioni monitorate	9
2.2. Metodi di campionamento e di analisi	9
3. Risultati e confronto con dati pregressi	10
3.1. Livello della falda freatica	10
3.2. Temperatura	11
3.3 Ossigeno	12
3.4. Solidi sospesi	16
3.5 Concentrazione nutrienti silice	25
3.5.1. Analisi delle Componenti Principali.....	25
3.5.2. Concentrazione nutrienti e silice.....	27
3.6. Carichi nutrienti e silice	49
3.7. Altre variabili fisico-chimiche	61
3.8 LIMeco.....	64
4. Riferimenti bibliografici	66

INDICE FIGURE

Figura 1. Pioggia mensile cumulata a Goito. Sinistra: valori cumulati mensili; destra: valori cumulati orari, le linee tratteggiate indicano valori soglia di pioggia oraria cumulata di 10, 15, 20 mm, e tabella indicante il numero di eventi sopra ognuna di queste soglie, per ogni anno. (dati meteo ARPA Lombardia https://www.arpalombardia.it/temi-ambientali/meteo-e-clima/guida-richiesta-dati). Dicembre 2025, dati fino al 16 dicembre incluso (data successiva all'ultimo campionamento).	7
Figura 2. Dettaglio della localizzazione delle stazioni di prelievo delle acque superficiali e di falda, e delle sezioni in cui sono state misurate le portate. Rosso: pozzi, verde: stazioni acqua superficiale.	9
Figura 3. Livello della falda, misurato ad ogni data di campionamento nei pozzi superficiali (sopra) e profondi (sotto), e totale delle precipitazioni mensili cumulate misurate alla stazione pluviometrica di Goito; sinistra: anno 2024; destra: anno 2025 (Dicembre 2025, dati fino al 16 dicembre incluso, data successiva all'ultimo campionamento). Fonte dati pluviometrici: ARPA Lombardia.	11
Figura 4. Temperatura (°C), valori puntuali di acque: a) superficiali, c) falda; boxplot di media, mediana e quartili e range della temperatura e confronti tra stazioni (test Kruskal-Wallis) per tutti i dati misurati di acque: b) superficiali, d) falda.	12
Figura 5. Valori puntuali di percentuale di saturazione dell'ossigeno: a) nelle acque superficiali, e valori di soglia delle 4 classi LIMeco, b) nelle acque di falda; box plot di media, mediana e confronti tra stazioni (test Kruskal-Wallis) in acque c) superficiali, d) di falda.	14

Figura 6. Valori mensili, box-plot e confronti tra stazioni (test Kruskal-Wallis) di concentrazioni (mg/L) e carico (kg/giorno) dei solidi sospesi totali e delle componenti minerale e organica.	18
Figura 7. Composizione percentuale delle componenti minerale o organica del sedimento trasportato, anni 2024 e 2025.	20
Figura 8. Valori mensili di concentrazione (mg/L) e carichi (kg/giorno) dei solidi sospesi totali e diportata (m ³ /s), per ogni stazione in cui è stata misurata la portata.	20
Figura 9. Carichi di solidi sospesi totali, di materia organica e minerale, calcolati: a) per il periodo pre-irriguo (gennaio-marzo), b) irriguo (aprile-settembre), c) post-irriguo (ottobre-dicembre); d) composizione percentuale in materia organica e minerale dei carichi annui.	22
Figura 10. Rappresentazione schematica della dinamica dei sedimenti nel tratto di Mincio Naturale compreso tra Pozzolo e Goito, per gli anni 2024 e 2025.	25
Figura 11. Analisi delle Componenti Principali (PCA) dei valori di concentrazione dei nutrienti e della silice in: a) tutte le stazioni, categorizzate per tipologia (superficie o falda); b) acque di falda, categorizzate per sito; c) acque di superficie, categorizzate per sito; d) acque di superficie, caratterizzate per periodo (pre irriguo, irriguo, post irriguo). I vettori indicano le variabili con correlazione con gli assi > 0.5.	27
Figura 12. Concentrazioni dell'azoto ammoniacale (NH ₄ ⁺), misurato in umol NH ₄ ⁺ /L, durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.	29
Figura 13. Concentrazioni dell'azoto nitroso (NO ₂ ⁻), misurato in ug NO ₂ ⁻ /L durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.	34
Figura 14. Concentrazioni dell'azoto nitrico (NO ₃ ⁻), misurato in ug NO ₃ ⁻ /L durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.	38
Figura 15. Concentrazioni dell'azoto totale, misurato in ug N/L, durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.	40
Figura 16. Concentrazioni del fosforo reattivo solubile, misurato in ug PO ₄ ³⁻ /L, durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.	42
Figura 17. Concentrazioni del fosforo totale, misurato in ug P/L, e della componente organica (calcolata come Ptot-SRP) durante il periodo di monitoraggio. Sopra: acque superficiali, sotto: acque di falda. Sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.	44
Figura 18. Concentrazioni silice reattiva disciolta (SiO ₂), misurato in ug SiO ₂ /L, durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.	47
Figura 19. Variazione dei carichi dei composti dell'azoto e dell'azoto totale misurati nel corso del monitoraggio. Sinistra: valori mensili 2025; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili; destra: valori mensili 2024.	54
Figura 20. Confronti tra periodo pre irriguo, irriguo, post irriguo per i composti dell'azoto. Periodo 1: pre-irriguo (gennaio-marzo), periodo 2: irriguo (aprile-settembre); periodo 3: post-irriguo (ottobre-dicembre). Dati campagne 2024 e 2025.	55

Figura 21. Variazione dei carichi della SRP, del P totale, e della silice reattiva disciolta (SiO ₂) misurati nel corso del monitoraggio. Sinistra: valori mensili 2025; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili; destra: valori mensili 2024.	57
Figura 22. Confronti tra periodo pre irriguo, irriguo, post irriguo per i composti del fosforo e della silice. Periodo 1: pre-irriguo (gennaio-marzo), periodo 2: irriguo (aprile-settembre); periodo 3: post- irriguo (ottobre-dicembre). Dati campagne 2024 e 2025.	60
Figura 23. Conducibilità ionica (dati campagne 2024 e 2025)	61
Figura 24. Andamento stagionale della conducibilità nei canali Goldone e Osone e nel sito Mincio Grazie (dati 2025)	61
Figura 25. Rappresentazione complessiva delle concentrazioni degli anioni e cationi in tutti i siti di campionamento (dati 2025).	62
Figura 26. Diagramma di Piper (dati 2025)	63
Figura 27. Confronto del rapporto bicarbonato/solfati nei vari siti di campionamento (dati 2025)	64
Figura 28. Valore dell'indice LIMeco calcolato per ogni data di campionamento e ogni stazione. Per confronto, si riportano anche i valori 2024. Le classi di qualità attribuite secondo i valori di LIMeco sono indicate con settori colorati in rosso: stato cattivo, arancione: stato scarso, giallo: stato sufficiente, verde: stato buono, azzurro: stato elevato.	64

INDICE TABELLE

Tabella 1. Valori massimi e minimi di livello della falda, anni 2024 e 2025.	10
Tabella 2. Confronto temperature 2024 e 2025.	11
Tabella 3. Confronto percentuale di saturazione dell'ossigeno 2024 e 2025.	13
Tabella 4. Confronto dei valori di concentrazione e carico dei solidi sospesi totali (SST), della componente minerale e organica, misurati negli anni 2024 e 2025.	18
Tabella 5. Correlazione (R Spearman) tra solidi sospesi totali (SST) e componente organica (Org) e minerale (Min) di ogni stazione. I valori in rosso sono significativi con $p < 0.05$	19
Tabella 6. Correlazioni (R Spearman) tra concentrazione e carichi di solidi totali (TSS), materia organica (MO), componente minerale (Min) e portata (Q). In rosso: correlazioni significative con $p < 0.0500$	19
Tabella 7. Valori dei carichi di solidi sospesi e portata, in rosso il periodo irriguo. N.R.= non rilevato.	21
Tabella 8. Confronti (Mann Whitney U test) tra valori dei carichi totali misurati tra periodo irriguo e non irriguo, e tra le diverse fasi (pre-irriguo, irriguo, post-irriguo). In rosso i valori significativi con $p < 0,05$	21
Tabella 9. Differenza tra i carichi misurati a Pozzolo Valle e Goito: stima delle tonnellate/anno basata sul valore medio di kg/g.	25
Tabella 10. Valori di solidi sedimentabili, stazioni Canale Goldone e Canale Osone, novembre e dicembre 2025.	25
Tabella 11. Valori medi, massimi, minimi e deviazione standard per ogni stazione di superficie e di falda, calcolati per ogni parametro su tutti i campionamenti annuali 2024 e 2025. Sinistra: concentrazioni, destra: carichi. * valori calcolati escludendo Pozzolo valle.	48
Tabella 12. Confronti (Mann_Whitney U test) tra periodo non irriguo e irriguo, e nel dettaglio tra periodo pre irriguo e irriguo, irriguo e post-irriguo, pre e post irriguo, per concentrazioni e carichi di ogni specie chimica e	

per ogni stazione, per gli anni 2024 e 2025. Sono riportati solo i confronti che hanno riportato almeno un confronto positivamente differente (valore p indicato in rosso).	49
Tabella 13. Tabella dei valori LIMeco calcolati per ogni stazione e data di campionamento. Per confronto, si riportano anche i valori 2024. Le classi di qualità attribuite secondo i valori di LIMeco sono indicate con celle colorate in rosso: stato cattivo, arancione: stato scarso, giallo: stato sufficiente, verde: stato buono, azzurro: stato elevato. I = periodo irriguo, NI = periodo non irriguo.	64
Tabella 14. Valori dell'indice LIMeco e classe di qualità (indicata dal colore) degli anni 2024 e 2025, calcolato mensilmente come media dei due canali, delle 4 stazioni Mincio, di tutte le 7 stazioni.....	65
Tabella 15. Numero di campioni (stazione/mese) che ricadono nei 5 livelli di qualità, per i quattro parametri utilizzati per il calcolo del LIMeco, per gli anni 2024 e 2025.	65
Tabella 16. Lista dei valori dei singoli parametri che compongono l'indice LIMeco, valore dell'indice e classe di qualità, per ogni mese e stazione. A destra sono riportati gli intervalli di valori per la determinazione del valore del LIMeco e le corrispondenti classi di qualità.	66
Tabella 17. Valori di LIMeco misurati da ARPA Lombardia (*, scaricati da https://www.arpalombardia.it/dati/) o nel presente studio come media dei 12 mesi campionati (**).	66

MONITORAGGIO DEI PARAMETRI FISICO-CHIMICI E BIOLOGICI

1. Premessa

La presente relazione si riferisce all'accordo di collaborazione sottoscritto tra Fondazione Edmund Mach – Centro Ricerca e Innovazione (FEM) e Università di Trento – Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica (DICAM) dal titolo "MONITORAGGIO MINCIO - ATTIVITA' CONOSCITIVE E DI MONITORAGGIO QUALI-QUANTITATIVO NEL FIUME MINCIO" della durata di 12 mesi, a decorrere dall'1 Gennaio 2024, e rinnovato per 12 mesi a decorrere dall'1 Gennaio 2025. Le attività relative all'anno 2024 sono state descritte e documentate nella relazione consegnata da FEM a DICAM il 30/12/2024, mentre nella presente relazione si descrivono in dettaglio le attività svolte nel corso del 2025, e i relativi risultati.

Come indicato nella relazione 2024, i risultati del monitoraggio dei parametri fisico-chimici, riportati in questa relazione, sono a supporto della definizione del Deflusso Ecologico nei tratti del fiume Mincio compreso tra Pozzolo ed il Ponte Diga dei Mulini, in particolare al fine di individuare il corretto deflusso ecologico tramite la calibrazione dei fattori correttivi, e nello specifico del fattore A, che descrive le esigenze di maggior o minor rilascio dovute al contributo delle falde sotterranee nella formazione del DE, e del fattore Q, che esprime le esigenze di diluizione dei carichi inquinanti veicolati nei corsi d'acqua in funzione delle attività antropiche esistenti. A tal fine, nell'anno 2025 è stata svolta la seconda campagna di monitoraggio quali-quantitativo del fiume Mincio ad opera del DICAM e della Fondazione Edmund Mach (FEM). Nello specifico, FEM si è occupata del monitoraggio qualitativo, che ha capitalizzato sui risultati dello studio condotto nel 2024 dagli stessi enti, e dei dati pregressi dello studio condotto nel 2022 dall'Università di Parma. I risultati presentati e discussi includono le misure di concentrazione e i carichi di nutrienti e silice, di solidi sospesi e delle componenti organica e minerale, l'analisi delle caratteristiche chimico-fisiche di supporto, il calcolo dell'indice LIMeco.

Il 2022 è stato un anno particolarmente siccitoso (totale cumulato precipitazioni misurate a Goito: 5898 mm), mentre nel 2024, anno caratterizzato dall'elevato apporto meteorico (totale cumulato precipitazioni misurate a Goito: 1174 mm), rilevato da aprile a fine luglio, e in ottobre, si sono verificate condizioni idrologiche e quindi fisico-chimiche molto diverse rispetto al 2022, che hanno portato a risultati diversi dall'atteso, che vengono qui di seguito riassunti:

a) Gradiente spaziale dei nutrienti: Nel 2022 le concentrazioni dei nutrienti (soprattutto nitrati e silice) aumentavano significativamente tra Pozzolo e Goito; nel 2024 sono stati riscontrati aumenti rilevanti nei nitrati e silice progressivi lungo tutto il corso de Mincio naturale, tra Goito e Rivalta, e tra Rivalta e Grazie, a causa dell'input dai canali laterali. I dati 2024 hanno confermato, come nel 2022, l'importanza degli affluenti nel regolare le caratteristiche del Fiume Mincio, soprattutto per l'apporto di l'azoto nitroso (nitriti);

b) Gradiente temporale dei nutrienti: mentre nel 2022 si è riscontrato un brusco aumento delle concentrazioni dei nutrienti (soprattutto forme meno labili) all'inizio del periodo irriguo (aumento tra marzo e aprile), nel 2024 tale aumento non si è verificato (nel 2024 la stagione irrigua è iniziata più tardi, e si è protratta da inizio luglio a fine settembre) ma invece si è registrata una diminuzione della concentrazione causata dalla diluizione da apporto meteorico; nel 2024 l'elevato input di nutrienti nelle acque superficiali si è verificato da gennaio a maggio, soprattutto dai canali Osone e Goldone, con valori decrescenti da giugno, evidenziabile soprattutto nell'azoto nitrico (nitrati). In generale, i valori di nitriti e nitrati, e i picchi di fosforo reattivo, erano più elevati nel 2024 che nel 2022.

c) Nutrienti più rilevanti: Come nel 2022, anche nel 2024 lo ione nitrato è stato, tra i nutrienti, quello che ha spinto il peggioramento dello stato trofico delle acque superficiali; le sue concentrazioni variavano considerevolmente tra Pozzolo-Goito e le stazioni a valle e i canali, abbassando il relativo punteggio dell'indice LIMeco.

d) Relazioni acque di falda/superficie nella dinamica dei nutrienti: nel 2022 è stata rilevato un rilevante apporto delle acque di falda al carico di nitriti, nitrati e azoto ammoniacale rilevato nelle acque superficiali; nel 2024 nella falda freatica sono stati osservati elevati carichi di nitrati, con picchi elevati riscontrati nel pozzo P11, mentre nel pozzo P4 (situato in una zona ad uso agricolo intensivo) sono stati registrati picchi di fosfati e silice, causati dalle pratiche di fertilizzazione con letame nei campi circostanti e infiltrazione nella falda. La modellazione idraulica ha confermato lo scambio tra la falda e il fiume, la qualità dell'acqua che la falda restituisce al fiume è in generale più bassa rispetto alla qualità dell'acqua in ingresso al fiume da monte, che viene prelevata per uso irriguo (irrigation loop = derivazioni e irrigazione trasferiscono acqua di buona qualità proveniente dal Lago di Garda verso le colture e favoriscono l'azione drenante e l'ingresso nell'alveo di acque della falda superficiale, ricche di nitrati).

e) Ruolo della SiO₂: questa specie chimica era stata indicata nel 2022 come tracciante degli spargimenti di fertilizzanti organici nel bacino del Mincio, e come tracciante del contributo della falda, dove la SiO₂ persiste più a lungo a seguito dell'infiltrazione dei fertilizzanti organici nell'acquifero. I dati 2024 hanno confermato quanto rilevato nel 2022: considerando la SiO₂ come tracciante del carico trofico, l'origine dei nutrienti è da imputare in modo simile alla falda, nel tratto Pozzolo-Goito, e ai canali in destra e sinistra idrografica. È infatti probabile che l'effetto dell'interazione fiume-falda con il Mincio sia simile a quello dei canali, che apportano acque arricchite di SiO₂ (e nutrienti) dalla falda e dal dilavamento dei fertilizzanti organici. Tale fenomeno si verifica con intensità minore per il canale Osone, per il quale l'origine del carico di nutrienti potrebbe essere imputata ad altri fattori, identificati nella relazione UNIPR 2022 con buona probabilità nei depuratori di acque reflue che il canale colletta tramite i suoi affluenti.

f) Solidi sospesi: Nel 2024 le elevate precipitazioni e le conseguenti portate elevate misurate da aprile fino a luglio hanno causato un elevato apporto di solidi sospesi nelle acque superficiali per tutto il periodo e una riduzione della conducibilità (= concentrazione totale ioni disciolti), con effetto più elevato nei canali Osone e Goldone e nelle stazioni Mincio a valle degli stessi. I carichi di solidi sospesi nel 2024 sono stati più elevati a Pozzolo e nei canali; il calcolo del budget dei carichi ha permesso di quantificare un deposito di circa 768 tonn/anno di sedimenti minerale, e un export di 55 tonn/anno di materia organica, nel tratto di Mincio naturale compreso tra lo scaricatore di Pozzolo e Goito; la quantità di sedimento deviata nello scaricatore è stata similmente quantificata in circa 13500 ton/anno.

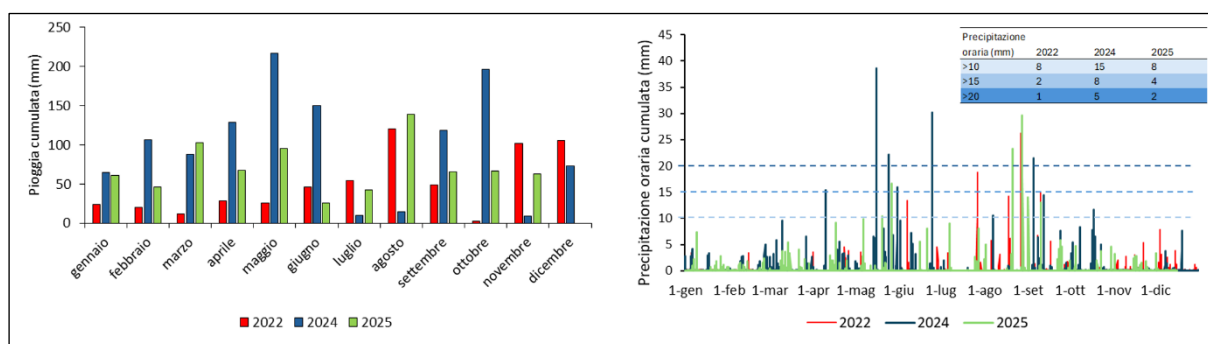


Figura 1. Pioggia mensile cumulata a Goito. Sinistra: valori cumulati mensili; destra: valori cumulati orari, le linee tratteggiate indicano valori soglia di pioggia oraria cumulata di 10, 15, 20 mm, e tabella indicante il numero di eventi sopra ognuna di queste soglie, per ogni anno. (dati meteo ARPA Lombardia <https://www.arpalombardia.it/temi-ambientali/meteo-e-clima/quida-richiesta-dati>). Dicembre 2025, dati fino al 16 dicembre incluso (data successiva all'ultimo campionamento).

Il 2025 è stato un anno relativamente piovoso, anche se con precipitazioni cumulate mensili generalmente più ridotte rispetto al 2024 (Figura 1), con valori di pioggia cumulata del primo trimestre comparabile a quella del 2024, riduzioni nelle precipitazioni da aprile a luglio (valori inferiori rispetto al 2024), precipitazioni intense in agosto, superiori al 2024 e simili al 2022, e precipitazioni cumulate mensili da settembre simili a quelle del primo trimestre, inferiori rispetto al 2024 in settembre –ottobre, superiori in

novembre; in dicembre le precipitazioni sono state molto scarse, con valore cumulato fino al 16 dicembre (data successiva all'ultimo campionamento) molto basso. Inoltre, il numero di eventi intensi di pioggia (Figura 1), con valori cumulati orari > 15 mm sono stati rispettivamente 2, 8 e 4 nel 2022, 2024, 2025; e 1, 5, 2 quelli >20 mm. Questi eventi estremi sono importanti nel determinare apporti di sedimento, e quindi di solidi sospesi, e per determinare variazioni nel livello della falda freatica.

2. Materiali e metodi

2.1. Area di studio, stazioni monitorate

Le stazioni monitorate sono le stesse dell'anno 2024 (si rimanda alla relazione 2024 per dettagli) ovvero 6 stazioni di campionamento di acque superficiali e 4 di falda (pozzi irrigui), scelte sulla base dei dati pregressi della relazione UNIPR 2022, di quanto indicato da Severini et al. (2022), e/o posizionate a monte delle sezioni misurate (Figura 2).



Figura 2. Dettaglio della localizzazione delle stazioni di prelievo delle acque superficiali e di falda, e delle sezioni in cui sono state misurate le portate. Rosso: pozzi, verde: stazioni acqua superficiale.

2.2. Metodi di campionamento e di analisi

Le attività di monitoraggio dei parametri chimico-fisici delle acque superficiali e di falda sono state svolte mensilmente, per un periodo di 12 mesi, in modo da includere il periodo irriguo, pre- e post- irriguo; nella maggior parte dei mesi in corrispondenza delle date di misurazione delle portate: 27/1, 24/2, 24/3 (Q misurata 19-20/03), 28/4, 26/5, 23/6 (Q misurata 18-20/6), 28/07 (Q misurata 1/8), 25/08, 22/09, 27/10, 24/11 (Q misurata 25/11), 15/12. I dati di portata sono stati utilizzati per stimare i carichi di nutrienti, silice, e solidi sospesi nelle stazioni di acqua superficiale.

Le modalità di campionamento ed analisi sono state la stesse del 2024, ovvero mediante il prelievo di campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio e l'utilizzo in campo di sonde multiparametriche, che hanno permesso di misurare sia i parametri di campo normalmente rilevati con sonda, quali temperatura, ossigeno disciolto e in % saturazione, che i principali parametri di laboratorio quali: conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$), alcalinità ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$), durezza ($^\circ\text{F}$), pH, azoto nitrico (misurato come $\mu\text{g N}/\text{L}$ e trasformato in $\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$ e $\mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$), azoto nitroso (misurato come $\mu\text{g N}/\text{L}$ e trasformato in $\mu\text{g NO}_2^-/\text{L}$ e $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$), azoto ammoniacale (misurato come $\mu\text{g N}/\text{L}$ e trasformato in $\mu\text{g NH}_4^+/\text{L}$ e $\mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$), azoto totale ($\mu\text{g N}/\text{L}$), fosforo reattivo solubile o SRP (misurato come $\mu\text{g P}/\text{L}$ e trasformato in $\mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$ e $\mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$), fosforo totale ($\mu\text{g P}/\text{L}$), Silice (misurato come $\text{mg SiO}_2/\text{L}$ e trasformato in $\mu\text{mol SiO}_2/\text{L}$), Bicarbonati ($\text{mg HCO}_3^-/\text{L}$), Solfati ($\text{mg SO}_4^{2-}/\text{L}$), Cloruri ($\text{mg Cl}^-/\text{L}$), Calcio ($\text{mg Ca}^{2+}/\text{L}$), Magnesio ($\text{mg Mg}^{2+}/\text{L}$), Sodio ($\text{mg Na}^+/\text{L}$), Potassio ($\text{mg K}^+/\text{L}$). Le analisi chimiche sono state effettuate mediante spettrometria di massa (Spettrofotometro Thermo Evolution 201) e cromatografia ionica (Cromatografo ionico DIONEX ICS5000) presso il laboratorio della Piattaforma Idrochimica della FEM, secondo la metodologia APHA (2023). Inoltre, per le stazioni di acque superficiali sono stati misurati i solidi sospesi nel laboratorio di idrobiologia FEM secondo i metodi standard APAT-IRSA-CNR (2003): filtrazione ed essiccazione 110°C e 550°C , per la determinazione dei solidi sospesi totali, della sostanza minerale e della sostanza organica. Nei mesi di novembre e dicembre sono stati determinati i solidi sedimentabili i solidi sospesi sono stati analizzati secondo la metodologia APHA (2023) e anche come da Regione Lombardia (2016).

Come per il 2024, l'indice LIMeco di ogni stazione di acqua superficiale per l'anno di campionamento è stato calcolato come media ponderata dei LIMeco calcolati per ogni mese di campionamento, ed è stata attribuita la classe corrispondente.

3. Risultati e confronto con dati pregressi

3.1. Livello della falda freatica

Come già osservato nella relazione 2024, il livello della falda freatica dipende sostanzialmente dal ricarica dovuto a precipitazioni e dall'irrigazione superficiale, che nel 2025 è stata effettuata da fine aprile a fine settembre, a differenza del 2024 anno in cui a seguito dell'elevato apporto meteorico (Figura 3), l'inizio del periodo irriguo è stato posticipato a luglio (Figura 3). Nel 2025 a causa delle elevate precipitazioni di aprile, il periodo irriguo è stato posticipato a fine mese, livello della falda misurata nei 4 pozzi monitorati è risalita a partire da aprile-maggio, e si è mantenuta a livelli elevati fino a luglio e agosto nei pozzi più superficiali (P11 e P-F, rispettivamente), e fino a luglio in quelli più profondi (P4, P-CS); in generale, i periodi di livello di falda elevata corrispondono al periodo di ricarica irriguo (così come verificatosi nel 2024); dal termine del periodo irriguo, i periodi di piovosità costante (ottobre-novembre) hanno mantenuto i livelli nei pozzi più profondi quasi costanti tra ottobre e novembre. Nel 2024, questi pozzi avevano invece risposto velocemente alla diminuzione delle piogge, e solo il pozzo superficiale in sinistra idrauliche (pozzo P11) aveva mantenuto livelli costanti, a causa della diversa direzione dello scorrimento subsuperficiale.

Tabella 1. Valori massimi e minimi di livello della falda, anni 2024 e 2025.

	2025			2024		
	Livello max falda	Livello min falda	max/min	Livello max falda	Livello min falda	max/min
P11	-1.05	-2.31	2.20	-1.05	-2.00	1.90
P-CS	-3.29	-8.93	2.71	-1.12	-2.10	1.88
P-F	-0.94	-2.20	2.34	-4.05	-8.90	2.20
P4	-7.23	-13.05	1.80	-7.60	-12.75	1.68

Le oscillazioni della falda sono stata più cospicue nel 2025 rispetto al 2024, tanto che il pozzo P-F era asciutto nei mesi di gennaio e febbraio; le oscillazioni sono state più rilevanti in un pozzo profondo (P-CS, rapporto massimi/minimo del livello di falda pari a 2,71) e uno superficiale (P-F, 2,34) nel 2025, mentre nel 2024 le oscillazioni più rilevanti erano state misurate nei due pozzi superficiali (P-F, rapporto 2,20 e P11, rapporto 1,90) (Tabella 1).

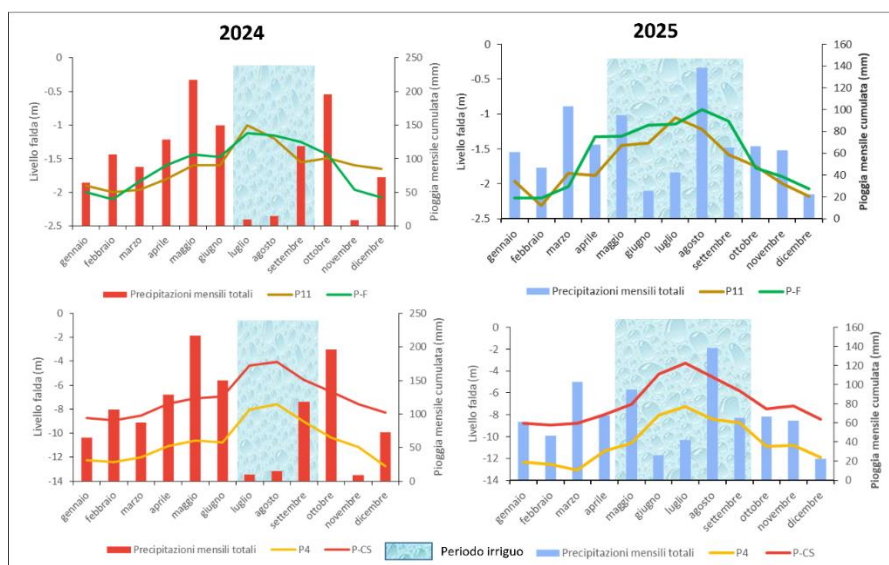


Figura 3. Livello della falda, misurato ad ogni data di campionamento nei pozzi superficiali (sopra) e profondi (sotto), e totale delle precipitazioni mensili cumulate misurate alla stazione pluviometrica di Goito; sinistra: anno 2024; destra: anno 2025 (Dicembre 2025, dati fino al 16 dicembre incluso, data successiva all'ultimo campionamento). Fonte dati pluviometrici: ARPA Lombardia.

3.2. Temperatura

La temperatura dell'acqua ha variato stagionalmente in maniera simile per le stazioni superficiali (Figura 4a) con poca e simile variabilità temporale e senza differenze significative tra stazioni (Test H Kruskal-Wallis, Figura 4b). Rispetto al 2024, nel 2025 le temperature sono state mediamente più elevate e meno variabili temporalmente (Tabella 2). Le temperature massime e minime sono stata misurate, come nel 2024, nel Canale Osone: 8,5 °C a gennaio, 26,5 °C a giugno; con un mese di anticipo e temperature meno fredde in inverno e più calde in estate nel 2025 rispetto al 2024 (quando sono stati misurati 5,1 °C a febbraio e 28,6 °C a luglio).

Tabella 2. Confronto temperature 2024 e 2025.

	M. Pozzold	M. Goito	C. Goldone	M. Rivalta	C. Osone	M. Grazie				
	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	QG	P11	P-CS	P-F	P4
Media 2024	16.41	17.24	16.32	16.91	17.23	17.55	17.42	18.64	17.45	18.37
Media 2025	16.51	16.74	15.63	16.22	16.64	17.70	17.33	18.35	18.73	17.86
Dev.St. 2024	6.44	5.64	6.56	6.05	7.39	7.48	2.54	0.68	3.80	1.09
Dev.St. 2025	6.21	5.44	5.93	5.65	6.63	6.69	2.82	0.64	3.48	0.93
Minimo 2024	8.30	8.10	6.30	7.80	5.10	5.10	14.20	17.80	11.40	17.30
Minimo 2025	9.30	10.00	6.60	9.00	7.30	8.00	14.20	17.00	13.80	16.90
Massimo 2024	26.60	25.80	26.90	26.30	28.60	28.10	20.70	19.70	24.00	20.40
Massimo 2025	25.00	23.60	24.00	23.30	26.50	26.10	22.20	19.40	23.20	19.90

Le acque di falda hanno presentati in media temperature più elevate delle acque superficiali con ridotte variazioni stagionali, registrate principalmente nei pozzi superficiali (P11 e P-F) (Figura 4c, d), anche se le differenze tra pozzi non sono state significative. Le temperature hanno variato da un minimo di 13,8 °C a marzo a un massimo di 23,2 °C in agosto a P-F; nel 2024, nello stesso pozzo, che è quello più superficiale e con la quantità di acqua minore, sono state registrate temperature minime più basse (11,4 °C), a gennaio, e più elevate (24 °C), in agosto.

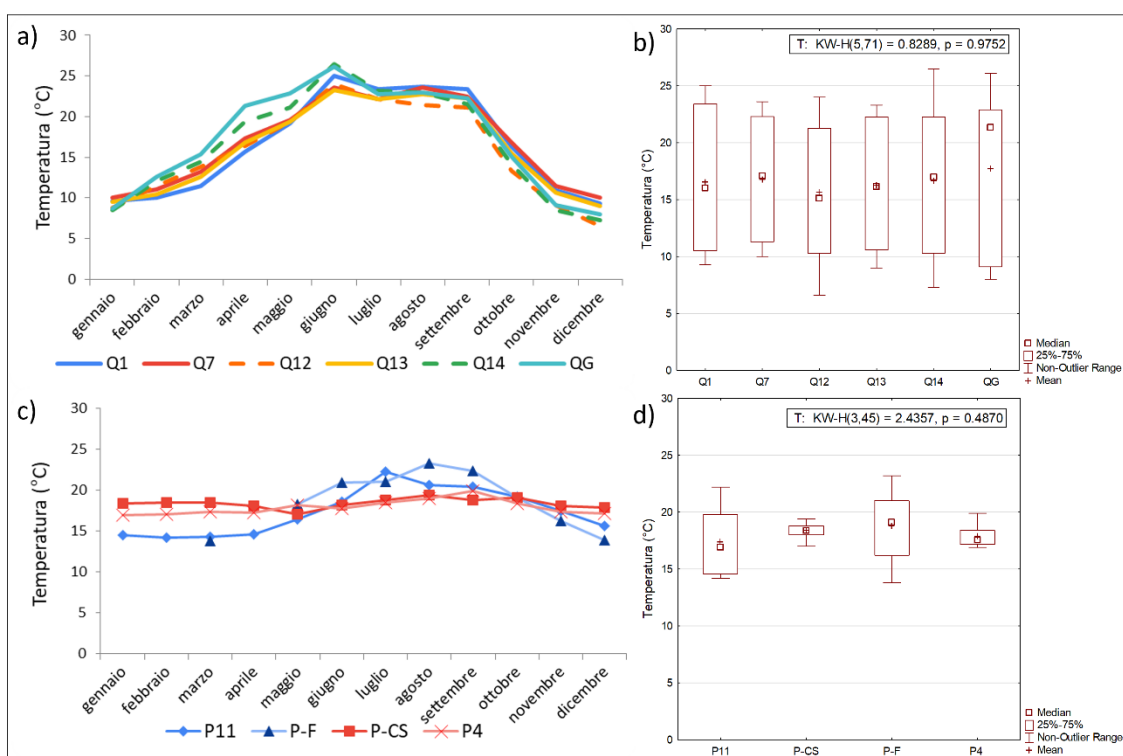
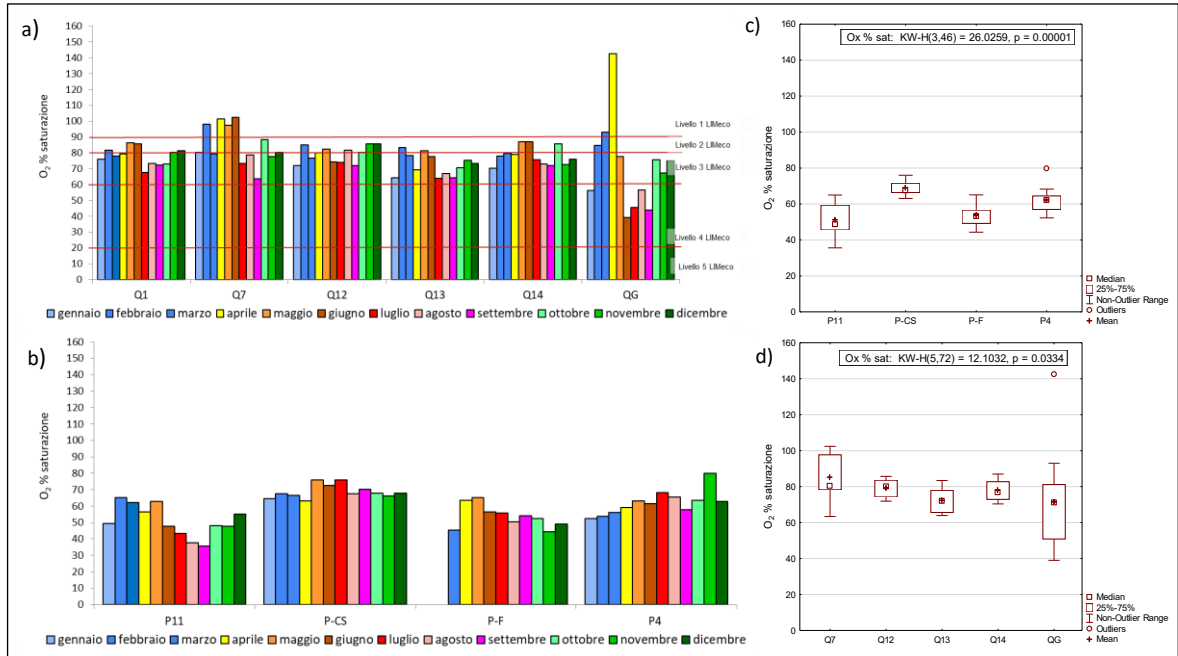


Figura 4. Temperatura (°C), valori puntuali di acque: a) superficiali, c) falda; boxplot di media, mediana e quartili e range della temperatura e confronti tra stazioni (test Kruskal-Wallis) per tutti i dati misurati di acque: b) superficiali, d) falda.

3.3 Ossigeno

Nel 2025 le differenze in percentuale di saturazione dell'ossigeno tra stazioni di acque superficiali sono state significative, si riscontra lo stesso trend spaziale registrato nel 2024, con una diminuzione della percentuale di saturazione dell'ossigeno lungo il Mincio direzione monte valle ((



Figura

5a,

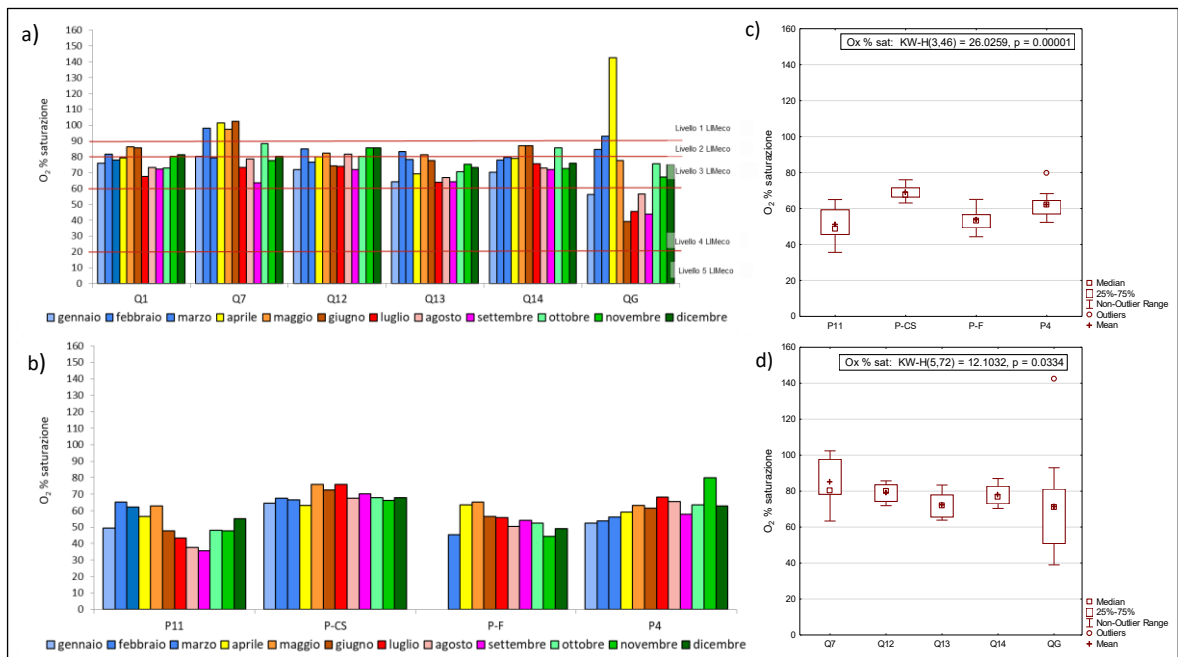


Figura 5c) da Pozzolo a Grazie, con l'eccezione di Goito dove la concentrazione di ossigeno è generalmente più elevata che nelle altre stazioni, probabilmente a causa della minore torbidità e della presenza di macrofite (soprattutto *Vallisneria* sp.) nell'area di prelievo dei campioni. Nei due canali, la saturazione è generalmente più elevata che nelle stazioni Mincio immediatamente a valle. Nel 2025 le concentrazioni di ossigeno sono state generalmente più basse che nel 2024 (Tabella 3), livelli di

sovrasaturazione importanti nel 2025 sono stati misurati solo ad aprile a Mincio Grazie (

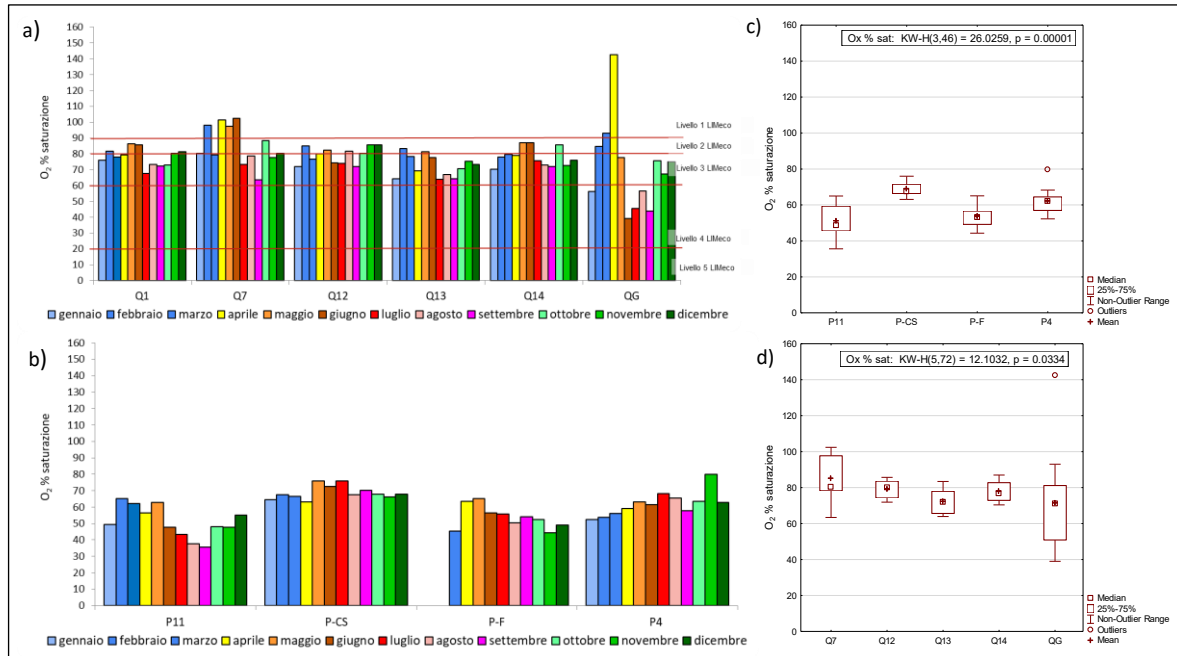


Figura 5a).

Tabella 3. Confronto percentuale di saturazione dell'ossigeno 2024 e 2025.

	M. Pozzolo	M. Goito	C. Goldone	M. Rivalta	C. Osone	M. Grazie				
	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	QG	P11	P-CS	P-F	P4
Media 2024	91.13	97.87	91.28	87.53	79.78	77.03	52.43	67.07	56.29	61.47
Media 2025	77.88	85.04	79.13	72.33	77.98	71.38	50.94	68.84	53.63	61.97
Dev.St. 2024	9.20	22.80	9.73	17.61	17.64	39.02	14.85	23.87	13.26	11.14
Dev.St. 2025	5.61	12.34	5.16	6.87	5.89	28.16	9.60	4.14	6.91	7.37
Minimo 2024	75.00	55.50	75.40	52.40	50.50	29.60	23.70	6.60	22.60	35.20
Minimo 2025	67.70	63.40	71.90	63.90	70.40	39.00	35.60	63.10	44.30	52.30
Massimo 2024	103.00	136.40	109.10	109.20	102.91	150.00	71.50	88.85	75.60	82.10
Massimo 2025	86.20	102.40	85.70	83.40	87.00	142.50	65.00	76.00	65.10	79.80

Nel 2024 in tutte le stazioni tranne il canale Goldone i valori di saturazione erano elevati a febbraio-marzo e minimi a luglio, risalendo poi ad agosto. Il trend spaziale e temporale osservato nel 2024 era coerente con quanto rilevato nel 2022, anno in cui però si rilevavano valori bassi a Rivalta. Nel 2025, l'andamento temporale è simile a quello registrato nel 2024 per il primo trimestre, ma nel 2025 valori elevati sono stati registrati anche in maggio- giugno; i valori sono poi diminuiti e sono rimasti generalmente più bassi fino a settembre, per poi risalire da ottobre. Unica eccezione Mincio Grazie che risente delle dinamiche di ossigeno del lago superiore, e della crescita del fior di loto:

questa stazione la variabilità è stata elevata (

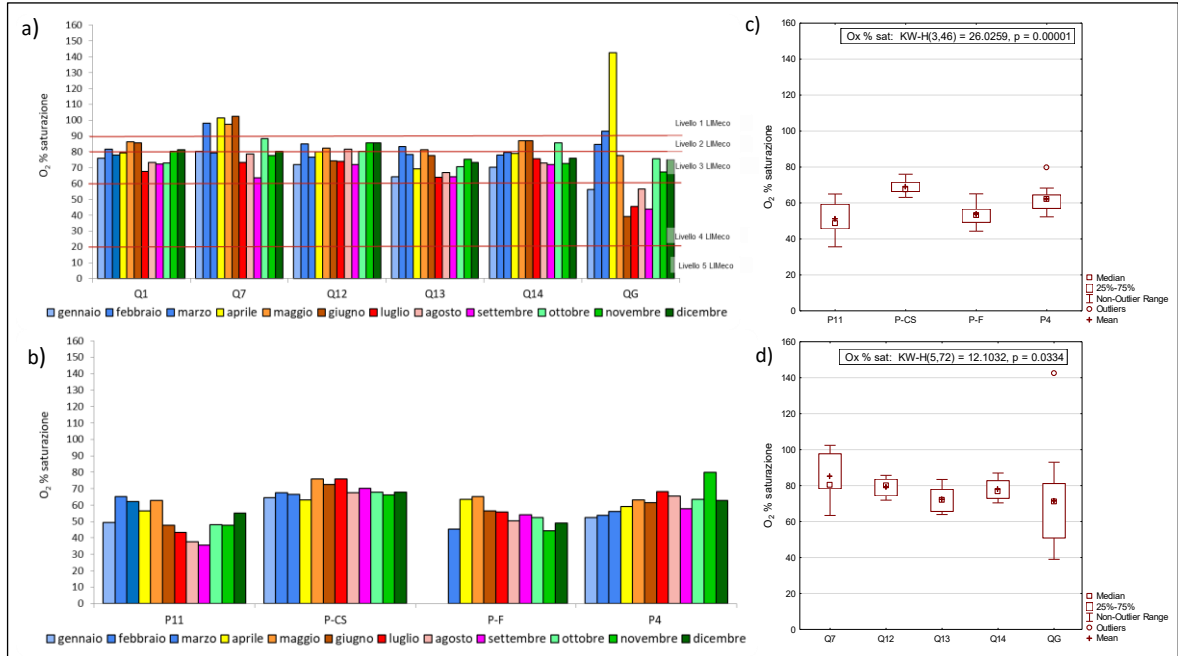


Figura 5b), con valori molto bassi registrati da giugno a settembre.

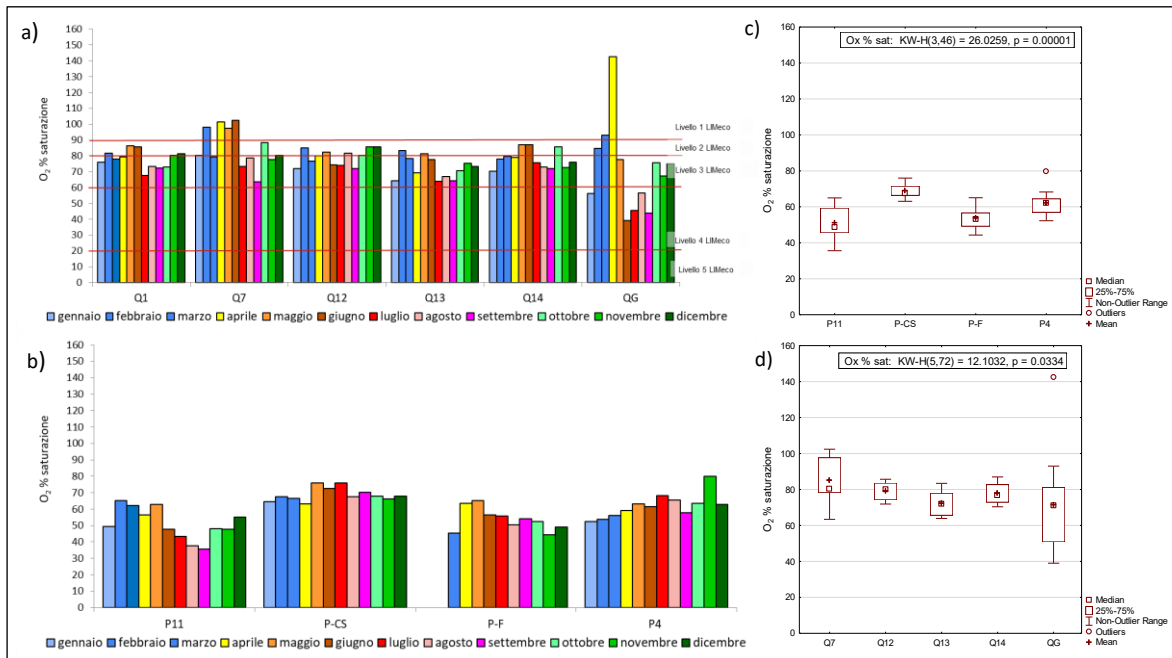


Figura 5. Valori puntuali di percentuale di saturazione dell'ossigeno: a) nelle acque superficiali, e valori di soglia delle 4 classi LIMeco, b) nelle acque di falda; box plot di media, mediana e confronti tra stazioni (test Kruskal-Wallis) in acque c) superficiali, d) di falda.

La percentuale di saturazione di ossigeno disciolto che nel 2024 risultava essere un fattore limitante (= valori in classe 4) nel calcolo dell'indice LIMeco per alcuni mesi (giugno, luglio) o stazioni (Mincio Grazie), nel 2025 rimane limitante a Mincio Grazie da luglio a settembre; nelle altre stazioni i valori sono sempre sopra il livello 3 (70% sat.), e in molti casi al di sopra del livello 2 (80%sat), ma

rispetto al 2024 sono minori i valori a livello 1 (90% saturazione) (quindi valori da buoni a elevati) (

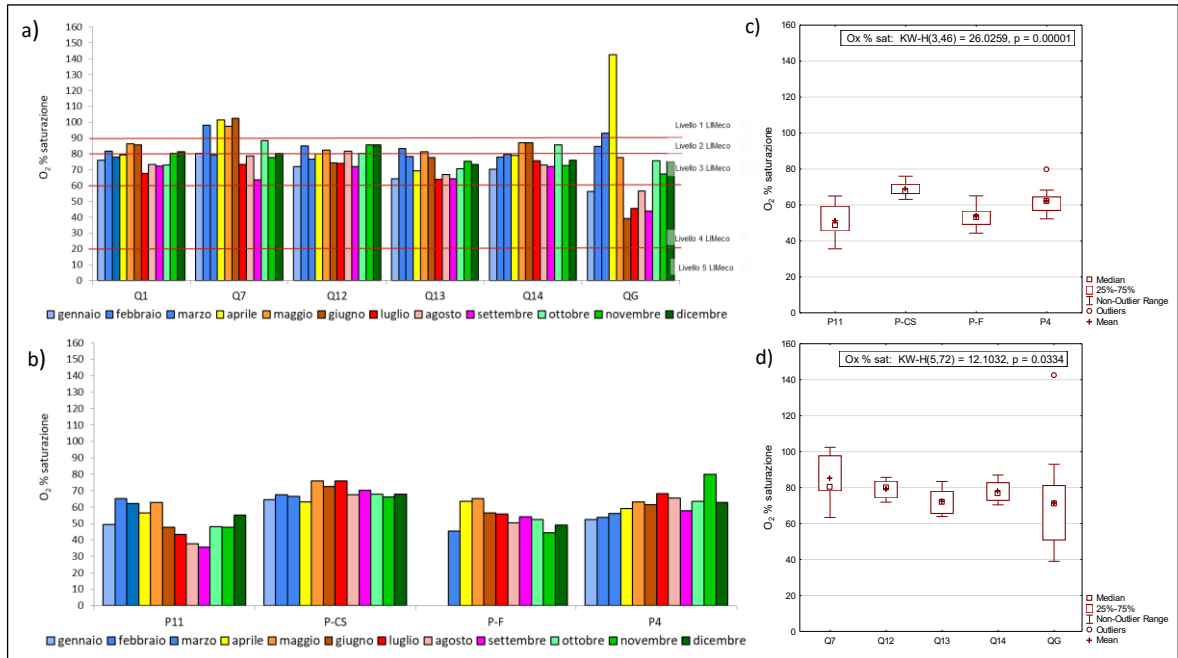


Figura 5a).

Come già verificato nel 2024, anche nel 2025 nelle stazioni di falda la saturazione di ossigeno

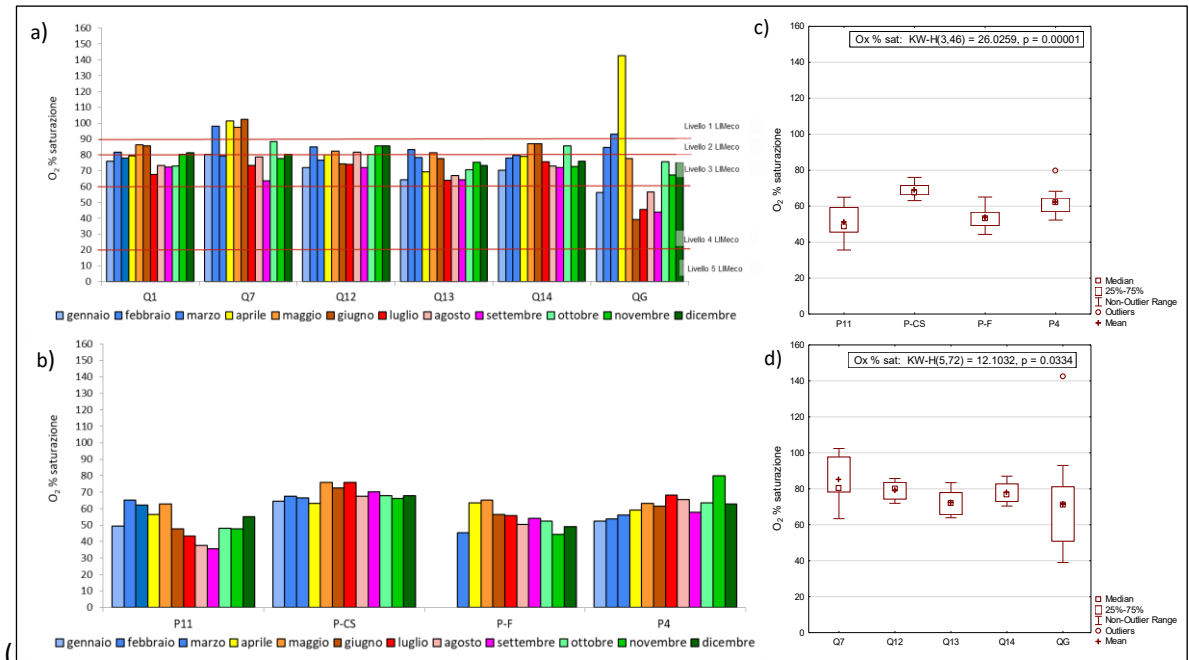


Figura 5b) è sempre inferiore rispetto ai valori di acque superficiali, le differenze tra stazioni sono significative e con percentuali di saturazione proporzionalmente più basse (

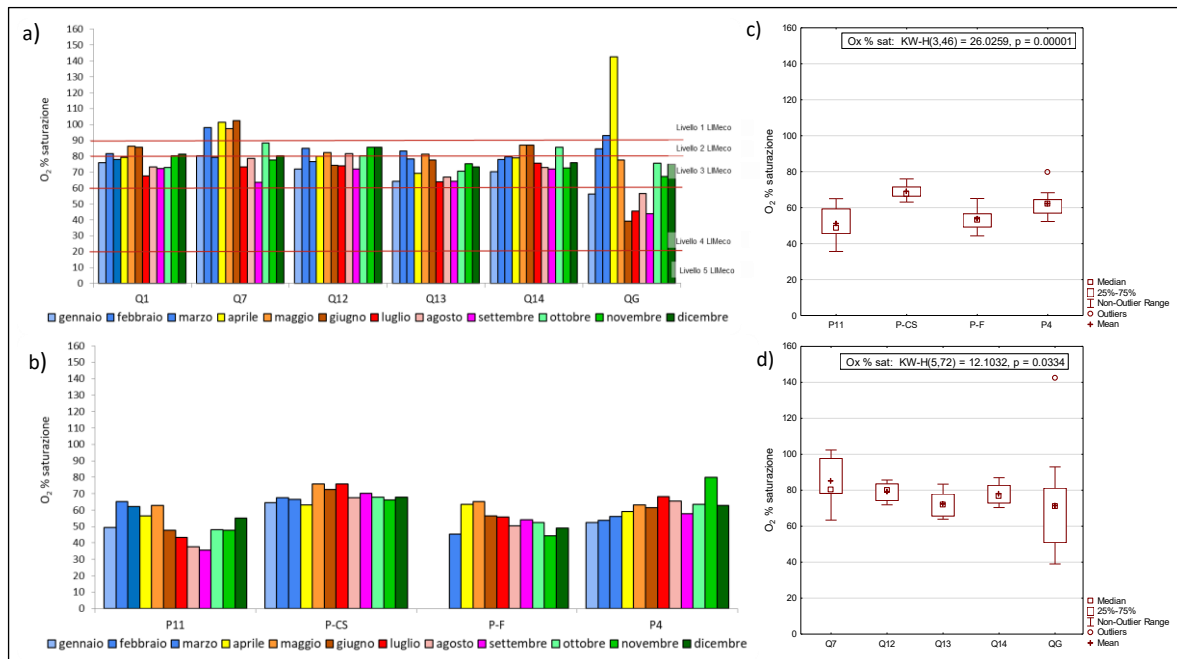


Figura 5d) nei pozzi superficiali (P-F e P11).

3.4. Solidi sospesi

Nel 2025 sono transitati nel sistema Mincio e canali una quantità di solidi sospesi in media inferiore a quella del 2024 (va ricordato che nel 2024 i solidi sospesi sono stati misurati mensilmente da febbraio, quindi per 11 mesi, mentre nel 2025 le misure sono state effettuate per tutti i 12 mesi, non è pertanto possibile confrontare i totali annui), con valori medi di circa 27 mg/L nel 2024, e 21,5 mg/L nel 2025. La concentrazione dei SST e delle componenti minerale è stata meno elevata e meno variabile nel 2025 che nell'anno precedente, sia in media che in tutte le stazioni tranne il canale Goldone in cui la concentrazione della componente minerale ha variato più temporalmente che nel 2024. La materia organica è stata meno concentrata e più variabile in media nel 2025 rispetto al 2024, con valori più concentrati a Pozzolo, Goito e canale Goldone, e maggiore variabilità temporale in tutte le stazioni tranne canale Osone (Tabella 4).

Come già rilevato nel 2024, i dati del 2025 confermano l'aumento della concentrazione dei solidi sospesi, sia come solidi totali che come contenuto in sostanza minerale e sostanza organica, lungo il corso del Mincio e la presenza di elevate concentrazioni nei canali Osone e Goldone (Figura 6) e quindi nelle stazioni a valle della loro confluenza. La materia organica risulta proporzionalmente più abbondante rispetto al 2024 nelle stazioni Mincio e (22,8-39,8% dei SST totali di ogni stazione nel 2025 e 18,6-27,5 % nel 2024), con valori massimi nella stazione Mincio Goito (39,8% dei SST), e proporzionalmente più bassa nei canali (16,4 e 16,7% dei SST rispettivamente nei canali Goldone e Osone, dove il valore è più elevato del 14,4% e 13,5% rilevato nel 2024) (Figura 7). La componente inorganica (minerale) come già rilevato nel 2024, è più elevata sia come valore assoluto che come percentuale nei due canali, dove raggiunge l'83,6% dei solidi totali, valore leggermente più basso dell'85,6% misurato nel 2024 (Figura 7); le stazioni Mincio Rivalta e Grazie hanno di conseguenza una % di componente minerale superiore a quella di Mincio Goito e Pozzolo.

Nel 2025 correlazioni (Spearman R,

	Concentrazione (mg/L)							Carico (Kg/g)						
	M. Pozzolo	M. Goito	C. Goldone	M. Rivalta	C. Osone	M. Grazie		SST	M. Pozzolo	M. Goito	C. Goldone	M. Rivalta	C. Osone	M. Grazie
SST	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	QG	TOTALE	SST	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	TOTALE
Media 2024	6.38	5.62	44.95	17.20	60.47	24.76	26.56	Media 2024	54847	15735	12776	29382	35580	29664
Media 2025	4.26	4.47	43.47	12.81	43.52	18.83	21.23	Media 2025	16938	7281	11752	19028	13936	14321
Dev.St. 2024	2.68	3.12	24.30	6.69	42.84	11.31	28.51	Dev.St. 2024	44628	14032	12147	20740	48487	34374
Dev.St. 2025	1.92	1.60	18.13	6.40	15.21	3.20	23.72	Dev.St. 2025	12452	3822	12053	8228	11803	10938.84
Minimo 2024	2.60	1.80	15.00	6.30	5.90	7.60	1.80	Minimo 2024	8023	2506	1612	7831	969	969
Minimo 2025	1.51	2.10	31.61	4.70	26.41	10.89	1.51	Minimo 2025	2332	2383	1857	8986	2876	1857
Massimo 2024	10.70	10.60	87.60	30.50	139.45	43.17	139.45	Massimo 2024	146056	43901	39471	79944	143394	146056
Massimo 2025	9.30	9.50	136.32	20.00	94.88	39.29	136.32	Massimo 2025	46808	16690	43872	35878	36738	46808
Minerale	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	QG	TOTALE	Minerale	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	TOTALE
Media 2024	4.88	4.07	38.47	14.00	52.28	19.66	22.23	Media 2024	42734	11689	10939	23945	30989	24059
Media 2025	2.65	2.69	36.34	9.89	36.24	14.27	17.01	Media 2025	10790	4413	9827	14721	11673	10765
Dev.St. 2024	2.32	2.66	21.24	5.67	38.08	9.69	25.11	Dev.St. 2024	36845	11494	10335	17361	42489	28859
Dev.St. 2025	1.42	1.69	25.76	3.63	23.28	8.02	20.11	Dev.St. 2025	8365	3090	9932	6215	10225	8681.20
Minimo 2024	1.50	1.10	12.17	5.00	3.60	4.10	1.10	Minimo 2024	6145	1531	1321	6313	591	591
Minimo 2025	0.19	0.48	15.33	5.40	10.00	1.60	0.19	Minimo 2025	291	799	1570	6932	1890	291
Massimo 2024	8.70	8.70	76.60	25.50	121.82	36.00	121.82	Massimo 2024	118756	36032	32955	66838	125259	125259
Massimo 2025	6.10	6.50	111.58	15.51	83.66	25.64	111.58	Massimo 2025	30702	11420	35911	26460	31486	35911
Materia organica	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	QG	TOTALE	Materia organica	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	TOTALE
Media 2024	1.49	1.54	6.47	3.20	8.19	5.11	4.33	Media 2024	12113	4045	1837	5437	4591	5605
Media 2025	1.61	1.78	7.13	2.92	7.28	4.57	4.21	Media 2025	6148	2868	1925	4307	2263	3502
Dev.St. 2024	0.41	0.58	3.20	1.08	4.80	2.04	3.51	Dev.St. 2024	7935	2715	1849	3429	6002	5894
Dev.St. 2025	0.76	0.75	5.91	1.23	3.36	3.49	3.86	Dev.St. 2025	4550	1260	2140	2194	1641	2977
Minimo 2024	0.83	0.60	2.80	1.30	2.30	2.10	0.60	Minimo 2024	1878	975	291	1518	370	291
Minimo 2025	0.50	0.90	2.80	0.80	4.20	1.60	0.50	Minimo 2025	1691	1191	287	1618	799	287
Massimo 2024	2.10	2.30	12.73	5.00	17.64	17.64	17.64	Massimo 2024	27300	8809	6516	13106	18135	27300
Massimo 2025	3.20	3.10	24.74	5.25	15.62	14.29	24.74	Massimo 2025	16106	5271	7961	9418	6164	16106

Tabella 5) significative e positive si riscontrano tra la concentrazione dei solidi sospesi totali e delle componenti minerale e organica nella stazione più a valle (Mincio Grazie) e quella misurata nei due canali e a Mincio Rivalta. La concentrazione della componente organica a Mincio Rivalta correla con quella del canale Goldone, e correlano anche le concentrazioni dei due canali (a conferma di un simile trend temporale e di valori). Le correlazioni indicate, quindi, confermano il ruolo dei canali nell'arricchimento di concentrazione di solidi sospesi, e soprattutto della componente inorganica che causa il progressivo aumento di concentrazione nel Mincio a Rivalta e a Grazie. Nel 2024 le correlazioni erano diverse (la concentrazione di Mincio Goito correlava con la concentrazione a Pozzolo, e la concentrazione Mincio Grazie con quella misurata nel Mincio a Pozzolo e a Goito), ma confermavano comunque un trend di accumulo monte-valle, a differenza di quanto osservato nel 2022, anno in cui le concentrazioni dei solidi sospesi misurate erano molto eterogenee, sia durante il periodo di monitoraggio che tra le varie stazioni.

Nelle 4 stazioni Mincio si osserva una distribuzione temporale simile nella concentrazione dei SST e della frazione organica (Figura 6), con picchi a settembre (e a luglio, per la materia organica) a Pozzolo e Goito, e valori elevati da aprile a settembre a Rivalta e Grazie, dovuti agli apporti dai canali, particolarmente cospicui nel mese di luglio. La componente minerale è anch'essa più abbondante a Pozzolo e Goito in settembre, ma apporti cospicui dai canali da aprile a settembre con picchi nei mesi di luglio (canale Goldone) luglio agosto (canale Osone) e dicembre (canale Goldone) mantengono alta la concentrazione nelle stazioni Rivalta e Grazie. Tali picchi corrispondono agli eventi piovosi di maggio e alla ripresa delle piogge in agosto, con il conseguente apporto dovuto al run-off superficiale. Anche nel 2024 si sono osservati picchi nella concentrazione di solidi sospesi nei canali in risposta alla ripresa delle piogge verificatasi in settembre e ottobre. Le correlazioni (Tabella 6) tra portate transitive e concentrazioni misurate sono significativamente positive tra la portata del Canale Goldone e la concentrazione di SST e delle componenti minerale e organica a Mincio Grazie; correlano anche i due canali a causa delle dinamiche temporali e valori assoluti simili. Il trasporto solido segue le variazioni di portata (Figura 8) anche per quel che riguarda le risposte temporali, con l'eccezione del picco di solidi sospesi registrato nel canale Goldone in luglio che non corrisponde a un picco di portata.

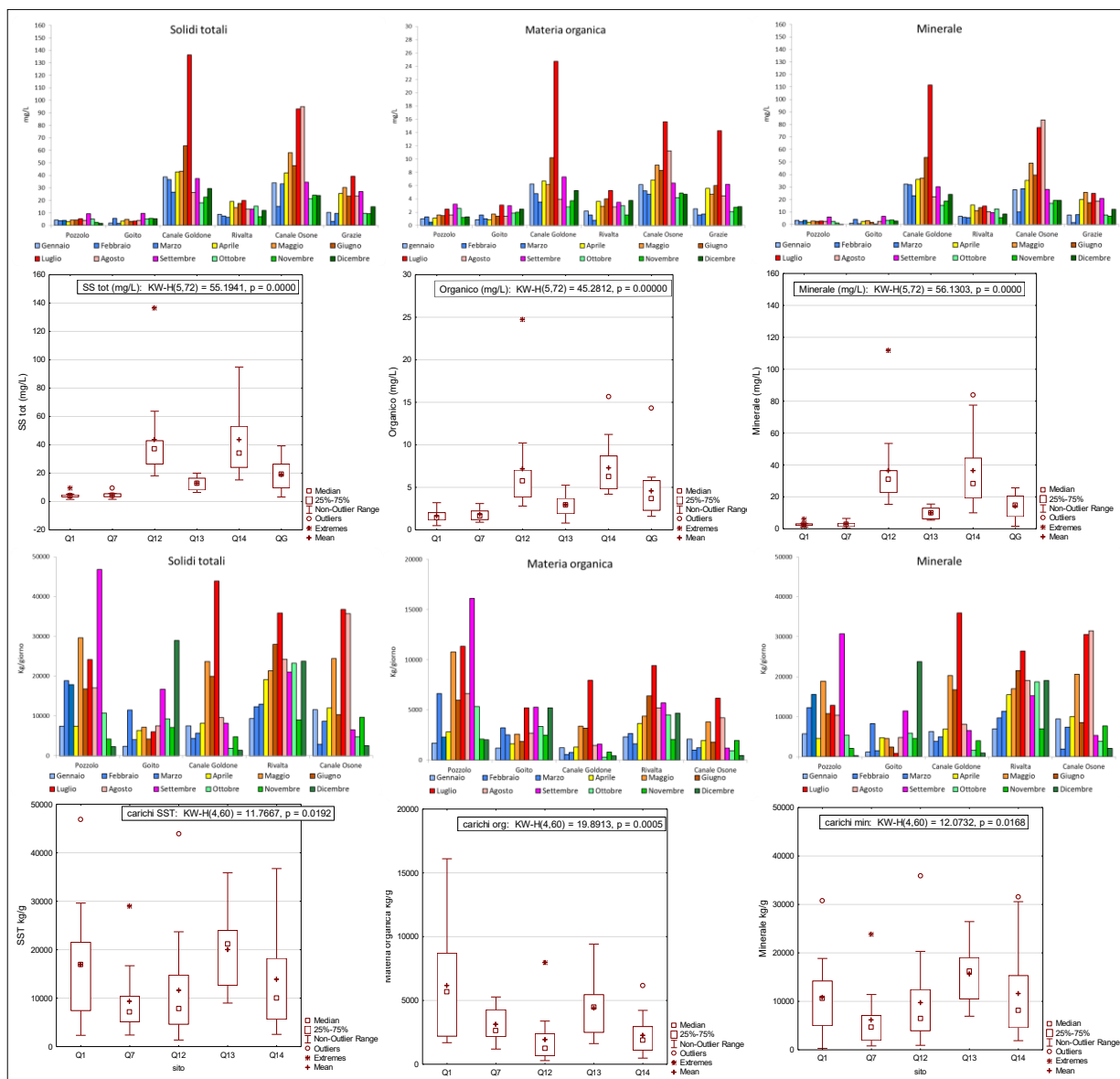


Figura 6. Valori mensili, box-plot e confronti tra stazioni (test Kruskal-Wallis) di concentrazioni (mg/L) e carico (kg/giorno) dei solidi sospesi totali e delle componenti minerale e organica.

Tabella 4. Confronto dei valori di concentrazione e carico dei solidi sospesi totali (SST), della componente minerale e organica, misurati negli anni 2024 e 2025.

SST	Concentrazione (mg/L)							Carico (Kg/g)						
	M. Pozzolo	M. Goito	C. Goldone	M. Rivalta	C. Osone	M. Grazie	TOTALE	SST	M. Pozzolo	M. Goito	C. Goldone	M. Rivalta	C. Osone	M. Grazie
Media 2024	6.38	5.62	44.95	17.20	60.47	24.76	26.56	Media 2024	54847	15735	12776	29382	35580	29664
Media 2025	4.26	4.47	43.47	12.81	43.52	18.83	21.23	Media 2025	16938	7281	11752	19028	13936	14321
Dev.St. 2024	2.68	3.12	24.30	6.69	42.84	11.31	28.51	Dev.St. 2024	44628	14032	12147	20740	48487	34374
Dev.St. 2025	1.92	1.60	18.13	6.40	15.21	3.20	23.72	Dev.St. 2025	12452	3822	12053	8228	11803	10938.84
Minimo 2024	2.60	1.80	15.00	6.30	5.90	7.60	1.80	Minimo 2024	8023	2506	1612	7831	969	969
Minimo 2025	1.51	2.10	31.61	4.70	26.41	10.89	1.51	Minimo 2025	2332	2383	1857	8986	2876	1857
Massimo 2024	10.70	10.60	87.60	30.50	139.45	43.17	139.45	Massimo 2024	146056	43901	39471	79944	143394	146056
Massimo 2025	9.30	9.50	136.32	20.00	94.88	39.29	136.32	Massimo 2025	46808	16690	43872	35878	36738	46808
Minerale	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	QG	TOTALE	Minerale	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	TOTALE
Media 2024	4.88	4.07	38.47	14.00	52.28	19.66	22.23	Media 2024	42734	11689	10939	23945	30989	24059
Media 2025	2.65	2.69	36.34	9.89	36.24	14.27	17.01	Media 2025	10790	4413	9827	14721	11673	10765
Dev.St. 2024	2.32	2.66	21.24	5.67	38.08	9.69	25.11	Dev.St. 2024	36845	11494	10335	17361	42489	28859
Dev.St. 2025	1.42	1.69	25.76	3.63	23.28	8.02	20.11	Dev.St. 2025	8365	3090	9932	6215	10225	8681.20
Minimo 2024	1.50	1.10	12.17	5.00	3.60	4.10	1.10	Minimo 2024	6145	1531	1321	6313	591	591
Minimo 2025	0.19	0.48	15.33	5.40	10.00	1.60	0.19	Minimo 2025	291	799	1570	6932	1890	291
Massimo 2024	8.70	8.70	76.60	25.50	121.82	36.00	121.82	Massimo 2024	118756	36032	32955	66838	125259	125259
Massimo 2025	6.10	6.50	111.58	15.51	83.66	25.64	111.58	Massimo 2025	30702	11420	35911	26460	31486	35911
Materia organica	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	QG	TOTALE	Materia organica	Q1	Q7	Q12	Q13	Q14	TOTALE
Media 2024	1.49	1.54	6.47	3.20	8.19	5.11	4.33	Media 2024	12113	4045	1837	5437	4591	5605
Media 2025	1.61	1.78	7.13	2.92	7.28	4.57	4.21	Media 2025	6148	2868	1925	4307	2263	3502
Dev.St. 2024	0.41	0.58	3.20	1.08	4.80	2.04	3.51	Dev.St. 2024	7935	2715	1849	3429	6002	5894
Dev.St. 2025	0.76	0.75	5.91	1.23	3.36	3.49	3.86	Dev.St. 2025	4550	1260	2140	2194	1641	2977
Minimo 2024	0.83	0.60	2.80	1.30	2.30	2.10	0.60	Minimo 2024	1878	975	291	1518	370	291
Minimo 2025	0.50	0.90	2.80	0.80	4.20	1.60	0.50	Minimo 2025	1691	1191	287	1618	799	287
Massimo 2024	2.10	2.30	12.73	5.00	17.64	17.64	17.64	Massimo 2024	27300	8809	6516	13106	18135	27300
Massimo 2025	3.20	3.10	24.74	5.25	15.62	14.29	24.74	Massimo 2025	16106	5271	7961	9418	6164	16106

Tabella 5. Correlazione (R Spearman) tra solidi sospesi totali (SST) e componente organica (Org) e minerale (Min) di ogni stazione. I valori in rosso sono significativi con $p < 0.05$.

	Q1 SST	Q7 SST	Q12 SST	Q13 SST	Q14 SST	QG SST	Q1 Org	Q7 Org	Q12 Org	Q13 Org	Q14 Org	QG Org	Q1 Min	Q7 Min	Q12 Min	Q13 Min	Q14 Min	QG Min	
Q1 SST	1.000																		
Q7 SST	-0.049	1.000																	
Q12 SST	0.322	-0.329	1.000																
Q13 SST	0.406	-0.168	0.566	1.000															
Q14 SST	0.357	-0.392	0.559	0.573	1.000														
QG SST	0.469	-0.175	0.741	0.706	0.811	1.000													
Q1 Org							1.000												
Q7 Org							0.687	1.000											
Q12 Org							0.217	0.144	1.000										
Q13 Org							0.522	0.404	0.715	1.000									
Q14 Org							0.294	-0.007	0.671	0.389	1.000								
QG Org							0.510	0.375	0.818	0.792	0.720	1.000							
Q1 Min													1.000						
Q7 Min													-0.238	1.000					
Q12 Min													0.287	-0.399	1.000				
Q13 Min													0.021	-0.266	0.538	1.000			
Q14 Min													0.291	-0.578	0.487	0.532	1.000		
QG Min													0.357	-0.252	0.580	0.643	0.806	1.000	

Tabella 6. Correlazioni (R Spearman) tra concentrazione e carichi di solidi totali (TSS), materia organica (MO), componente minerale (Min) e portata (Q). In rosso: correlazioni significative con $p < 0.0500$.

	Correlazioni concentrazione/portata					Correlazioni carico/portata				
	Q Q1	Q Q7	Q Q12	Q Q13	Q Q14	Q Q1	Q Q7	Q Q12	Q Q13	Q Q14
Q1 SST	0.392					Q1car SST	0.930			
Q7 SST	0.182	-0.126				Q7car SST	0.832	0.343		
Q12 SST	0.364	-0.182	0.448			Q12car SST	0.881	0.000	0.867	
Q13 SST	0.119	-0.042	0.252	-0.091		Q13car SST	0.483	0.273	0.503	0.490
Q14 SST	0.322	0.014	0.860	0.322	0.566	Q14car SST	0.615	-0.035	0.748	0.189
QG SST	0.364	-0.133	0.636	0.077	0.294	Q1car MO	0.252			
Q1 MO	0.336					Q7car MO	0.483	0.392		
Q7 MO	0.172	-0.315				Q12car MO	0.434	-0.175	0.874	
Q12 MO	0.210	-0.294	0.399			Q13car MO	0.483	-0.084	0.434	0.224
Q13 MO	-0.084	-0.361	0.119	-0.249		Q14car MO	0.441	-0.049	0.783	0.273
Q14 MO	0.497	0.063	0.832	0.357	0.503	Q1car Min	0.287			
QG MO	0.203	-0.280	0.594	0.000	0.210	Q7car Min	0.406	0.371		
Q1 Min	0.434					Q12car Min	0.168	0.000	0.867	
Q7 Min	0.161	-0.028				Q13car Min	0.231	0.287	0.476	0.448
Q12 Min	0.371	-0.154	0.413			Q14car Min	0.154	-0.007	0.755	0.196
Q13 Min	0.126	0.049	0.203	-0.091						
Q14 Min	0.343	0.109	0.837	0.403	0.539					
QG Min	0.434	-0.035	0.671	0.140	0.329					

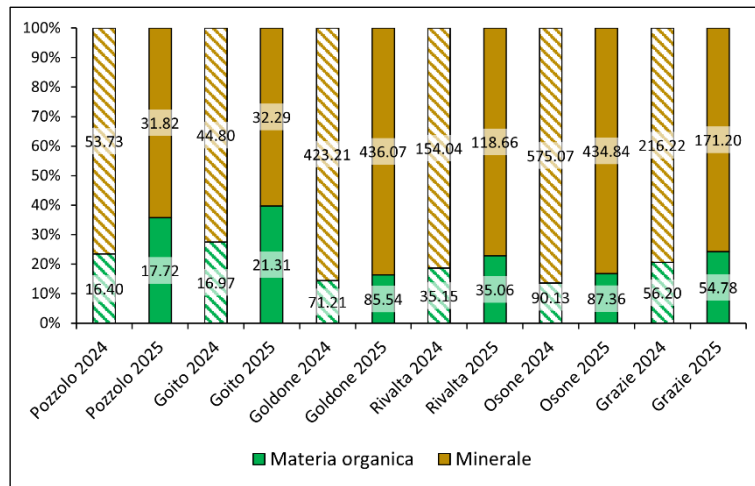


Figura 7. Composizione percentuale delle componenti minerale o organica del sedimento trasportato, anni 2024 e 2025.

I valori di concentrazione dei solidi sono stati utilizzati unitamente ai dati di portata per calcolare i carichi trasportati espressi in kg/giorno (Tabella 7). I carichi di solidi sospesi raggiungono valori elevati (Figura 8, Tabella 7) con un intervallo di variabilità molto ampio, da 1857 (canale Goldone, Ottobre) a 46808 (Mincio Pozzolo, Settembre) kg/g, quindi con un intervallo più ridotto rispetto al 2024, quando i valori riscontrati erano di 970 e 146056 kg/giorno (Canale Osone a novembre e Pozzolo a maggio, rispettivamente), e sono sempre al di sotto dei valori massimi di circa 60000 kg/giorno registrati l'8/8/2022 a Pozzolo. In generale, come per le concentrazioni, i carichi di solidi sospesi e della componente minerale (

Tabella 4) sono in media inferiori (con una media annuale di 27775 kg/giorno nel 2024 e di 14273 kg/giorno nel 2025), e con minore variabilità temporale nel 2025 rispetto al 2024. Anche i carichi di materia organica sono mediamente minori e meno variabili tranne che per il canale Goldone, che nel 2025 ha trasportato più materia organica del 2024, e con maggiore variabilità temporale.

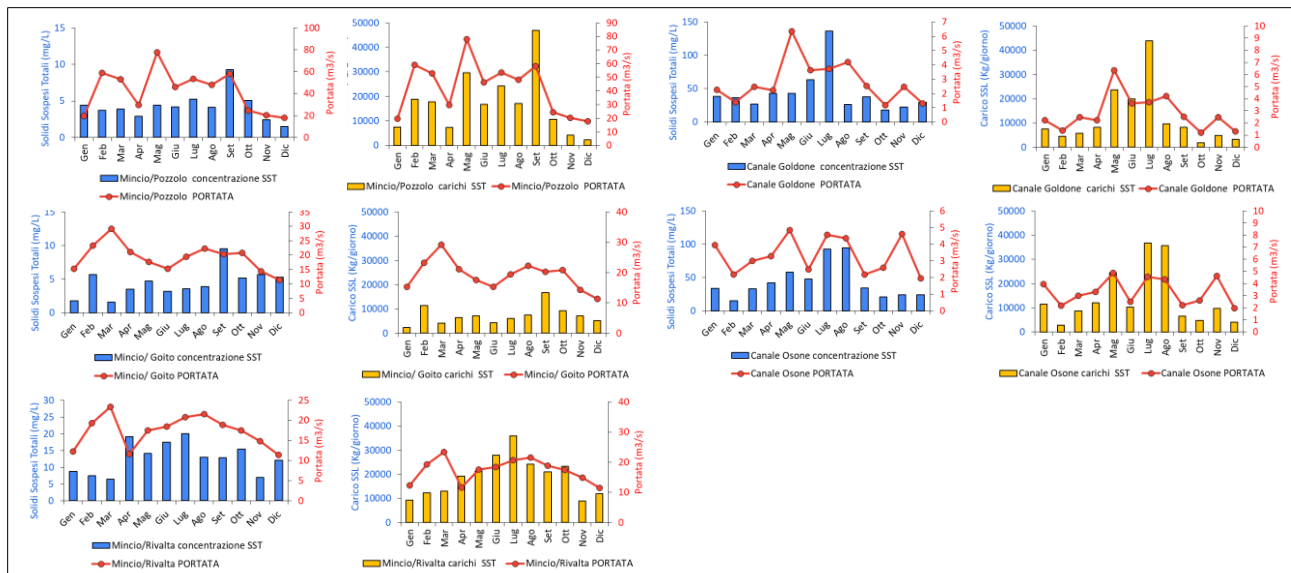


Figura 8. Valori mensili di concentrazione (mg/L) e carichi (kg/giorno) dei solidi sospesi totali e diportata (m³/s), per ogni stazione in cui è stata misurata la portata.

Come nel 2024, il carico di sedimenti lungo il Mincio è stato elevato a Pozzolo (massimo nel 2024), minimo a Goito e massimo a Rivalta (Figura 6). Il carico di solidi è variato mensilmente (Figura 6) in relazione alla portata (Figura 8), questo processo è particolarmente rilevante nei canali, dove i carichi di solidi sospesi e della componente minerale e organica correlano in modo positivo e significativo ($p < 0.05$) con la rispettiva

portata; nelle stazioni Mincio tale correlazione è presente per Mincio Pozzolo; inoltre i carichi del canale Goldone correlano anche con la portata transitante nel canale Osone, a causa delle stesse dinamiche temporali e valori simili tra i due canali (Tabella 6). Non si registrano nel 2025 le correlazioni tra i solidi transitanti a Goito e le portate misurate a Pozzolo e Pozzolo Valle registrate nel 2024.

Tabella 7. Valori dei carichi di solidi sospesi e portata, in rosso il periodo irriguo. N.R.= non rilevato.

	Carico SST (Kg/g)	Portata (m ³ /s)	Carico SST (Kg/g)	Portata (m ³ /s)	Carico SST (Kg/g)	Portata (m ³ /s)	Carico SST (Kg/g)	Portata (m ³ /s)	Carico SST (Kg/g)	Portata (m ³ /s)
Gen	7440	19.6	2383	15.3	7495	2.2	9326	12.3	11555	3.95
Feb	18874	59.0	11482	23.3	4405	1.4	12338	19.3	2876	2.19
Mar	17858	53.0	4042	29.2	5691	2.5	12945	23.4	8639	3.01
Apr	7415	29.6	6372	21.1	8207	2.2	19143	11.6	11975	3.30
Mag	29629.3	77.9	7142	17.6	23698	6.4	21348	17.5	24436	4.86
Giu	16760	46.2	4242	15.3	19944	3.6	27961	18.5	10320	2.50
Lug	24189	53.4	5996	19.4	43872	3.7	35878	20.8	36738	4.57
Ago	17025	48.1	7502	22.3	9561	4.2	24249	21.6	35708	4.36
Set	46808	58.3	16690	20.3	8181	2.5	20979	18.8	6537	2.19
Ott	10711	24.4	9253	20.8	1857	1.2	23234	17.5	4740	2.59
Nov	4212	20.3	7063	14.3	4814	2.5	8986	14.9	9651	4.63
Dic	2332	17.9	5202	11.4	3301	1.3	11947	11.5	4060	1.96
Totale	203253	507.6	87368	230.5	141025	33.7	228336	207.5	167234	40.09
max	46808	78	16690	29	43872	6	35878	23	36738	5
min	2332	18	2383	11	1857	1	8986	11	2876	2

Nel 2022 era stata riscontrato un aumento costante dei carichi dei solidi sospesi da monte a valle del tratto di Mincio investigato da Pozzolo al ponte dei Mulini nel periodo pre-irriguo (da ottobre ad aprile); durante il periodo irriguo (da maggio a settembre), le quantità di solidi sospesi trasportati erano cresciute considerevolmente, con l'eccezione di valori insolitamente bassi a Goito. Nel 2024, l'inizio del periodo irriguo, a causa del forte apporto meteorico tardo primaverile, era stato posticipato a inizio luglio e si era verificata invece una forte riduzione del trasporto solido totale e delle due componenti minerale e organica durante il periodo irriguo. Nel 2025 (Figura 9 a-c) il trasporto solido è aumentato (quasi triplicando i valori di carico) significativamente durante il periodo irriguo, riducendosi di nuovo significativamente al termine di tale periodo, lo stesso si è verificato anche per le componenti minerale e organica (Tabella 8). Da notare come, nel periodo irriguo (Figura 9b) a Rivalta il trasporto solido è determinato anche dall'elevato apporto del canale Goldone. I picchi di carico di solidi totali registrati dal canale Goldone a valle nel periodo maggio-luglio sono dovuti al trasporto di materiale minerale (Figura 6), come già indicato precedentemente.

Tabella 8. Confronti (Mann Whitney U test) tra valori dei carichi totali misurati tra periodo irriguo e non irriguo, e tra le diverse fasi (pre-irriguo, irriguo, post-irriguo). In rosso i valori significativi con $p < 0,05$.

	Irriguo vs Non irriguo		Pre vs Irriguo		Irriguo vs post irriguo		Pre vs post irriguo	
	Z	p-value	Z	p-value	Z	p-value	Z	p-value
Carichi SST	-3.749	0.000	-3.255	0.001	2.989	0.003	0.850	0.395
Carichi Materia organica	-3.988	0.000	-3.735	0.000	2.850	0.004	-0.217	0.828
Carichi minerale	-3.464	0.001	-2.935	0.003	2.850	0.004	1.117	0.264

Differisce la composizione del sedimento trasportato (Figura 9d), il canale Goldone e Osone trasportano proporzionalmente più materiale minerale (84% del totale), aumentando quindi la proporzione anche a Mincio Rivalta (78%); a Pozzolo e Goito è presente in proporzione una quantità maggiore di materia organica rispetto alle altre stazioni.

I dati appena esposti indicano che: i) nel sottobacino afferente al Mincio naturale a Monte della confluenza con il canale Goldone si verifica un input di materia organica, per dilavamento superficiale; ii) i due canali raccolgono, e veicolano in Mincio, soprattutto nel periodo irriguo, una quantità di sedimento principalmente minerale.

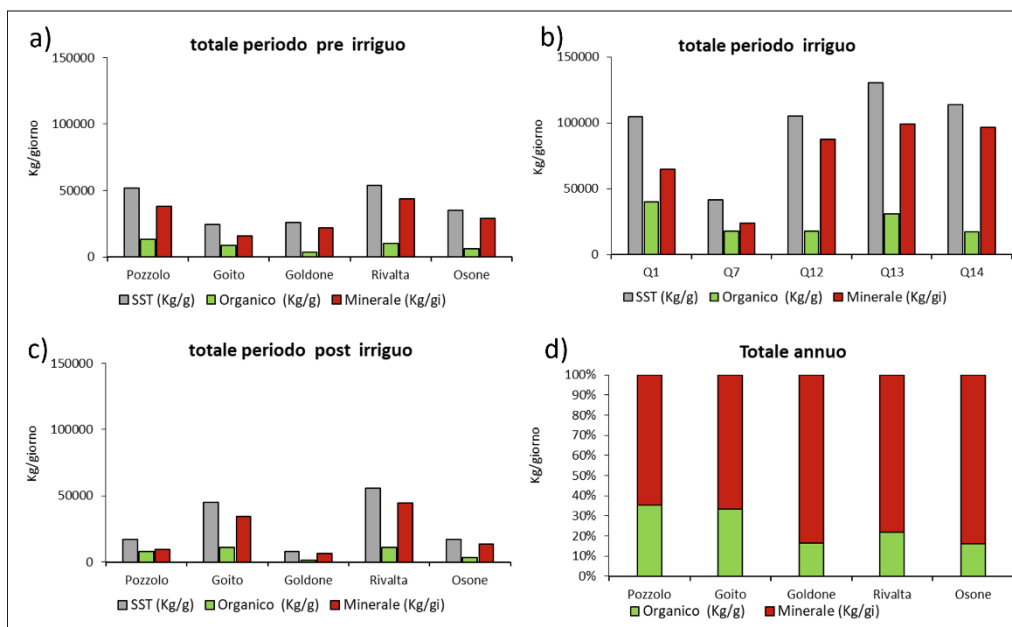


Figura 9. Carichi di solidi sospesi totali, di materia organica e minerale, calcolati: a) per il periodo pre-irriguo (gennaio-marzo), b) irriguo (aprile-settembre), c) post-irriguo (ottobre-dicembre); d) composizione percentuale in materia organica e minerale dei carichi annui.

Il calcolo della differenza tra i carichi annui stimati transitare a Pozzolo Valle e Goito (ottenuti estrapolando dal valore medio di kg/giorno calcolato sui 12 mesi, e moltiplicato per 365) permette di ottenere una stima grossolana della quantità di sedimenti che sono transitati nel Mincio naturale e, per differenza, nello scaricatore di Pozzolo (Figura 10). Nel 2024 circa 6457 tonn/anno sono transitate a Pozzolo Valle, e 5743 a Goito, con una differenza di 713 tonn/anno di solidi totali depositati nel tratto di Mincio naturale compreso tra le due stazioni, costituiti da 768 tonn/anno di materiale minerale depositato, 55 tonn/anno di materia organica esportata verso valle (Figura 10,

Tabella 9). Le dinamiche di trasporto, deposizione ed esportazione sono state molto diverse nel 2025: circa 2556 tonn/anno di SST sono transitate a Pozzolo Valle, e 2657 a Goito, con una differenza di 101 tonn/anno di solidi totali esportati dal tratto di Mincio naturale compreso tra le due stazioni, costituiti da 32 tonn/anno di materiale minerale depositato nel tratto e 133 tonn/anno di materia organica esportate verso valle (Figura 10,

Tabella 9).

Similmente, la quantità di sedimenti che ha transitato per lo scaricatore di Pozzolo può essere calcolata dalla differenza dei carichi annuali stimati transitare a Pozzolo Monte e quelli transitanti a Pozzolo Valle. Per il 2024 i valori rispettivi di 20019 e 6457 tonn/anno danno una stima di 13563 ton/anno, per il 2025 i valori rispettivi di 6182 e 2556 tonn/anno danno una stima di 3626 ton/anno (circa $\frac{1}{4}$ della quantità transitata nel 2024).

Nei mesi di novembre e dicembre 2025 sono stati misurati i solidi sedimentabili nel canale Osone e Goldone. I valori sono stati calcolati con due metodi: dopo 30' di sedimentazione, come da protocollo Regione Lombardia, e dopo 60', come da APHA 2023. I valori rilevati sono molto bassi, come da Tabella 10. Tuttavia, il dato, calcolato in due mesi di basso trasporto quali novembre e dicembre, è poco indicativo, si consiglia per un eventuale futuro proseguimento delle analisi, di inserire i solidi sedimentabili nei valori monitorati mensilmente.

Tabella 9. Differenza tra i carichi misurati a Pozzolo Valle e Goito: stima delle tonnellate/anno basata sul valore medio di kg/g.

2024	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	media kg/g	ton/anno		
NH4	9	-13	22	71	25	57	107	22	97	75	20	31	44	16	44	assorbito nel tratto
NO2	19	-15	14	-8	-13	-36	-140	19	39	70	310	10	23	8	8	assorbito nel tratto
NO3	-2658	-3883	-4326	-5649	-14621	-10831	-18797	-10278	-3241	-18844	-8026	-5842	-8916	-3254	8	arricchimento nel tratto (export)
Ntot	-1170	-1018	-1012	-1201	-3207	-1811	-3407	-2034	-500	-3374	-2574	-1689	-1917	-700	8	arricchimento nel tratto (export)
Ptot	-21	-11	-27	0	2	-74	-317	-86	6	186	-123	27	-36	-13	8	arricchimento nel tratto (export)
Sio2	-412	-76	469	-747	-589	-2209	-3023	-2295	-674	-2855	-1568	-1188	-1264	-461	8	arricchimento nel tratto (export)
SRP	57	-34	-40	-17	-59	34	-316	-120	-39	4	-430	33	-77	-28	8	arricchimento nel tratto (export)
Peso secco		-1581	-543	-400	11704	1889	15075	3737	6809	-19266	792	3284	1955	713	8	deposita nel tratto
Materia organica		-1556	-1126	96	108	-728	1020	448	886	-2023	849	381	-150	-55	8	arricchimento nel tratto (export)
Minerale		-25	584	-496	11596	2617	14055	3289	5923	-17243	-57	2904	2104	768	8	deposita nel tratto
2025	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	media kg/g	ton/anno		
NH4	3	135	0	-50	-177	83	-117	74	-46	-23	55	48	-1	-0.4	8	arricchimento nel tratto (export)
NO2	-13	12	1	22	-12	27	54	-5	-2	-189	-14	-34	-13	-5	8	arricchimento nel tratto (export)
NO3	-6853	-4803	-2501	-6666	-6484	-16742	-19027	-21361	-11405	-10072	-5527	-4432	-9656	-3524	8	arricchimento nel tratto (export)
Ntot	-1620	-413	-1446	-1969	-1820	-3758	-3957	-4944	-3192	-2793	-1244	-1122	-2357	-860	8	arricchimento nel tratto (export)
Ptot	2	-6	-19	-15	-21	-22	-20	-45	-48	-61	-27	-71	-29	-11	8	arricchimento nel tratto (export)
Sio2	-1254	497	-179	-208	-1358	-2001	-2617	-4937	-2975	-3063	-1108	-460	-1639	-598	8	arricchimento nel tratto (export)
SRP	-76	2	-52	7	-58	-41	-72	-109	-143	-165	-65	-71	-68	-25	8	arricchimento nel tratto (export)
Peso secco	1849	-1253	6014	-1814	-679	1785	3501	-1837	-2608	-3181	-4598	-500	-277	-101	8	arricchimento nel tratto (export)
Materia organica	-230	371	-1237	90	-233	297	-745	-482	-425	-305	-1246	-232	-365	-133	8	arricchimento nel tratto (export)
Minerale	2078	-1624	7251	-1904	-446	1489	4246	-1355	-2183	-2875	-3352	-268	88	32	8	deposita nel tratto

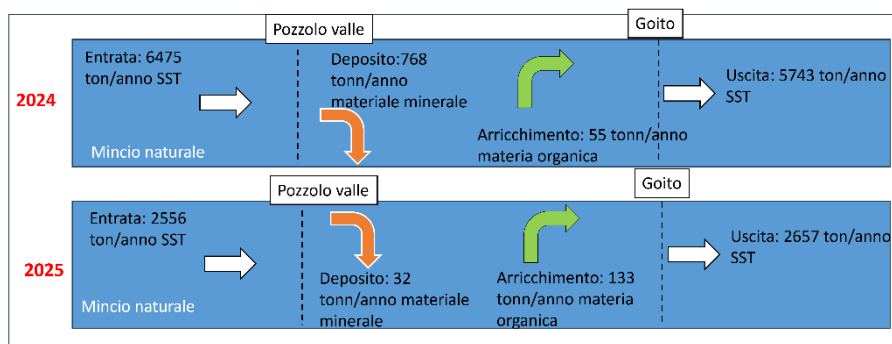


Figura 10. Rappresentazione schematica della dinamica dei sedimenti nel tratto di Mincio Naturale compreso tra Pozzolo e Goito, per gli anni 2024 e 2025.

Tabella 10. Valori di solidi sedimentabili, stazioni Canale Goldone e Canale Osone, novembre e dicembre 2025.

	Canale Goldone Novembre 2025			Canale Osone Novembre 2025			Canale Goldone Dicembre 2025			Canale Osone Dicembre 2025		
	Q12-R1	Q12-R2	Q12-R3	Q14-R1	Q14-R2	Q14-R3	Q12-R1	Q12-R2	Q12-R3	Q14-R1	Q14-R2	Q14-R3
T sedimentazione 30'	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2 (0.15)	0.1	<0.2 (0.15)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
T sedimentazione 60'	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.2 (0.15)	<0.2 (0.15)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

3.5 Concentrazione nutrienti silice

3.5.1. Analisi delle Componenti Principali

L'analisi della concentrazione dei nutrienti e della silice mostra differenze tra acque superficiali e di falda. Al fine di dare una iniziale interpretazione dei gradienti di concentrazione dei nutrienti nelle due tipologie di campioni, e identificare i trend di arricchimento su base spaziale, i dati sono stati inizialmente analizzati mediante Analisi delle Componenti Principali (PCA). La PCA è una tecnica di statistica multivariata che permette di ridurre la dimensionalità dei dati, trasformando un set di variabili correlate in un set ridotto di variabili non correlate (le componenti principali) che catturano la maggior parte della varianza originale, semplificando l'analisi. Il fine è di identificare differenze tra gruppi di campioni o tra stazioni, basate sul fattore o sull'insieme di più fattori, che in tali gruppi/stazioni hanno valori più elevati; nei grafici biplot il gradiente di aumento di ogni fattore è rappresentato dai vettori. La direzione e la lunghezza dei vettori indicano i carichi delle variabili, ovvero il contributo di ciascuna variabile alle componenti principali: se una variabile ha un carico elevato per una determinata componente, è fortemente correlata a quella componente. Nell'interpretazione dell'analisi, sono state selezionate le variabili con correlazione >0,5 (Figura 11). Una prima analisi, condotta sui dati relativi alla concentrazione di nutrienti e silice (valori normalizzati) di tutte le stazioni e di tutti i mesi, che con i primi due assi spiega il 69.3% della varianza, mostra una chiara distinzione

tra le stazioni superficiali, e quelle di falda (Figura 11a). Il secondo asse della PCA separa le stazioni di superficie, caratterizzate da arricchimento in nitriti e ammonio da quelle di acqua di falda, caratterizzate da arricchimento in fosfati; le differenze tra le due tipologie di stazioni risultano inoltre significative con un'analisi ANOSIM (Analysis of Similarities) condotta sulla matrice di similarità costruita con le distanze euclidee, con $R = 0.241$, $p = 0.001$. Le stazioni di acque superficiali e di falda sono poi state analizzate separatamente. L'analisi delle acque di falda (varianza spiegata dai primi due assi: 84,7%) seguita da confronti appaiati seleziona NO_3 , N totale, P totale, e PO_4 come variabili più rilevanti, che separano significativamente (ANOSIM, $R = 0,33$, $p = 0.001$) i pozzi tra loro e anche tutto i confronti tra coppie di pozzi. Nel biplot della PCA è stata inserita anche la silice tra le variabili indicative, anche se la sua correlazione con gli assi è $< 0,5$, in quanto questa specie chimica è un tracciante di fertilizzanti organici (letame) nel bacino, anche quando i nutrienti in essi contenuti (N e P) sono stati rimossi dal sistema. Il gradiente di nutrienti separa (Figura 11b) il pozzo P4 da tutti gli altri sulla base di un arricchimento in silice, fosfati e fosforo totale; per i restanti pozzi, questo stesso pozzo e il pozzo P11 sono caratterizzati da valori crescenti di nitrati, con il pozzo P11 che presenta l'arricchimento maggiore. Nelle acque di falda le differenze tra periodo irriguo e non irriguo non sono significative (analisi ANOSIM), e non si osservano chiari trend, tranne alcuni campioni del pozzo P4, che si arricchiscono in composti del fosforo durante il periodo irriguo e di composti dell'azoto nel periodo post-irriguo.

L'analisi condotta per le stazioni di acque superficiali (varianza spiegata dei primi due assi: 81.3%), seguita da confronti appaiati, indica come queste differiscano statisticamente tra loro (ANOSIM; $R = 0.316$, $P = 0.001$); inoltre tutte le stazioni differiscono tra loro in concentrazione dei nutrienti tranne il canale Goldone dal canale Osone, e i canali Goldone e Osone da Mincio Grazie, che hanno invece concentrazioni simili e andamenti temporali simili. Il grafico della PCA caratterizzata per stazioni (Figura 11c) mostra un arricchimento per le acque superficiali in direzione monte -valle, con i due canali e alcuni campioni Mincio Grazie nell'estremo dei valori più elevati; il grafico della PCA caratterizzata per periodo di irrigazione (Figura 11d) indica come l'arricchimento sia presente nel periodo pre irriguo per NH_4 e P tot, e nel periodo post irriguo per NO_2 in tutte le stazioni, e molto intenso nei canali. Le stazioni differiscono infatti per concentrazioni di nutrienti tra periodo irriguo e pre/post irriguo (ANOSIM; $R = 0.157$, $p = 0.003$), con differenze significative tra i periodi pre irriguo e irriguo, e irriguo e post irriguo, mentre le concentrazioni tra periodi pre e post irriguo non differiscono statisticamente. Si delinea quindi il ruolo dei canali nell'apporto non solo di sedimento, come indicato nel capitolo precedente, ma anche di nutrienti, e l'effetto dell'irrigazione sia nella diluizione dei nutrienti ma anche nell'innescare dell'irrigation loop.

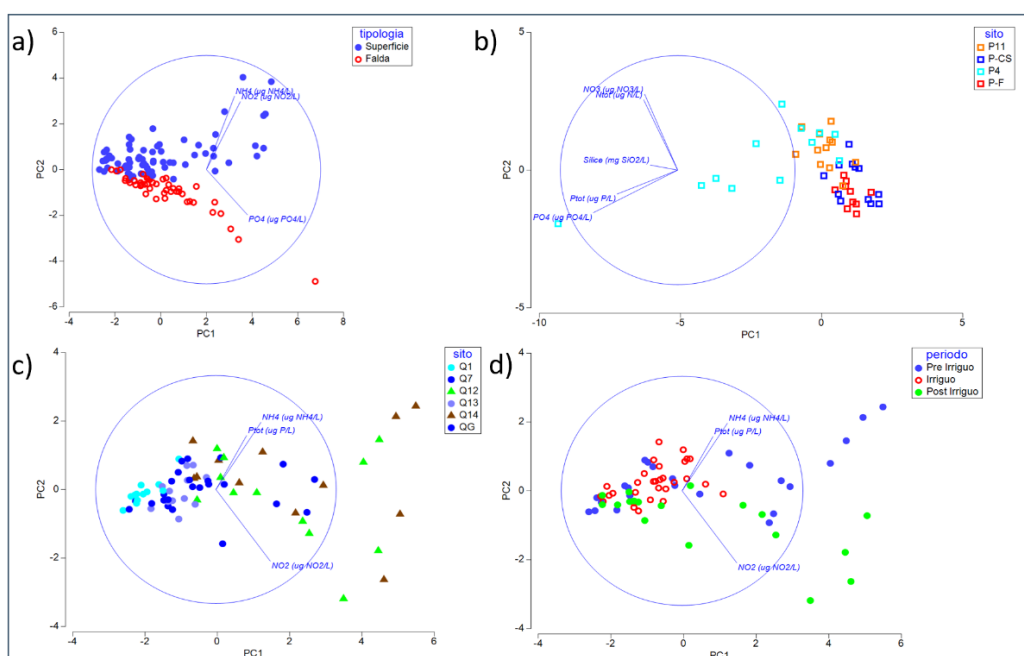


Figura 11. Analisi delle Componenti Principali (PCA) dei valori di concentrazione dei nutrienti e della silice in: a) tutte le stazioni, categorizzate per tipologia (superficie o falda); b) acque di falda, categorizzate per sito; c) acque di superficie, categorizzate per sito; d) acque di superficie, caratterizzate per periodo (pre irriguo, irriguo, post irriguo). I vettori indicano le variabili con correlazione con gli assi > 0.5.

3.5.2. Concentrazione nutrienti e silice

L'analisi degli andamenti spaziali e temporali di ogni singolo parametro permette di valutare più in dettaglio le dinamiche dei nutrienti più (azoto ammoniacale, nitroso, fosforo reattivo solubile) e meno reattivi (nitrato, silice reattiva disciolta), e dell'azoto e fosforo totali. Per favorire il confronto con i dati della campagna 2024, si riportano i valori indicativi delle due campagne in Tabella 11; i valori di concentrazione, riportati nella relazione UNIPR 2022 e quindi, per confronto con i dati pregressi, nella relazione 2024, in umol/L per NH₄, NO₂, NO₃, SiO₂, vengono qui riportati in ug composto/L (o mg/L, nel caso della silice), per un più facile confronto con i valori utilizzati per il calcolo del LIMeco, e per il valore dei carichi di nutrienti. Vengono quindi ripresentati i grafici e i valori dell'anno 2024, espressi con questa nuova unità di misura, per un confronto con i dati della campagna 2025.

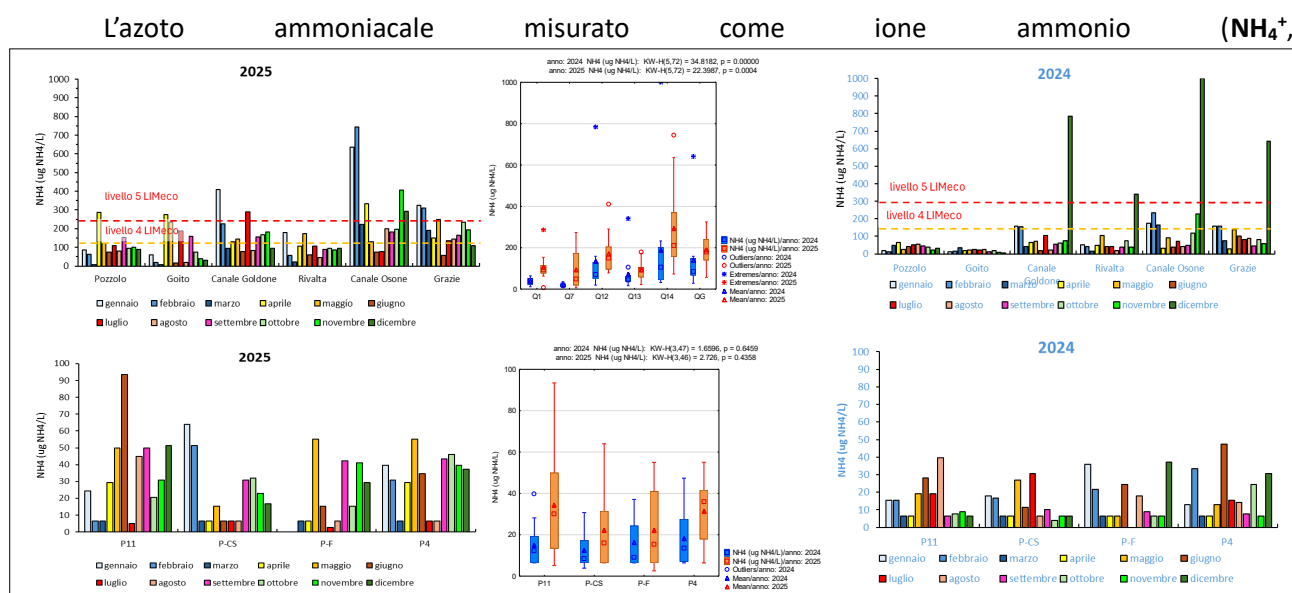


Figura 12), data l'alta reattività, mostra concentrazioni eterogenee tra i vari campionamenti e tra tipologie di acque; nel 2025 i valori di concentrazione sono stati in media più elevati e più variabili che nel 2024 sia per acque superficiali che di falda, e con i valori più elevati registrati a Mincio Pozzolo, Goito, Canale Goldone, e in tutti i pozzi, mentre Canale Goldone, Osone, Mincio Rivalta e Grazie hanno avuto picchi con valori inferiori a quelli registrati nel 2024 (Tabella 11). Nelle stazioni superficiali Mincio Pozzolo, Goito e Rivalta, la variabilità temporale è relativamente ridotta, picchi di concentrazione si registrano ad aprile (Pozzolo e Goito), maggio (Goito e Rivalta), luglio (Goito e Rivalta), settembre (Pozzolo e Goito). L'input dai canali Goldone e Osone ha diversa variabilità temporale con valori elevati a gennaio-febbraio, con valori al canale Goldone di 410 (gennaio) ug NH₄⁺/L (pari a 320 ug N /L), e al canale Osone di 636 (gennaio) e 744 (febbraio) ug NH₄⁺/L (pari a 497 e 581 ug N/L); il canale Osone presenta due ulteriori due picchi in aprile e novembre, pari a 333 e 407 ug NH₄⁺/L o 260 e 310 ug N /L. Tutti questi valori sono sopra il limite di livello 5 del LIMeco. Non sono presenti nel 2025 i picchi di dicembre, registrati nel 2024 nei canali e a Mincio Rivalta e Grazie. A differenza del 2024, quando l'apporto di azoto ammoniacale si propagava dal canale Goldone a Mincio Rivalta e Grazie, nel 2025 è più rilevante l'apporto dal canale Osone, con conseguenti valori di concentrazione elevata misurati a Mincio Grazie con un andamento temporale simile a quello del canale. Solo nel canale Osone si riscontrano differenze significative (Mann-Whitney U test) nella concentrazione di azoto ammoniacale che diminuisce tra periodo pre irriguo e irriguo (

Tabella 12). I valori di ammonio nelle acque di falda sono sempre più bassi di quelli di acque superficiali, sia come valori assoluti che come valori medi (Tabella 11,

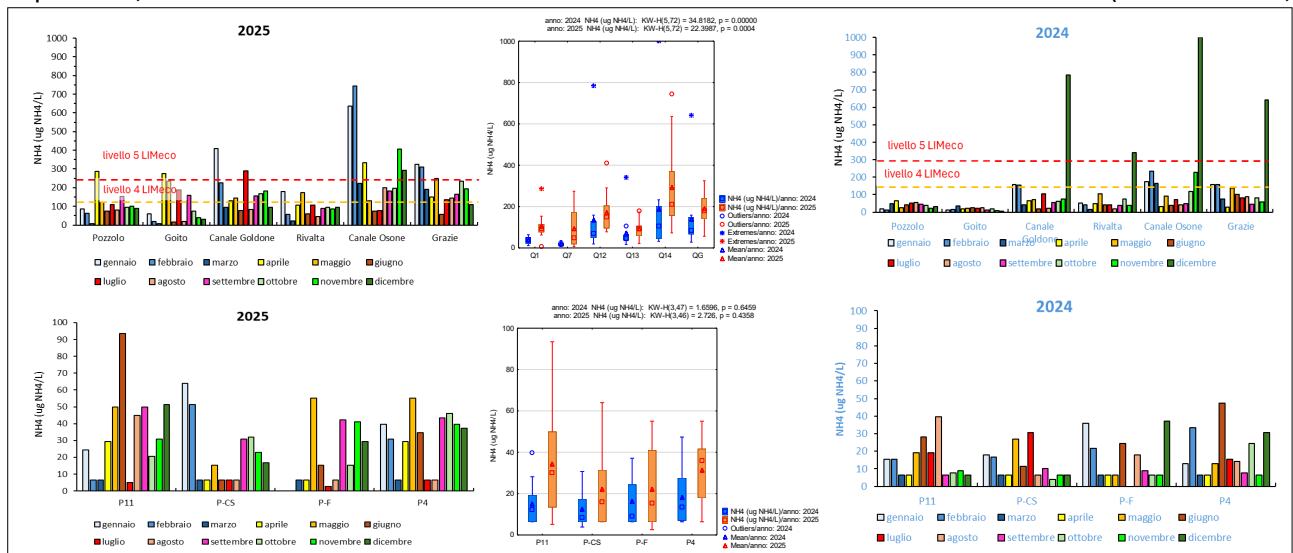


Figura 12). I valori di concentrazione più elevata si riscontrano nel pozzo superficiale P11 (in sinistra idraulica) seguito dal pozzo profondo P4; in generale nelle acque di falda si osservano picchi di concentrazione in gennaio-febbraio (periodo di falda bassa), maggio-giugno (risalita della falda per inizio periodo irriguo e precipitazioni in maggio), settembre-dicembre (fine periodo irriguo, diminuzione livello della falda). Va ricordato che il pozzo P-F era in secca in gennaio-febbraio e non è noto quando la falda sia risalita, solo in questo pozzo si riscontrano differenze significative (Mann-Whitney U test) nella concentrazione di azoto ammoniacale tra periodo pre e post irriguo, ma i dati sono probabilmente falsati dalla scarsità di dati del periodo pre-irriguo. Le concentrazioni di ammonio nelle acque di falda nel 2025 sono molto più elevate che nel 2024 (Tabella 11,

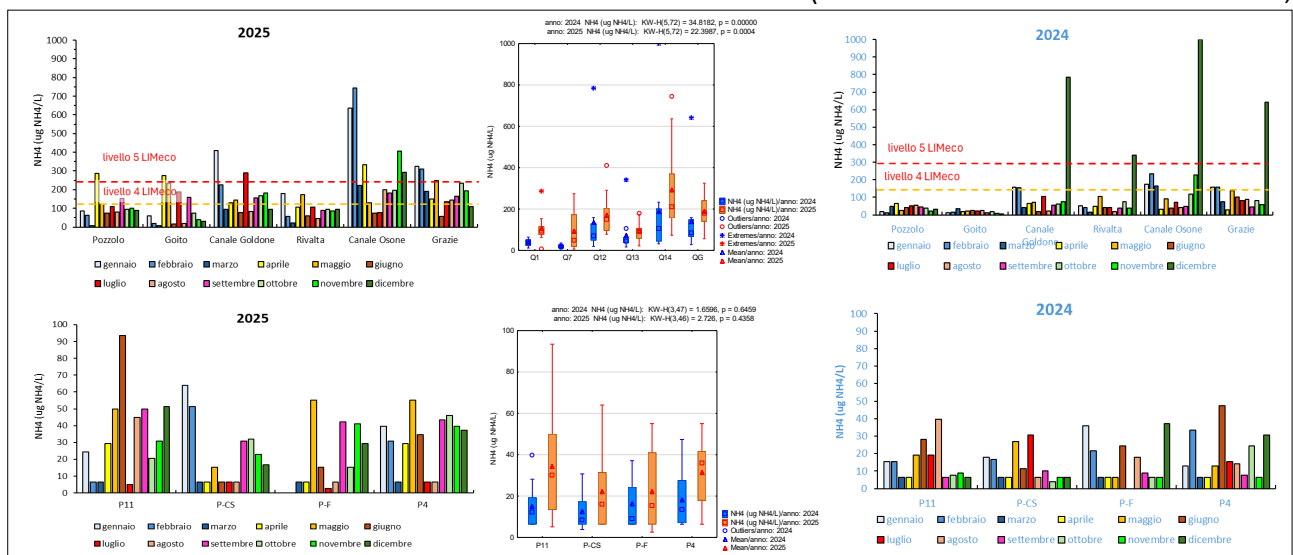


Figura 12).

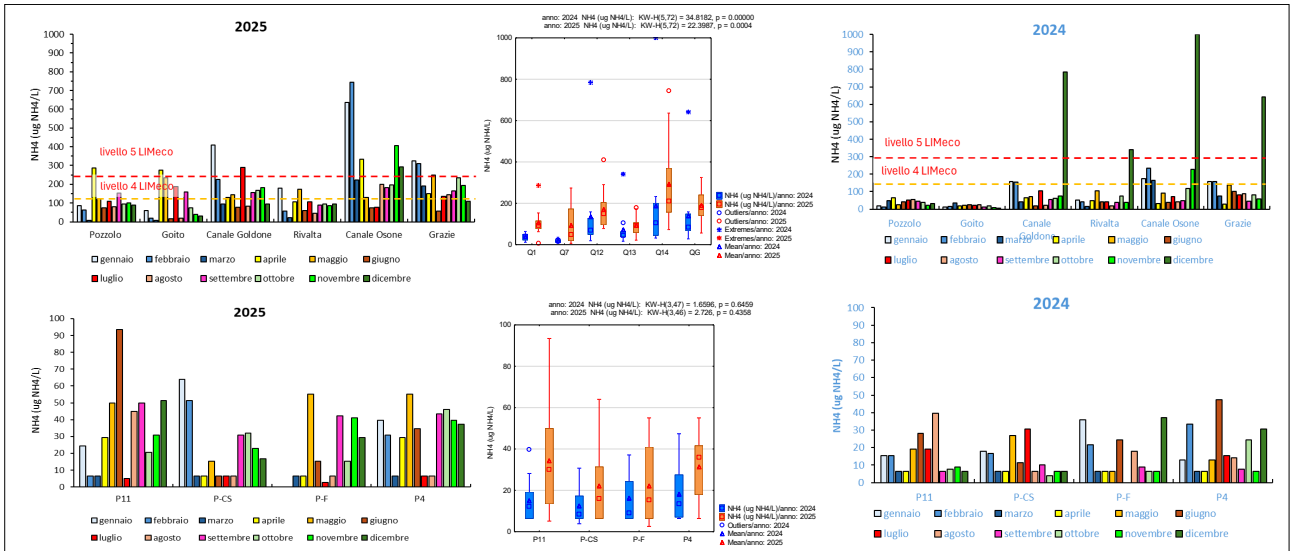


Figura 12. Concentrazioni dell'azoto ammoniacale (NH_4^+), misurato in $\mu\text{mol } NH_4^+/L$, durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.

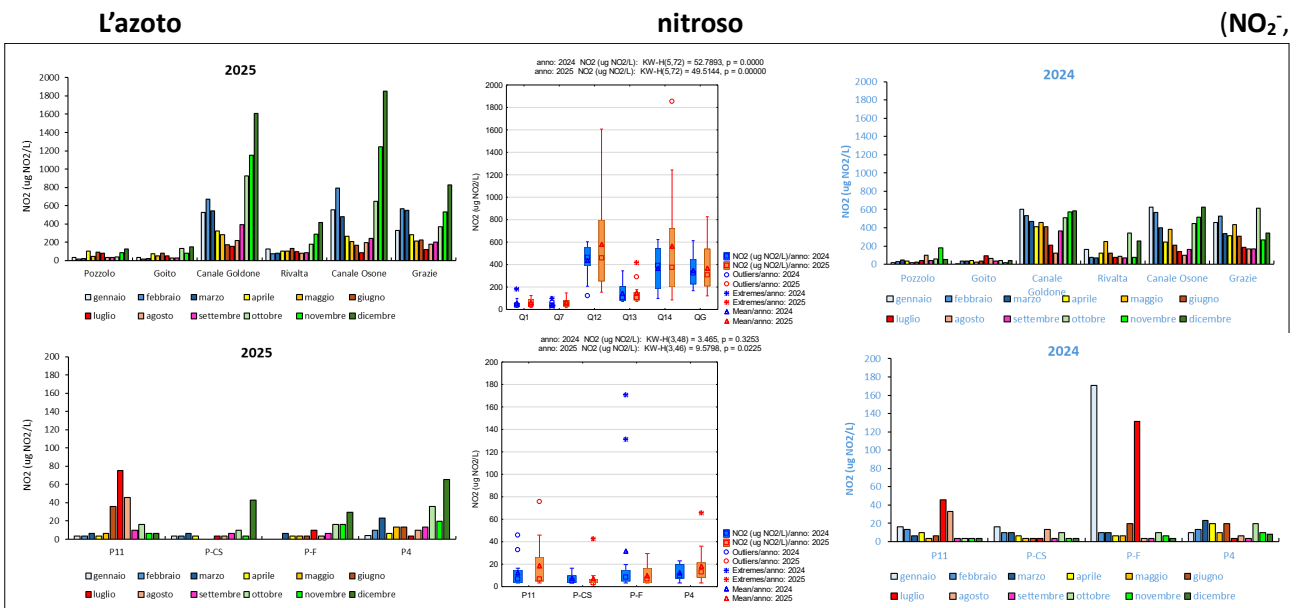


Figura 13), anch'esso molto reattivo, mostra concentrazioni eterogenee tra i vari campionamenti e tra stazioni di acque superficiali, con valori bassi e poco variabili a Mincio Pozzolo, Goito e Rivalta, e con valori più elevati e maggiore variabilità temporale nei due canali e a Mincio Grazie. Nel 2025 i valori di concentrazione sono stati in media più bassi e meno variabili del 2024 nelle acque superficiali, e con valori di picco più bassi e meno variabili che nel 2024 a Mincio Pozzolo e Rivalta, con picco più elevato e valori più variabili a Mincio Goito, nei due canali, e a Mincio Grazie (Tabella 11). Nelle stazioni superficiali Mincio Pozzolo e Goito, la variabilità temporale è relativamente ridotta, valori elevati di concentrazione si registrano ad aprile

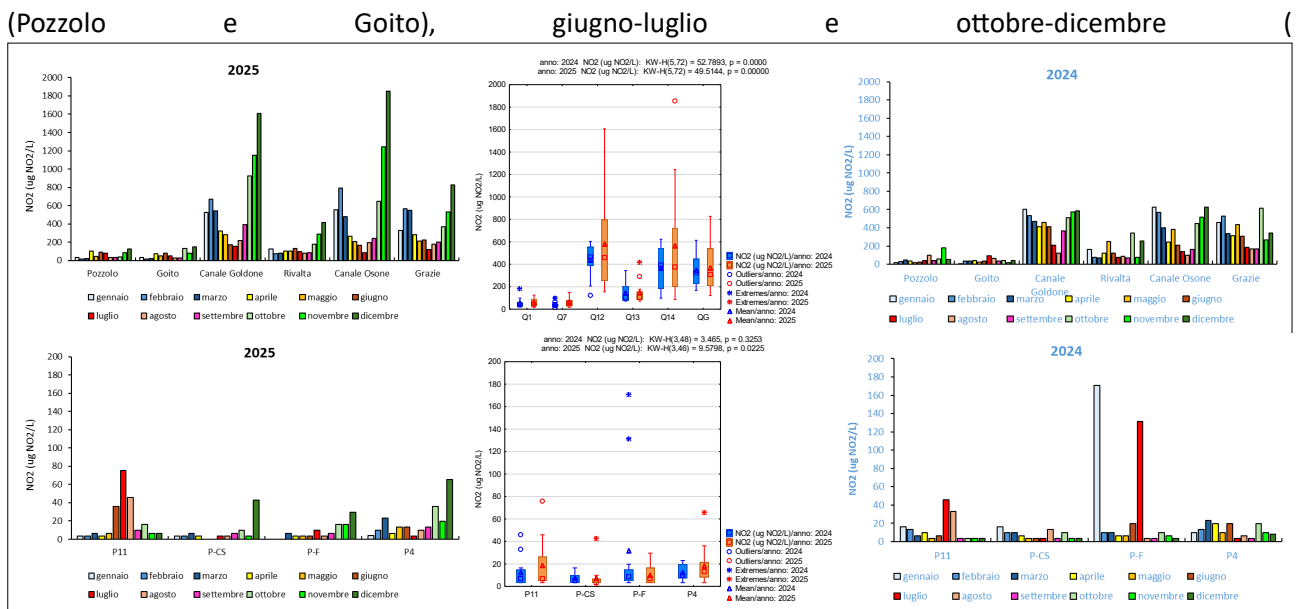


Figura 13). A Mincio Rivalta i valori sono più elevati che a Pozzolo/Goito, minori che a Grazie, e risentono dell’apporto del canale Goldone. Come per l’azoto ammoniacale, a differenza del 2024, quando l’apporto di azoto nitroso si propagava dal canale Goldone a Mincio Rivalta e Grazie, nel 2025 è più rilevante l’apporto dal canale Osone, con conseguenti valori di concentrazione elevata misurati a Mincio Grazie, che è la stazione Mincio con i valori sempre più elevati. Nei canali e a Mincio Grazie i valori più elevati si riscontrano nel periodo non irriguo ovvero gennaio-marzo e da ottobre, con un forte picco in dicembre (non registrato nel 2024), per queste tre stazioni le differenze in concentrazione tra il periodo irriguo e non irriguo sono significative sia nel 2025 che nel 2024, e dovute alle differenze tra periodo pre irriguo con irriguo, e per il 2025 anche tra periodo irriguo e post-irriguo (

Tabella 12). Nel 2025 a Mincio Goito e Rivalta le differenze in concentrazioni tra periodo irriguo e post irriguo sono state significative e dovute probabilmente al picco di dicembre, mentre nel 2024 le differenze erano significative a Pozzolo, ma tra periodo pre e post irriguo, probabilmente per il picco di novembre (

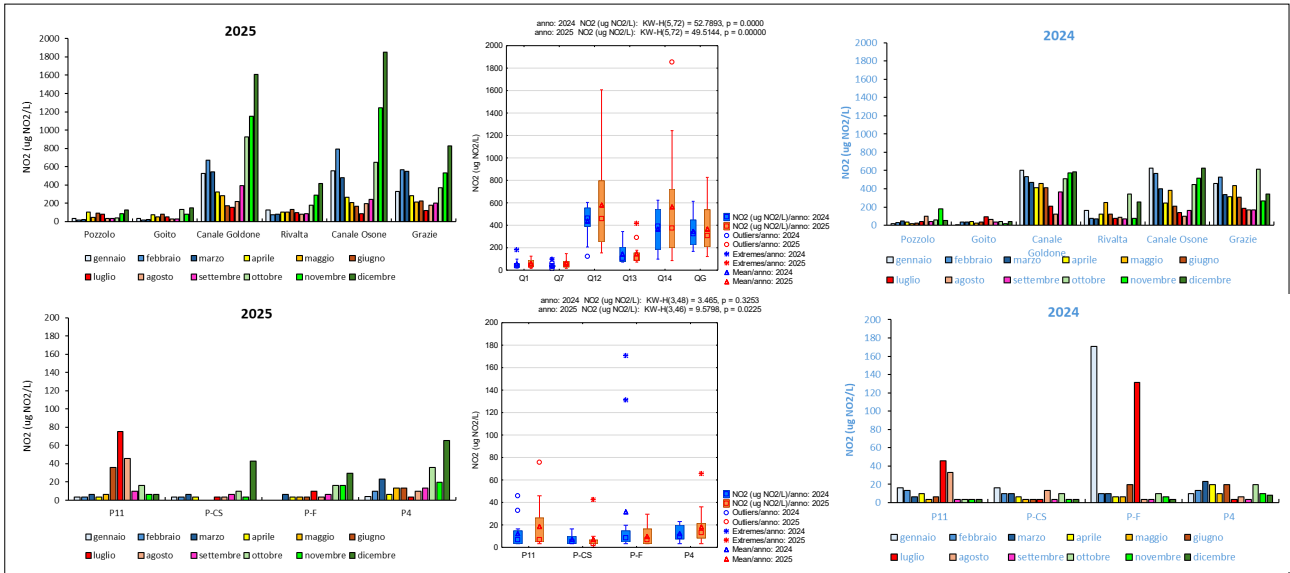


Figura 13). Nelle acque di falda le concentrazioni di azoto nitroso sono state in media meno elevate e più variabili del 2024, più variabili e con picco più elevato nel 2025 rispetto al 2024 nei pozzi P11 e P4, meno variabili e con picco meno elevato a P-CS e P-F (Tabella 9). Le acque di falda presentano valori molto più bassi rispetto alle acque superficiali (in maggio e giugno a P-CS con valori inferiori al LOD degli strumenti), con ridotta variazione stagionale, ma nei tre pozzi in destra idraulica è presente il picco di dicembre come nelle acque superficiali. I valori di concentrazione più elevata di azoto nitroso si riscontrano nel pozzo superficiale P11 (in sinistra idraulica) seguito dal pozzo profondo P4. Nel pozzo P11 si osservano picchi di concentrazione in giugno-agosto (periodo irriguo, che differisce statisticamente dal periodo pre irriguo,

Tabella 12), nel pozzo P4 a ottobre-dicembre (periodo post-irriguo, che differisce statisticamente dal periodo irriguo,

Tabella 12); per quest'ultimo pozzo l'andamento è diverso dal 2024, anno in cui le differenze significative erano presenti tra periodo pre irriguo e irriguo, dati i valori relativamente più alti rispetto al 2024 misurati nel primo quadrimestre e la mancanza del picco di dicembre. Negli altri pozzi (in destra idraulica) i valori sono poco variabili ma generalmente più elevati in marzo (mese in cui la falda risale a causa di elevate precipitazioni) e settembre-novembre (fine periodo irriguo, diminuzione livello della falda). Va ricordato che il pozzo P-F era in secca in gennaio-febbraio; in questo pozzo si riscontrano differenze significative nella concentrazione dell'azoto nitroso tra periodo irriguo e post-irriguo dato l'aumento in concentrazione da ottobre in poi, e il picco a dicembre.

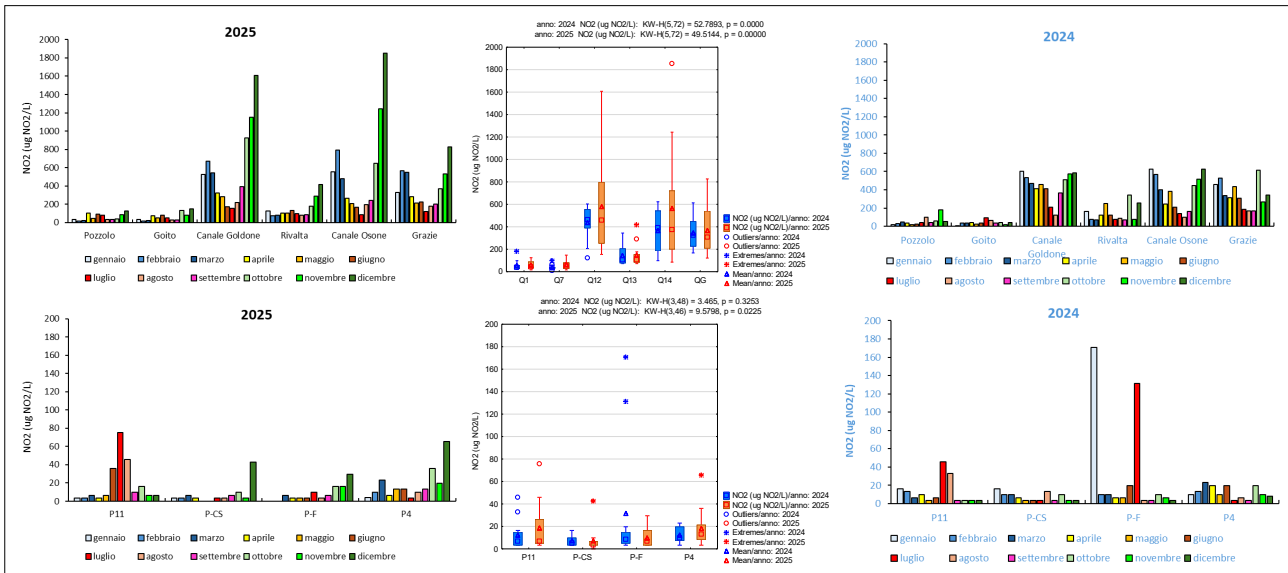


Figura 13. Concentrazioni dell'azoto nitroso (NO_2), misurato in $ug\ NO_2/L$ durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.

La forma di nutriente più resistente rispetto alle forme più ridotte, e che quindi può persistere più a lungo nell'ecosistema è il nitrato (NO_3 ;

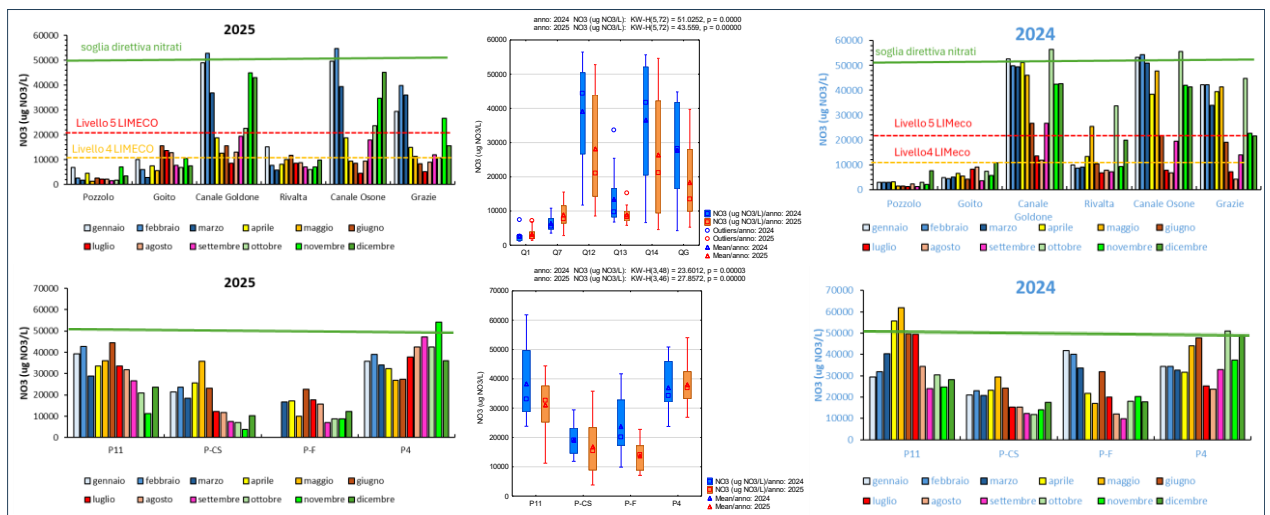


Figura 14), che nel bacino del Fiume Mincio è la componente principale dell'azoto inorganico totale. Nelle acque superficiali le concentrazioni del 2025 rispetto al 2024 sono state in media meno elevate e meno variabili per le acque superficiali (Tabella 11) i trend temporali ma soprattutto le variazioni legate al periodo irriguo sono relativamente simili per i due anni. La concentrazione del nitrato aumenta lungo il corso del

fiume; come per i nitriti, a valori bassi e poco variabili temporalmente registrati a Mincio Pozzolo e Goito, si contrappongono valori molto più elevati nei canali Goldone e Osone; tale arricchimento si propaga a Mincio Grazie dove i valori di nitrati sono elevati. Nei canali e a Mincio Grazie i valori più elevati si riscontrano nel periodo non irriguo ovvero gennaio-marzo e ottobre-dicembre con picco a ottobre, per queste tre stazioni le differenze in concentrazione tra il periodo irriguo e non irriguo sono significative sia nel 2024 che nel 2025, con lo stesso trend: diminuzione tra periodo pre irriguo e irriguo (significativo per entrambi gli anni), aumento alla fine del periodo irriguo (differenze irriguo e post irriguo significative per entrambi gli anni), e per i due canali valori più elevati nel periodo pre irriguo che nel post irriguo (differenza significative,

Tabella 12). A Pozzolo si osservano, seppure molto ridotti (differenze sempre non significative per entrambi gli anni), trend simili con picchi a gennaio, aprile, novembre (2024) o dicembre (2025), mentre a Goito e Rivalta le concentrazioni aumentano nel periodo irriguo, significativamente solo nel 2024. Nel 2024, le concentrazioni di nitrato hanno superato i limiti limite massimo imposto dalla direttiva nitrati per intervenire ai sensi dell'articolo 3 e del successivo articolo 5 per invertire la tendenza ($50 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$) a gennaio, aprile e ottobre nel canale Goldone, a gennaio-marzo e ottobre nel canale Osone, in ottobre nel pozzo P4; nel 2025 i limiti sono stati superati solo a febbraio nel canale Osone. Tuttavia, i valori sono spesso nell'intervallo delle classi 4 e 5 del LIMeco per i canali e Mincio Grazie. I valori di nitrato nelle acque di falda, a differenza delle forme più labili, sono in un range superiore a quello delle acque superficiali, hanno superato la soglia della direttiva nitrati nel 2025 solo a novembre nel pozzo P4, mentre nel 2024 si sono riscontrati valori maggiori di $50 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ ad aprile-maggio nel pozzo P11, in ottobre nel pozzo P4. Nelle acque di falda le concentrazioni sono state meno elevate ma più variabili nel 2025 rispetto al 2024 (Tabella 11), con valori in media più elevati nei pozzi P11 e P4, come nel 2024; gli andamenti temporali nei due pozzi superficiali P-F, P11 e P-CS sono rimasti elevati fino a giugno (periodo di falda più bassa) per poi decrescere (per il pozzo P11, significativamente tra periodo irriguo e post- irriguo,

Tabella 12), mentre a P4 i valori sono più bassi a aprile-giugno (periodo irriguo, livello falda elevato). Nel 2024, nel pozzo P-CS le concentrazioni differivano tra periodo pre irriguo e irriguo, e tra pre irriguo e post-irriguo (

Tabella 12).

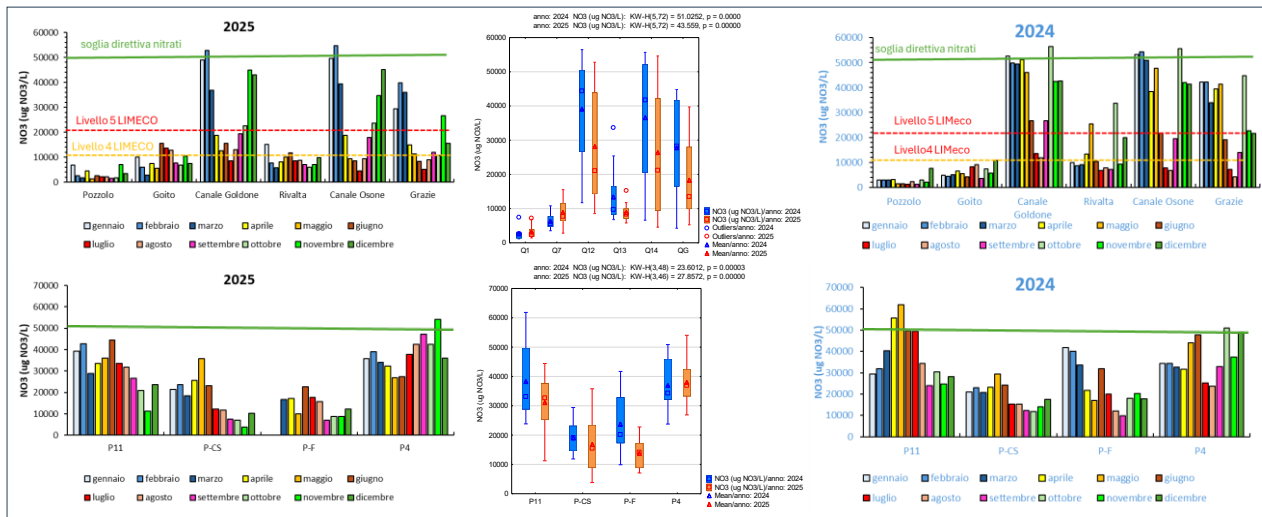


Figura 14. Concentrazioni dell'azoto nitrico (NO_3), misurato in $ug\ NO_3/L$ durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.

L'azoto totale, che include anche i composti organici, misurato quindi in $ug\ N/L$ (

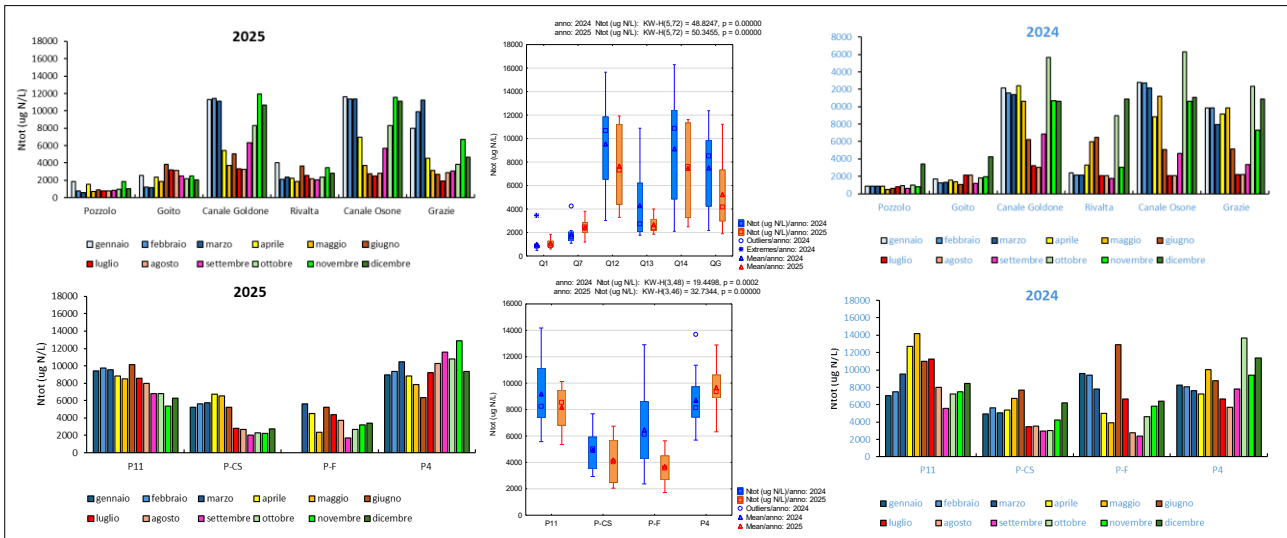


Figura 15), nel 2025 è stato mediamente meno elevato, meno variabile e con picchi di massima più bassi che nel 2024, con l'eccezione di Mincio Pozzolo e Goito e del pozzo P11, che hanno presentato valori in media più elevati (Tabella 11). L'azoto totale nelle acque superficiali aumenta lungo il Mincio da Pozzolo a Goito, i canali presentano spesso concentrazioni più elevate delle stazioni Mincio. L'andamento stagionale è lo stesso indicato per i nitrati, a valori bassi e poco variabili temporalmente registrati a Mincio Pozzolo e Goito, si contrappongono valori molto più elevati nei canali Goldone e Osone; tale arricchimento si misura a Mincio Rivalta e, in misura maggiore, a Mincio Grazie dove i valori di azoto totale sono i più elevati delle quattro stazioni Mincio; lo stesso trend era stato registrato nel 2024. Nei canali e a Mincio Grazie i valori più elevati si riscontrano nel periodo non irriguo ovvero gennaio-marzo e ottobre-dicembre, per queste tre stazioni le differenze in concentrazione tra il periodo irriguo e non irriguo sono significative e dovute a differenze significative tra periodo pre irriguo e irriguo, irriguo e post irriguo, pre e post irriguo, mentre nel 2024 si era riscontrata una differenza significativa tra periodo pre irriguo e irriguo nel Canale Osone e a Mincio Grazie (

Tabella 12). A Pozzolo si osservano, seppure molto ridotti, trend simili con picchi a gennaio, aprile, novembre, mentre a Goito e Rivalta le concentrazioni aumentano nel periodo irriguo, da maggio a settembre, con picco a giugno, a Pozzolo le differenze tra periodo irriguo e post irriguo sono significative e dovute probabilmente al picco registrato a Novembre; nel 2024 invece erano significative le differenze tra periodo irriguo e post irriguo a Goito, dovute al picco di dicembre. Nelle stazioni di falda, i valori mensili sono più variabili e in media più elevati di quelli di acque superficiali, con valori più elevati nei pozzi P11 e P4, come già registrato nel 2025; gli andamenti temporali nei due pozzi superficiali P-F, P11 e P-CS sono elevati fino a giugno (periodo di falda più bassa) e poi decrescono, mentre a P4 i valori decrescono a aprile-giugno (periodo irriguo, livello falda elevato) per poi risalire da luglio. A differenza del 2024, in cui i pozzi P-CS e P4 differivano in concentrazione tra periodo irriguo e non, le differenze nel 2025 non sono significative (

Tabella 12).

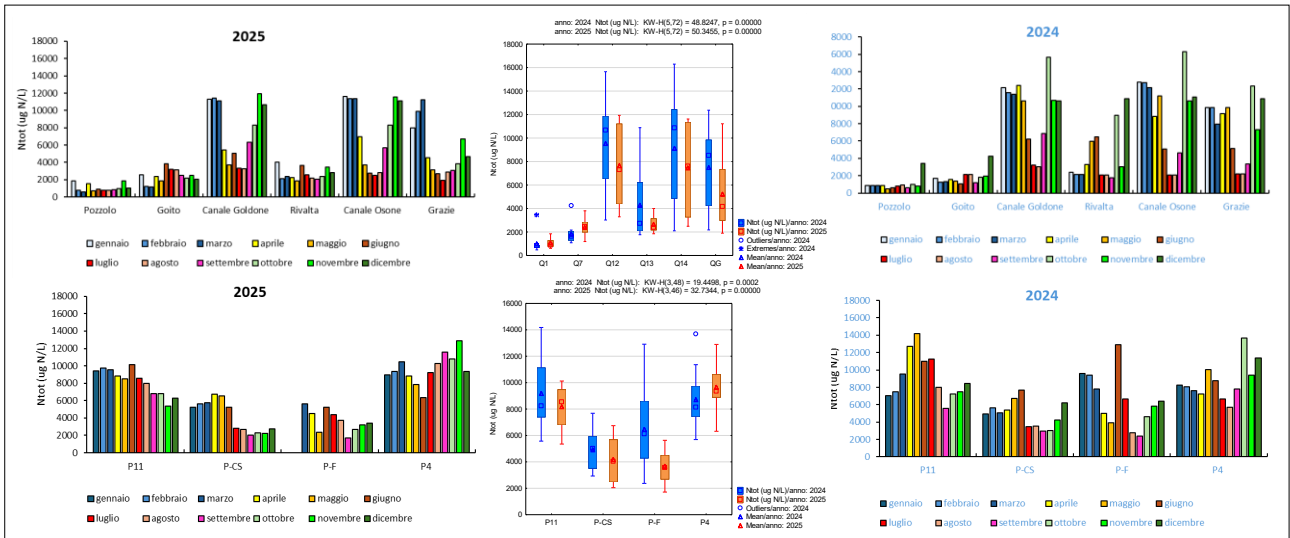


Figura 15. Concentrazioni dell'azoto totale, misurato in ug N/L, durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.

Il fosforo reattivo solubile o SRP (misurato in umol PO_4^{3-}/L) (

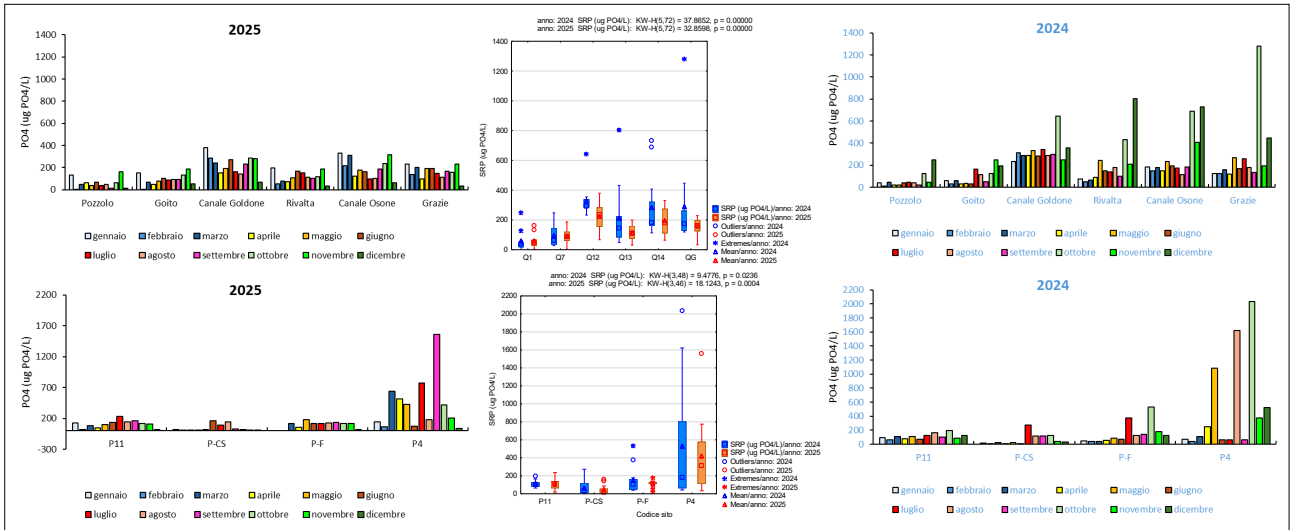


Figura 16) è stato nel 2025 in media meno concentrato e meno variabile che nel 2024 per le acque sia superficiali che di falda; a Mincio Pozzolo e Goito i valori sono stati in media più elevati che nel 2024, nel pozzo P11 più variabili, nel pozzo P-CS più elevato e più variabili (Tabella 11). Inoltre, il picco di massima del 2025 è stato in tutte le stazioni tranne Goito, P11 e P-CS, più basso che nel 2024. La concentrazione dell'SRP aumenta progressivamente lungo il Mincio, gli apporti dai canali non sono rilevanti come per le varie forme di azoto ma contribuiscono all'arricchimento registrato a Mincio Rivalta e Grazie, così come già registrato nel 2024. In tutte le stazioni sono presenti picchi a gennaio e da ottobre a novembre, con una forte diminuzione in dicembre (a differenza del 2025, in cui i valori di dicembre erano molto maggiori che in novembre, tranne a Goito); nei canali concentrazioni elevate si rilevano a gennaio-marzo e settembre-novembre, ma a canale Goldone è presente anche un picco a maggio-giugno; in generale i valori decrescono nel periodo irriguo anche se non significativamente, lo stesso si era riscontrato nel 2024 con l'eccezione del canale Osone, in cui le concentrazioni differivano significativamente tra periodo pre irriguo e post irriguo a causa dei picchi di ottobre-dicembre (

Tabella 12). Tra le stazioni di falda, i pozzi P11, P-CS e P-F hanno valori comparabili a quelli delle acque superficiali a Pozzolo e Goito, mentre il pozzo P4, il più variabile temporalmente, presenta valori molto più elevati delle stazioni Mincio alimentate dalla stessa falda, con un picco importante a settembre di 569 $\mu\text{g PO}_4/\text{L}$, che rappresenta valori fino a 19 e 11 volte le concentrazioni di Pozzolo e Goito; nel 2024 un picco di concentrazione 59 e 30 volte le concentrazioni di Pozzolo e Goito era stato registrato a maggio nello stesso pozzo. In tutti i pozzi le concentrazioni di SRP tendono ad aumentare con il periodo irriguo ma differenze significative si riscontrano a P-CS, P11, P-F (

Tabella 12). Nel secondo pozzo profondo, il pozzo P-CS, le concentrazioni sono aumentate significativamente durante la stagione irrigua sia nel 2024 che nel 2025 e sono diminuite significativamente con il passaggio alla fase post-irrigua nel 2025. Nel pozzo superficiale in destra idraulica, P-F, nel 2025 le differenze tra irriguo e post-irriguo sono significative probabilmente a causa dei valori molto bassi registrati in dicembre, nello stesso pozzo nel 2024 le differenze tra pre irriguo e irriguo, e tra pre e post irriguo erano significative. Nel pozzo superficiale in sinistra idraulica, P11, si è riscontrato un incremento significativo nelle concentrazioni tra periodo pre irriguo e irriguo.

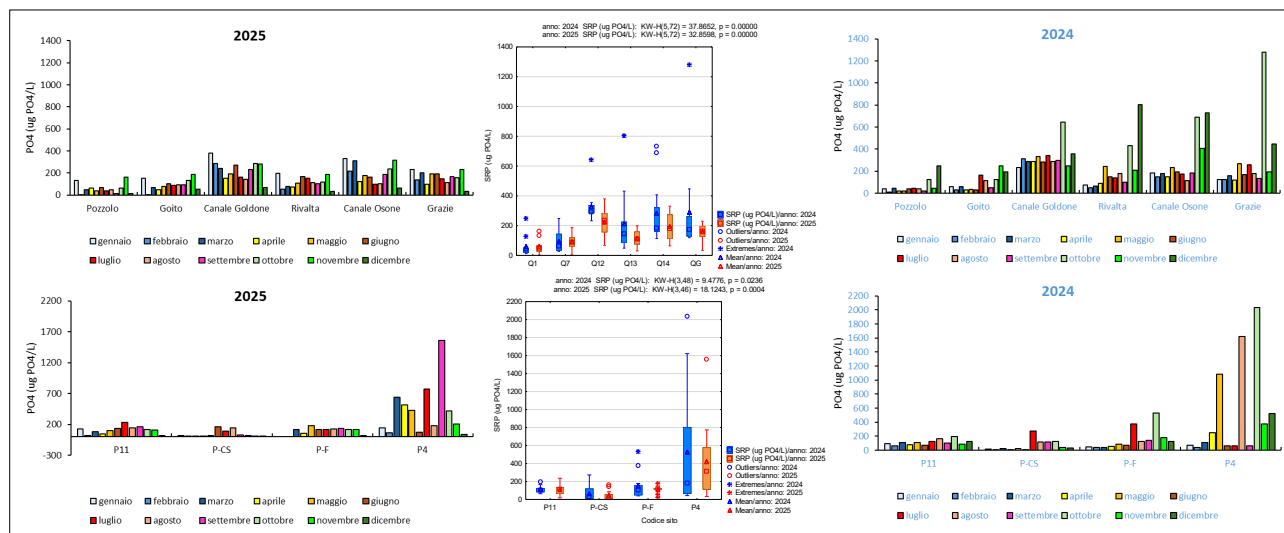


Figura 16. Concentrazioni del fosforo reattivo solubile, misurato in ug PO_4^{3-}/L , durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.

Il **fosforo totale**, che include anche i composti organici, che danno un contributo rilevante al valore totale, misurato quindi in ug P/L (Figura 17), è stato nel 2025 in media meno concentrato, meno variabile e con picchi di massima inferiori rispetto al 2024, sia nelle stazioni superficiali che in quelle di falda (Tabella 11). Il fosforo totale nelle acque superficiali ha un andamento relativamente simile a quello del SRP, ma con apporti rilevanti a febbraio e luglio dovuti alla componente non reattiva (organica); negli stessi mesi, l'SRP è basso in particolare a febbraio a Pozzolo e Goito. I valori registrati sono spesso a livello LIMEco da sufficiente a cattivo ma i campioni in stato scarso e cattivo sono meno numerosi rispetto al 2024 (Figura 17). La concentrazione di fosforo totale non differisce statisticamente tra periodo irriguo e non irriguo per nessuna stazione di acque superficiali, solo nel canale Goldone differiscono le concentrazioni pre-irrigue da quelle post irrigue, essendo più elevate nel primo dei due periodi; queste differenze si sono riscontrate nel 2024 a Pozzolo, Goito, canale Osone (

Tabella 12). Nelle acque di falda il fosforo totale è elevato soprattutto nel pozzo P4, come già verificatosi nel 2024, con un picco ad aprile dovuto a fosforo organico che presenta differenze significative tra periodo pre irriguo e irriguo, e un picco a settembre dovuto a SRP; in tutti i pozzi è presente un picco in aprile, dovuto in tutti i casi alla componente organica (un picco dovuto al P organico nel 2024 si era registrato in luglio). Le differenze tra periodo pre irriguo e irriguo erano significative nel 2024 per P-CS e P-F, in quest'ultimo anche tra periodo pre e post irriguo, mentre nel 2025 le concentrazioni non differiscono mai statisticamente (

Tabella 12).

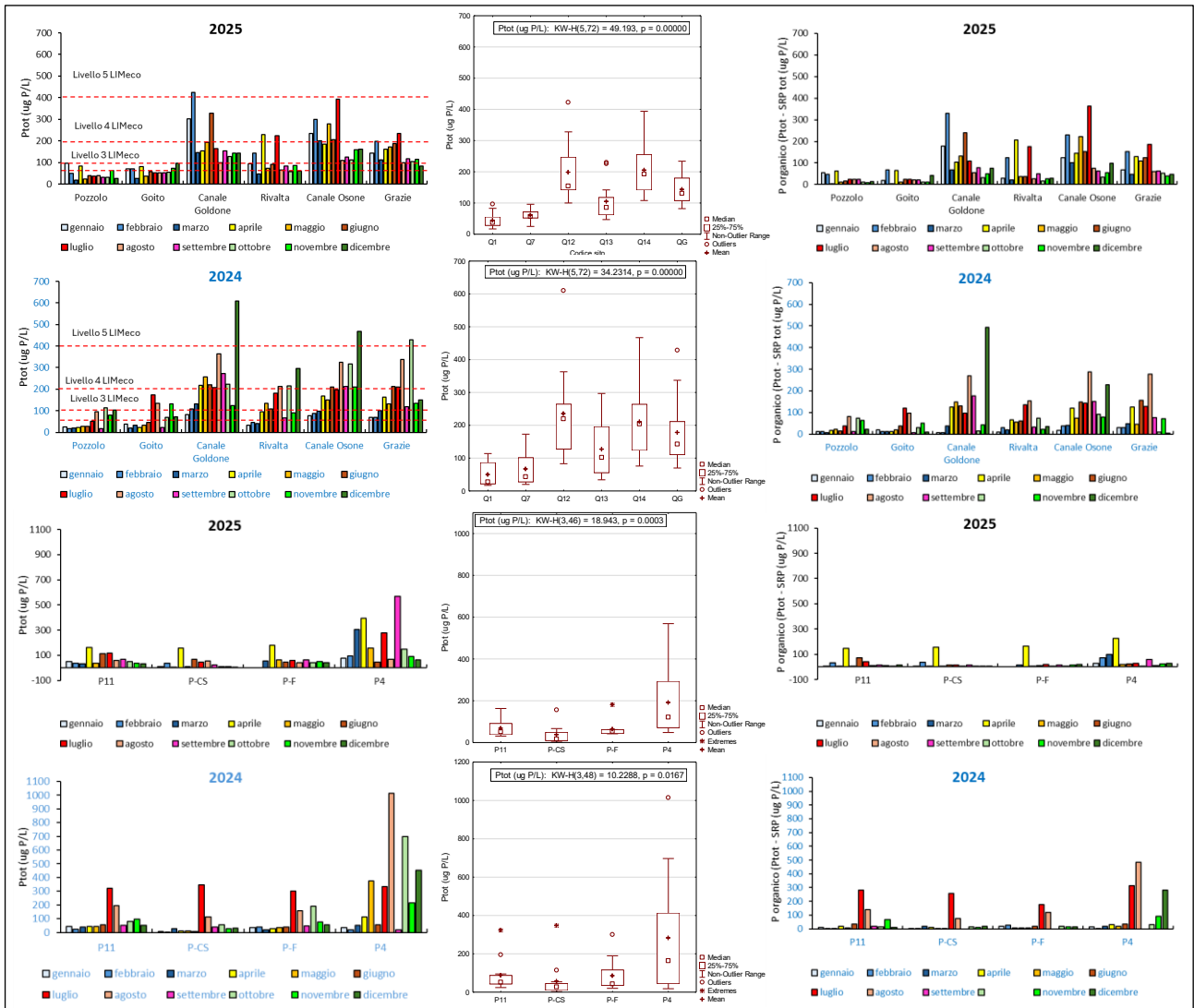


Figura 17. Concentrazioni del fosforo totale, misurato in ug P/L, e della componente organica (calcolata come Ptot-SRP) durante il periodo di monitoraggio. Sopra: acque superficiali, sotto: acque di falda. Sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.

La **silice reattiva disciolta** è un tracciante di fertilizzanti organici (letame) nel bacino, anche quando i nutrienti in essi contenuti (N e P) sono stati rimossi dal sistema (Severini et al., 2020). La SiO_2 è stata nel 2025 in media meno concentrata, più variabile e con picchi di massima superiori rispetto al 2024 per le stazioni superficiali; le singole stazioni invece sono state: più concentrate, più variabili, con picchi più alti (Pozzolo, Goito, canale Osona), più concentrate, meno variabili, con picchi di massima inferiori (Rivalta), meno concentrate, più variabili, con picchi maggiori (Canale Goldone), meno concentrate, meno variabili, con picchi inferiori (Mincio Grazie) nel 2025 (Tabella 11). Nelle stazioni di falda, la silice è stata in genere più concentrata, più variabile ma con picchi minori in media nel 2025 che nel 2024; i singoli pozzi sono stati più concentrati, meno variabili e con picchi minori (P-F), o meno concentrati, più variabili e con picchi maggiori (P11 e P-CS) o meno concentrati, meno variabili, con picchi minori (P4) (Tabella 11). I valori nelle acque di falda sono generalmente più elevati che nelle acque superficiali, così come riscontrato per i composti del fosforo, in quanto entrambi derivano principalmente dall'uso di liquame come fertilizzante. Anche per la SiO_2 si osserva (Figura 18) un aumento della concentrazione e della variabilità temporale a valle di Goito, valori in media più elevati nei canali Goldone e Osona, e valori a Mincio Grazie con andamento temporale simili a quelli del canale Osona. Per queste ultime tre stazioni le differenze tra periodo irriguo e non irriguo sono significative,

e si osserva una decrescita durante il periodo irriguo fino a luglio, e un incremento da agosto, che si protrae fino a novembre. In tutte le stazioni sono presenti valori elevati anche a gennaio. Gli aumenti tra periodo pre irriguo e irriguo sono significativi a Goito, nel 2024 solo a canale Osone la concentrazione era significativamente più bassa nel periodo irriguo (

Tabella 12). Nelle acque di falda, i valori di SiO_2 sono molto più elevati che nelle adiacenti stazioni Mincio Pozzolo e Goito; in tutti i pozzi i valori sono relativamente costanti nel tempo tranne che per un valore molto basso ad aprile (inizio stagione irrigua) che si registra in tutti i pozzi tranne P-F; a P-CS che è il più variabile, i valori aumentano con la stagione irrigua con un picco in luglio e una decrescita fino a settembre, per poi aumentare fortemente a ottobre, con la fine dell'irrigazione, un andamento simile si osserva nel pozzo P4, che è quello con valori medi più elevati, dove i valori si mantengono elevati da luglio in poi. Nel 2024, differenze significative tra periodo pre irriguo e irriguo non sono state significative, mentre nel 2024 nel pozzo P-CS la concentrazione nel periodo pre irriguo e irriguo differivano significativamente (

Tabella 12).

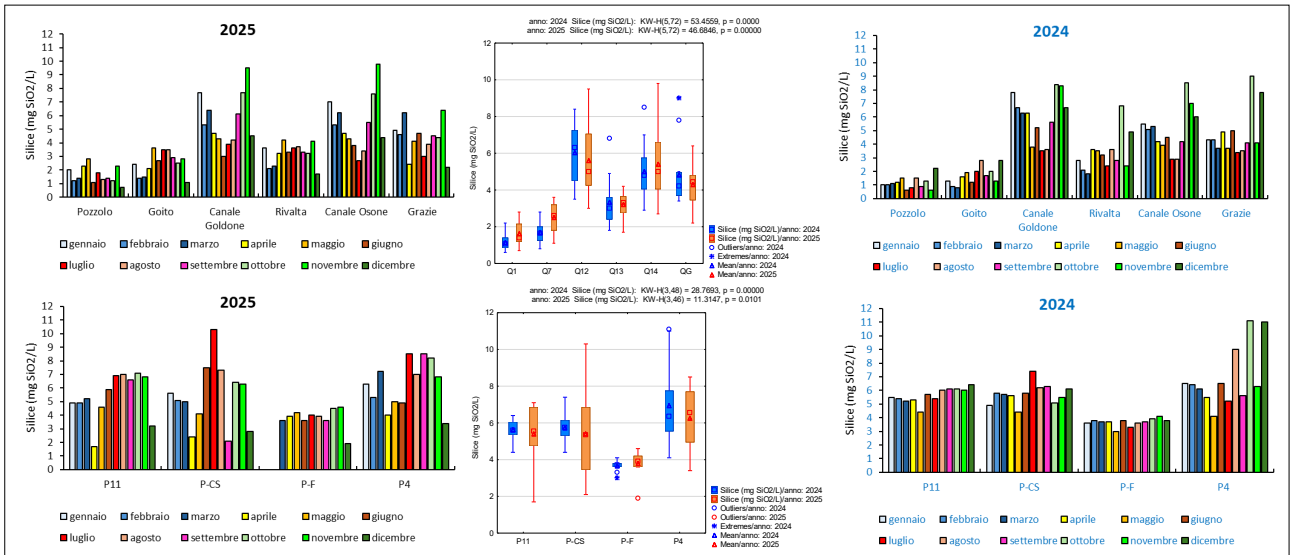


Figura 18. Concentrazioni silice reattiva disciolta (SiO_2), misurato in $\mu g SiO_2/L$, durante il periodo di monitoraggio in acque superficiali (sopra) e acque di falda (sotto); sinistra, destra: valori mensili; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili. Dati campagne 2024 e 2025.

Tabella 11. Valori medi, massimi, minimi e deviazione standard per ogni stazione di superficie e di falda, calcolati per ogni parametro su tutti i campionamenti annuali 2024 e 2025. Sinistra: concentrazioni, destra: carichi. * valori calcolati escludendo Pozzolo valle.

Concentrazione													Carico							
NH ₄ (ug NH ₄ /L)	Pozzolo	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	Grazie	TOTALE	P11	P4	P-CS	P-F	TOTALE	NH ₄ (kg NH ₄ /giorno)	Pozzolo	Pozz. valle	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	TOTALE*
Media 2024	37.65	18.88	134.51	71.57	186.56	138.13	97.88	14.93	18.13	12.48	16.17	15.41	Media 2024	280.73	42.64	46.33	45.90	114.90	116.32	120.84
Media 2025	105.07	93.33	171.31	92.69	291.31	188.48	157.03	34.35	31.25	22.08	22.02	27.66	Media 2025	371.26	147.99	154.53	39.98	129.75	81.47	154.17
Dev.St. 2024	16.40	8.33	209.10	87.89	266.12	163.81	163.61	10.46	13.09	8.80	12.07	11.03	Dev.St. 2024	180.90	52.48	29.52	112.09	171.28	288.51	192.55
Dev.St. 2025	66.82	94.52	97.63	46.74	211.39	79.45	129.93	25.44	16.46	19.27	18.60	20.37	Dev.St. 2025	271.17	115.72	164.21	27.83	59.40	61.39	173.39
Minimo 2024	11.52	6.40	19.20	16.64	32.00	28.16	6.40	6.40	6.40	3.84	6.40	3.84	Minimo 2024	53.96	19.76	8.91	4.22	27.62	10.15	4.22
Minimo 2025	6.40	6.40	78.08	21.76	72.96	56.32	6.40	5.12	6.40	6.40	2.56	2.56	Minimo 2025	29.31	14.89	16.17	10.77	44.01	15.73	10.77
Massimo 2024	64.00	28.16	783.36	340.48	999.68	641.28	999.68	39.68	47.36	30.72	37.12	47.36	Massimo 2024	529.70	168.21	94.39	401.09	653.51	1027.92	1027.92
Massimo 2025	285.44	56.32	409.60	179.20	743.68	325.12	743.68	93.44	55.04	64.00	55.04	93.44	Massimo 2025	818.85	448.63	498.68	93.51	261.63	217.05	818.85
NO ₂ (ug NO ₂ /L)	Pozzolo	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	Grazie	TOTALE	P11	P4	P-CS	P-F	TOTALE	NO ₂ (kg NO ₂ /giorno)	Pozzolo	Pozz. valle	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	TOTALE*
Media 2024	53.57	38.81	438.15	143.50	367.36	343.85	230.88	12.30	12.16	7.11	31.71	15.82	Media 2024	363.94	115.35	92.83	101.13	201.98	159.70	183.92
Media 2025	58.77	62.32	580.56	147.05	561.15	366.81	296.11	18.31	18.12	7.11	9.84	13.50	Media 2025	187.74	73.88	94.06	108.92	200.55	147.55	135.45
Dev.St. 2024	45.43	22.41	149.08	91.34	192.96	142.53	198.63	13.64	6.80	4.60	56.47	29.93	Dev.St. 2024	331.12	27.99	69.09	81.13	108.51	187.16	202.84
Dev.St. 2025	35.62	42.47	445.02	103.76	525.21	209.97	362.35	22.66	17.48	11.52	8.61	16.53	Dev.St. 2025	107.49	45.97	57.27	58.24	99.41	135.54	98.90
Minimo 2024	19.68	6.56	121.36	72.16	98.40	167.28	6.56	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	Minimo 2024	57.58	344.70	9.26	28.11	119.75	24.37	9.26
Minimo 2025	16.40	16.40	154.16	72.16	85.28	121.36	16.40	3.28	3.28	0.00	3.28	0.00	Minimo 2025	61.01	21.01	33.04	49.61	101.67	33.64	21.01
Massimo 2024	180.40	95.12	603.52	344.40	623.20	613.36	623.20	45.92	22.96	16.40	170.56	170.56	Massimo 2024	1218.34	90.72	265.73	300.61	491.05	640.80	1218.34
Massimo 2025	124.64	147.60	1607.20	416.56	1853.20	826.56	1853.20	75.44	65.60	42.64	29.52	75.44	Massimo 2025	366.48	159.81	236.04	245.79	412.13	496.75	496.75
NO _x (ug NO _x /L)	Pozzolo	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	Grazie	TOTALE	P11	P4	P-CS	P-F	TOTALE	NO _x (kg NO _x /giorno)	Pozzolo	Pozz. valle	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	TOTALE*
Media 2024	2643.66	6267.53	39077.50	13432.99	36597.64	27704.53	20953.97	38308.68	36984.63	18980.02	23654.20	29481.88	Media 2024	15663.47	5431.11	14347.34	9051.06	18773.26	15715.06	14710.04
Media 2025	3183.01	8887.94	28092.64	8833.71	26314.83	18252.52	15594.11	31063.89	37975.54	16741.07	13715.73	25359.20	Media 2025	9466.19	4244.16	14104.27	5634.50	12827.12	7015.60	8881.97
Dev.St. 2024	1702.06	2200.05	15469.33	8494.32	18070.95	14707.52	18461.25	12856.62	8992.40	5458.39	10604.80	12727.91	Dev.St. 2024	8400.80	2637.65	7245.30	3756.61	8343.74	16607.42	10379.04
Dev.St. 2025	1982.83	3696.69	16004.22	2645.36	17651.53	11607.05	14178.16	9486.99	7828.87	9490.16	5066.70	12852.61	Dev.St. 2025	2869.05	2341.43	5726.42	2431.03	3475.79	4870.45	5193.44
Minimo 2024	1173.16	3541.60	11731.55	6773.31	6618.37	4267.63	1173.16	23821.69	23764.14	11864.36	9889.92	9889.92	Minimo 2024	8050.43	2454.17	6312.97	2663.34	9946.62	1639.43	1639.43
Minimo 2025	1425.49	2824.43	8539.68	5808.22	4564.24	5272.56	1425.49	11226.87	26885.17	3798.37	7087.63	3798.37	Minimo 2025	3883.41	572.37	7135.45	2314.77	8193.62	1800.60	572.37
Massimo 2024	7490.48	10824.02	56470.81	33680.62	55673.95	44818.95	56470.81	61840.76	50861.80	29408.56	41720.05	61840.76	Massimo 2024	39223.80	11848.47	30692.44	24976.00	38321.82	53533.04	53533.04
Massimo 2025	7176.17	15543.20	52796.40	15202.32	54629.18	39710.19	54629.18	44424.95	54044.82	35796.72	22772.49	54044.82	Massimo 2025	13481.68	7368.95	24492.60	9564.81	18794.13	16942.88	24492.60
Ntot (ug N/L)	Pozzolo	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	Grazie	TOTALE	P11	P4	P-CS	P-F	TOTALE	Ntot (kg N/giorno)	Pozzolo	Pozz. valle	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	TOTALE*
Media 2024	1001.42	1815.25	9534.42	4257.50	9128.17	7498.92	5539.28	9171.50	8715.83	4912.00	6449.08	7312.10	Media 2024	5900.52	2084.27	4000.82	2261.00	6138.74	4090.58	4478.33
Media 2025	1050.08	2397.58	7658.83	2647.58	7466.58	5201.92	4403.76	8161.83	9654.25	4159.83	3677.10	6532.22	Media 2025	3331.44	1430.58	3849.28	1570.87	3866.15	2053.97	2683.71
Dev.St. 2024	778.38	850.65	3868.82	3079.83	4597.05	3492.53	4558.95	2596.65	2178.64	1512.34	3083.80	2914.90	Dev.St. 2024	2957.59	1095.94	1815.54	1984.68	4902.99	4738.64	3700.97
Dev.St. 2025	436.49	764.10	3492.90	692.18	3861.50	3054.57	3525.13	1527.29	1723.31	1838.42	1260.54	3009.96	Dev.St. 2025	878.97	579.83	1228.46	672.66	1006.13	1228.21	1387.63
Minimo 2024	479.00	1082.00	3019.00	1766.00	2105.00	2178.00	479.00	5572.00	5688.00	2930.00	2350.00	2370.00	Minimo 2024	2472.49	991.17	2076.63	632.15	3292.50	520.93	520.93
Minimo 2025	603.00	1188.00	3294.00	1851.00	2485.00	1896.00	603.00	5351.00	6318.00	2048.00	1715.00	1715.00	Minimo 2025	1597.18	174.30	2042.09	852.55	2273.79	593.24	174.30
Massimo 2024	3426.00	4245.00	15649.00	10881.00	16293.00	12370.00	16293.00	14178.00	13687.00	7681.00	12913.00	14178.00	Massimo 2024	13946.76	4220.76	7587.38	6921.26	20884.73	15666.46	20884.73
Massimo 2025	1845.00	3806.00	11927.00	4001.00	11620.00	11215.00	11927.00	10123.00	12896.00	6742.00	5633.00	12896.00	Massimo 2025	4801.29	2396.85	6026.94	2546.35	5823.96	4622.17	6026.94
SRP (ug PO ₄ /L)	Pozzolo	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	Grazie	TOTALE	P11	P4	P-CS	P-F	TOTALE	SRP (kg PO ₄ /giorno)	Pozzolo	Pozz. valle	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	TOTALE*
Media 2024	57.63	95.12	325.64	211.14	282.03	287.39	209.82	110.16	524.54	64.77	150.71	212.54	Media 2024	366.34	129.93	214.26	82.79	331.47	161.54	231.28
Media 2025	57.63	91.80	224.15	115.01	193.04	158.36	140.00	107.10	419.22	42.08	109.55	172.09	Media 2025	170.34	76.07	144.74	52.39	171.61	56.57	111.95
Dev.St. 2024	66.75	74.15	106.04	213.36	212.94	325.75	210.01	38.88	683.97	80.87	151.63	388.38	Dev.St. 2024	452.30	146.06	180.80	75.87	398.75	256.85	313.91
Dev.St. 2025	46.93	49.24	85.39	52.64	90.57	57.44	86.21	61.70	431.78	55.67	42.49	265.35	Dev.St. 2025	92.83	49.17	69.95	26.43	76.03	34.66	79.70
Minimo 2024	12.24	27.54	232.56	48.96	113.22	119.34	12.24	64.26	42.84	3.06	39.78	1279.08	Minimo 2024	57.33	20.99	46.07	25.78	81.21	23.40	23.40
Minimo 2025	3.06	3.06	67.32	30.60	64.26	33.66	3.06	18.36	33.66	3.06	21.42	379.44	Minimo 2025	15.61	2.06	6.16	7.55	30.27	10.89	2.06
Massimo 2024	247.86	247.86	642.60	801.72	731.34	1279.08	3.06	195.84	2034.90	272.34	529.38	2034.90	Massimo 2024	1734.15	523.84	519.60	284.21	1538.80	752.00	1734.15
Massimo 2025	162.18	186.66	379.44	198.90	330.48	229.50	3.06	235.62	1557.54	159.12	174.42	1557.54	Massimo 2025	284.63	166.54	242.23	104.15	268.98	125.95	284.63
Ptot (ug P/L)	Pozzolo	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	Grazie	TOTALE	P11	P4	P-CS	P-F	TOTALE	Ptot (kg P/giorno)	Pozzolo	Pozz. valle	Goito	Goldone	Rivalta	Osone	TOTALE*
Media 2024	49.92	66.33	235.00	126.42	209.75	177.42	144.14	86.83	281.75	55.92	84.83	127.33	Media 2024	362.01	119.19	155.52	67.20	205.25	105.68	179.13
Media 2025	44.58	60.00	197.83	104.42	205.17	143.58	125.93	66.92	191.00	36.08	64.60	90.74	Media 2025	143.45	63.90	94.89	46.7			

Tabella 12. Confronti (Mann_Whitney U test) tra periodo non irriguo e irriguo, e nel dettaglio tra periodo pre irriguo e irriguo, irriguo e post-irriguo, pre e post irriguo, per concentrazioni e carichi di ogni specie chimica e per ogni stazione, per gli anni 2024 e 2025. Sono riportati solo i confronti che hanno riportato almeno un confronto positivamente differente (valore p indicato in rosso).

Concentrazioni									Carichi																						
Irriguo e non				Pre e irriguo				Irriguo e post irriguo				Pre e post irriguo				Irriguo e non				Pre e irriguo				Irriguo e post irriguo				Pre e post irriguo			
		2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025			2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025			2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025		
NH4 (ug NH4/L)	Q14	N.s.	0.009	N.s.	0.020	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	NH4 (kg NH4/giorno)	Q1	N.s.	0.035	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	NH4 (kg NH4/giorno)	Q14	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.		
NO2 (ug NO2/L)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	NO2 (kg NO2/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	NO2 (kg NO2/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	N.s.		
NO2 (ug NO2/L)	Q7	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	NO2 (kg NO2/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	NO2 (kg NO2/giorno)	Q14	0.016	0.009	0.028	0.037	N.s.	0.037	N.s.	N.s.		
NO2 (ug NO2/L)	Q13	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	NO3 (kg NO3/giorno)	Q1	0.042	0.035	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	NO3 (kg NO3/giorno)	Q12	0.042	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.		
NO2 (ug NO2/L)	Q14	0.016	0.006	0.028	0.020	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	NO3 (kg NO3/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	NO3 (kg NO3/giorno)	Q14	0.0162	0.0058	0.0282	0.0200	N.s.	0.037	N.s.	N.s.		
NO2 (ug NO2/L)	Q6	0.016	0.006	0.028	0.020	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	Ntot (kg N/g)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	Ntot (kg N/g)	Q14	0.0162	0.0058	0.0282	0.0200	N.s.	0.037	N.s.	N.s.		
NO3 (ug NO3/L)	Q7	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	Ntot (kg N/g)	Q7	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO3 (ug NO3/L)	Q12	0.016	0.009	0.028	0.037	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	N.s.		
NO3 (ug NO3/L)	Q13	0.016	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO3 (ug NO3/L)	Q14	0.016	0.006	0.028	0.020	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO3 (ug NO3/L)	Q6	0.016	0.015	0.028	0.020	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	Q7	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	Q12	0.027	0.009	0.053	0.037	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	Q13	0.016	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	Q14	0.016	0.006	0.028	0.020	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	Q6	0.016	0.006	0.028	0.020	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
SRP (ug PO4/L)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.027	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q7	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
SRP (ug PO4/L)	Q7	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.027	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
SRP (ug PO4/L)	Q14	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
SRP (ug PO4/L)	Q6	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ptot (ug P/L)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ptot (ug P/L)	Q7	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ptot (ug P/L)	Q12	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.050	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ptot (ug P/L)	Q14	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Porg (microgN/L)	Q1	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.039	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Silice (mg SiO2/L)	Q7	N.s.	0.009	N.s.	0.020	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Silice (mg SiO2/L)	Q12	0.041	0.023	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Silice (mg SiO2/L)	Q14	0.033	0.023	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO2 (ug NO2/L)	P11	N.s.	0.025	N.s.	0.027	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO2 (ug NO2/L)	P-F	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.031	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO2 (ug NO2/L)	P4	0.015	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	0.032	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO3 (ug NO3/L)	P11	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO3 (ug NO3/L)	P-CS	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
NO3 (ug NO3/L)	P4	0.042	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	P11	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	P-CS	0.042	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ntot (ug N/L)	P4	0.042	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ptot (ug P/L)	P11	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ptot (ug P/L)	P-CS	0.027	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Ptot (ug P/L)	P-F	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Porg (microgN/L)	P11	0.042	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Porg (microgN/L)	P4	N.s.	N.s.	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Silice (mg SiO2/L)	P11	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Silice (mg SiO2/L)	P-CS	0.016	N.s.	0.028	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
Silice (mg SiO2/L)	P-F	0.159	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	0.048	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
SRP (ug PO4/L)	P11	N.s.	0.023	N.s.	0.037	N.s.	N.s.	N.s.	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
SRP (ug PO4/L)	P-CS	0.040	0.006	0.028	0.020	N.s.	0.037	0.025	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		
SRP (ug PO4/L)	P-F	0.195	0.012	0.028	N.s.	N.s.	0.037	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.	PO4 (kg PO4/giorno)	Q13	N.s.	N.s.	xxx	N.s.	N.s.	N.s.	0.028	N.s.		

3.6. Carichi nutrienti e silice

La misurazione contemporanea delle portate e delle concentrazioni di nutrienti e silice ha permesso di calcolare i carichi trasportati dal Fiume Mincio nelle sezioni Pozzolo, Pozzolo valle partitore, Goito, Rivalta, e dai canali Goldone e Osone. I carichi sono calcolati come prodotto della concentrazione per la portata, ed espressi in kg/giorno, ed esprimono i chilogrammi di nutrienti che hanno transitato nelle acque del Mincio e dei canali nel giorno in cui sono state effettuate le misure e raccolti i campioni. Anche se misurati su un solo giorno, i carichi approssimano il trasporto solido del periodo, e forniscono indicazioni che vengono estrapolate al periodo mensile. Per favorire il confronto con i dati della campagna 2024, si riportano i valori riassuntivi delle due campagne in Tabella 11. A seguire, la descrizione in dettaglio dell'andamento temporale e spaziale dei carichi, e il confronto con i dati 2024, per ogni specie chimica. In generale nel 2024, a causa dell'elevata portata causata dalle protrate precipitazioni, e del forte dilavamento superficiale, i carichi sono stati molto elevati, per quasi tutte le specie chimiche superiori a quelli del 2025. Nella seguente disamina dei dati viene omessa la valutazione del contributo della falda, che può essere quantificato solo nel tratto di Mincio naturale compreso tra Pozzolo e Goito.

I carichi di NH₄⁺ (Figura 19) sono stati in media più elevati nel 2025 rispetto al 2024, dovuti a carichi maggiori in tutte le stazioni Mincio, e a carichi minori nei canali; la variabilità (espressa come deviazione standard) e i valori di picchi di massima sono in media minori nel 2025, e dovuta alla ridotta variabilità e ridotti picchi dei due canali e di Mincio Rivalta (Tabella 11). L'andamento dei carichi di NH₄⁺ nel tratto di Mincio naturale (Pozzolo-Goito) seguono quanto registrato per il 2024: sono massimi a Pozzolo, sono ridotti a valle

</

del partitore di Pozzolo a causa della deviazione di una parte consistente della portata e quindi si riducono a Goito in gennaio-marzo, giugno, agosto, novembre, dicembre (nel 2024 la riduzione era estesa a tutto l'anno), probabilmente per processi ossidativi, ma mantengono generalmente le stesse variazioni temporali. Le stazioni differiscono tra loro per i valori di carico nel periodo irriguo sia nel 2024 che nel 2025; nel 2024 anche i carichi dei periodi pre irrigui differiscono tra stazioni (Figura 20). Il canale Goldone trasporta poco NH_4^+ (nel 2024, nel mese di dicembre si è registrato un forte picco, presente anche a Rivalta, e nel canale Osone, nel 2025 sono presenti picchi meno rilevanti rispetto al 2024 in gennaio, maggio, luglio). A differenza del 2024, nel 2025 i carichi a Rivalta sono in media inferiori che a Goito, i picchi presenti a Goito in aprile, giugno e settembre risultano assorbiti nel tratto Goito-Rivalta. Il canale Osone trasporta poco NH_4^+ ma più del canale Goldone (così come nel 2024), con picchi a gennaio e novembre e diminuzione significativa tra periodo pre irriguo e irriguo. Differenze significative tra periodo pre-irriguo e irriguo nei carichi di NH_4^+ sono state riscontrate solo al canale Osone dove i carichi diminuiscono con l'inizio dell'irrigazione, e tra pre e post irriguo, anche qui con una diminuzione nel secondo periodo, a Mincio Pozzolo (

Tabella 12); quest'ultima stazione è la più variabile temporalmente (Figura 20).

I **carichi di NO₂** (Figura 19) sono stati in media più bassi nel 2025 che nel 2024, dovuti a carichi medi minori in tutte le stazioni tranne nel canale Goldone, che ha trasportato un valore in media leggermente più elevato nel 2025; la variabilità e i valori di picchi di massima sono minori nel 2025 sia sul totale che in tutte le stazioni tranne Pozzolo valle (Tabella 11). Come per l'ammonio anche il nitrito, essendo similmente specie labile, subisce processi di ossidazione a nitrato, per cui (come nel 2024) si è osservata una diminuzione lungo la progressione chilometrica del fiume da Pozzolo a Goito, dove aumentano da gennaio a luglio (Pozzolo monte e valle) o a giugno (Goito), quindi decrescono e risalgono a novembre (con un picco a Goito). I carichi sono bassi nei canali e più elevati a Rivalta, il picco di novembre rilevato a Goito è presente anche a canale Goldone e Rivalta. Le stazioni differiscono tra loro per i valori di carico nel periodo irriguo sia nel 2024 che nel 2025; nel 2024 anche i carichi dei periodi pre irrigui differiscono tra stazioni (Figura 20). Differenze significative tra periodo pre-irriguo e irriguo nei carichi di NO₂ sono state riscontrate a canale Osonne dove i carichi diminuiscono nel periodo irriguo e aumentano di nuovo in quello post irriguo, e a Mincio Rivalta dove i carichi aumentano significativamente passando da periodo irriguo e post-irriguo a causa dei picchi di novembre e dicembre (

Tabella 12, Figura 20); nel 2024 differenze tra periodo irriguo e non irriguo erano presenti a Pozzolo (

Tabella 12, Figura 20).

I **carichi di NO_3^-** (Figura 19) sono stati in media più bassi nel 2025 che nel 2024, dovuti a carichi minori in tutte le stazioni tranne Pozzolo valle e Goito, che hanno trasportato un carico in media leggermente più elevato nel 2025; la variabilità è stata minore in media e per tutti i siti nel 2025, i valori di picchi di massima sono minori nel 2025 sia in media che in tutte le stazioni tranne canale Goldone (Tabella 11). Nel 2025, i valori elevati a Pozzolo si riducono a Pozzolo valle, ma aumentano nuovamente a Goito a causa sia dell'ossidazione dei composti ridotti (che infatti diminuiscono progressivamente in questo tratto) che probabilmente dall'apporto dalla falda (questo andamento era già stato rilevato nel 2025). I carichi sono elevati anche a Rivalta, mentre è ridotto l'apporto dai canali (a differenza del 2024, quando i carichi erano anche elevati nei due canali). Un picco a novembre è misurato a Pozzolo, Pozzolo valle, canale Osone. Le stazioni differiscono tra loro per i valori di carico nel periodo irriguo sia nel 2024 che nel 2025 (Figura 20). Diminuzioni significative in carichi tra periodo pre irriguo e irriguo nei carichi di NO_3^- sono state riscontrate nel canale Osone sia nel 2024 che nel 2025, mentre diminuzioni tra periodo irriguo e post irriguo a Pozzolo e Rivalta (Figura 20).

I **carichi di N totale** (Figura 19) sono stati in media più bassi nel 2025 che nel 2024, dovuti a carichi minori in tutte le stazioni tranne canale Goldone che ha trasportato un carico in media quasi doppio a quello del 2024; la variabilità è stata minore in media e per tutti i siti nel 2025, i valori di picchi di massima sono minori nel 2025 sia in media che in tutte le stazioni (Tabella 11). Le dinamiche dell'N totale sono sostanzialmente le stesse dei nitrati data la concentrazione sempre molto superiore di questa specie chimica rispetto alle forme più labili; le stazioni differiscono tra loro per i valori di carico nel periodo irriguo sia nel 2024 che nel 2025; nel 2024 anche i carichi dei periodi pre irrigui differiscono tra stazioni (Figura 20). Differenze significative tra periodo pre-irriguo e irriguo nei carichi di N totale sono state riscontrate per il canale Osone dove i carichi diminuiscono con il periodo irriguo (come nel 2024), e tra periodo irriguo e post irriguo a Pozzolo dove i carichi diminuiscono alla fine dell'irrigazione e a canale Osone dove aumentano (

Tabella 12, Figura 20).

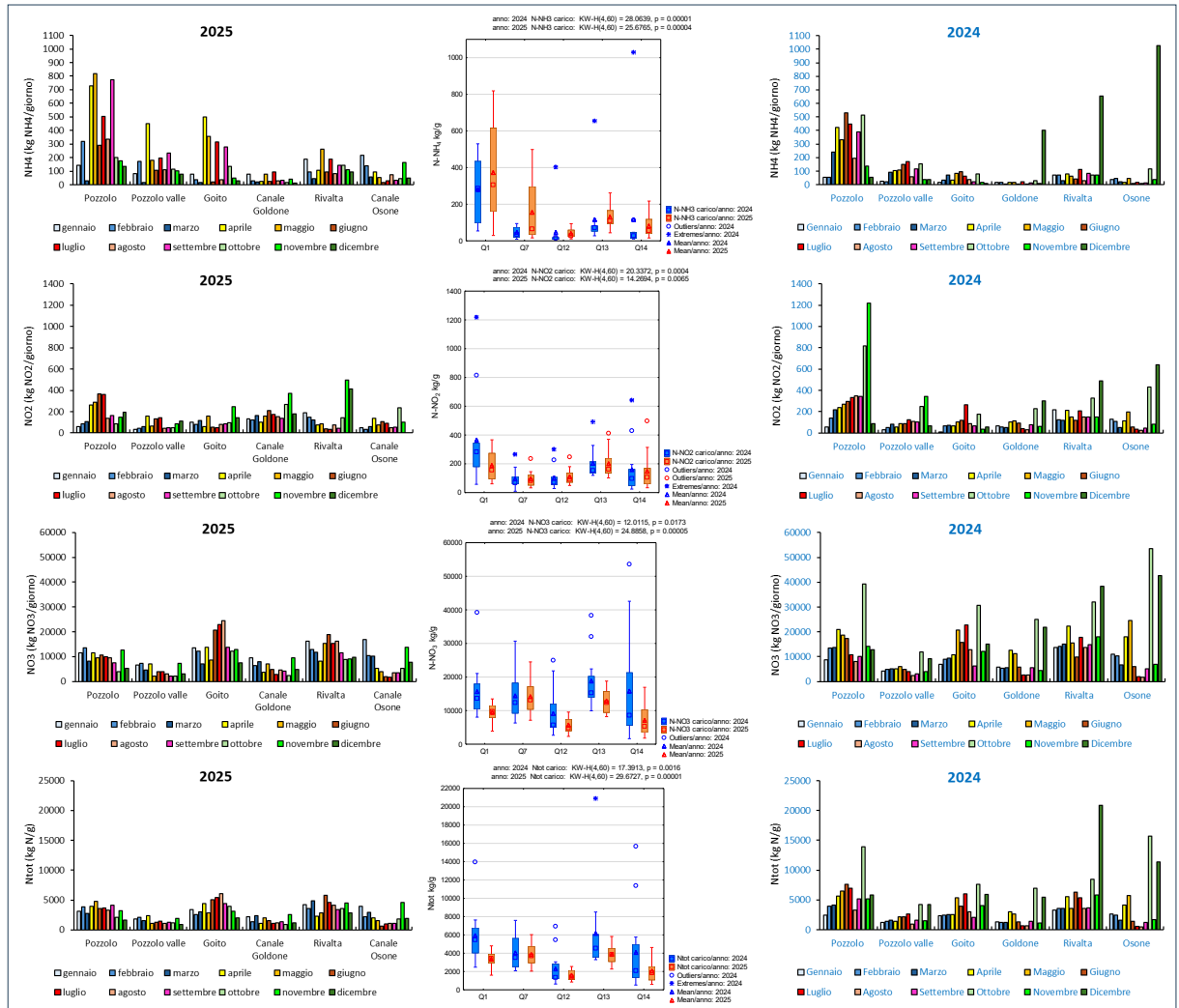


Figura 19. Variazione dei carichi dei composti dell'azoto e dell'azoto totale misurati nel corso del monitoraggio. Sinistra: valori mensili 2025; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili; destra: valori mensili 2024.

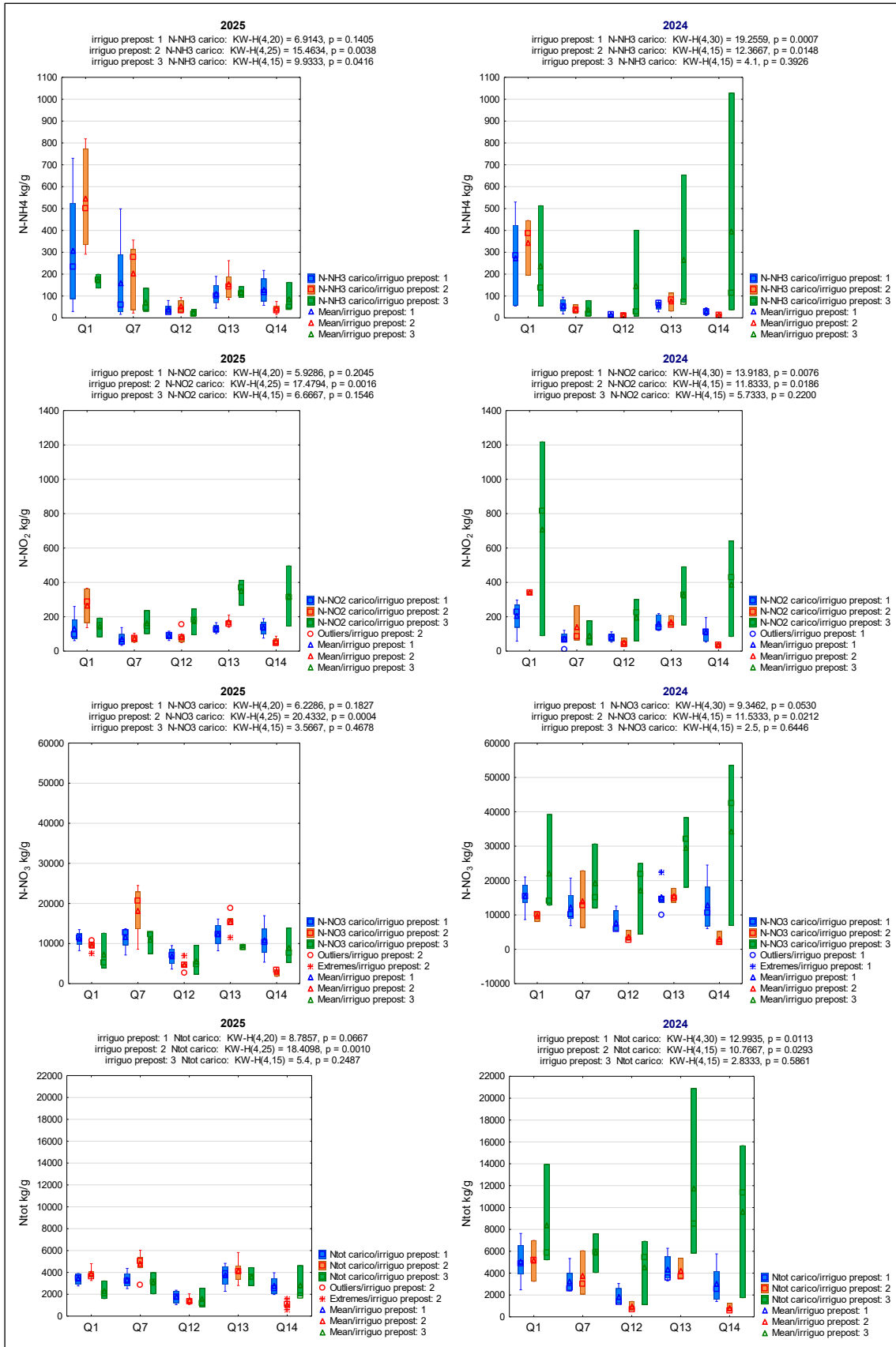


Figura 20. Confronti tra periodo pre irriguo, irriguo, post irriguo per i composti dell'azoto. Periodo 1: pre-irriguo (gennaio-marzo), periodo 2: irriguo (aprile-settembre); periodo 3: post- irriguo (ottobre-dicembre). Dati campagne 2024 e 2025.

I **carichi di SRP** (Figura 21) sono stati in media più bassi nel 2025 che nel 2024, dovuti a carichi minori in tutte le stazioni; anche la variabilità e i valori di picchi di massima sono stati minore in media e per tutti i siti nel 2025 (Tabella 11). I carichi sono diminuiti sia in media che come valori mensili da Pozzolo a Pozzolo valle, ma sono aumentati nuovamente a Goito, i due canali hanno apportato carichi relativamente bassi, i valori sono elevati a Rivalta a causa di un arricchimento nel tratto Goito Rivalta, attribuibile solo in minima parte all'apporto del canale Goldone, che è relativamente basso. In generale, si osserva un picco in gennaio seguito da un brusco decremento in febbraio, i valori a marzo sono di nuovo elevati in tutte le stazioni, dove con il mese di aprile, in corrispondenza dell'inizio del periodo irriguo, i valori diminuiscono (diluizione). Al termine del periodo irriguo, i carichi aumentano di nuovo (tranne a canale Goldone); in ottobre, nel 2024 i carichi aumentano fortemente a Pozzolo e sono parzialmente abbattuti nel transito fino a Rivalta; similmente, nel 2025 i carichi di SRP aumentano (arricchimento dall'apporto di falda e/o dal dilavamento superficiale) da Pozzolo a Goito, e vengono parzialmente abbattuti a Rivalta. In tutte le stazioni il carico aumenta raggiungendo un picco a novembre, solo parzialmente abbattuto da Pozzolo a Rivalta, i valori decrescono fortemente a dicembre in tutte le stazioni (nel 2024 si è registrato un secondo picco a dicembre lungo l'asta del Mincio che, non venendo abbattuto, raggiungeva un massimo arricchimento a Rivalta). Le stazioni differiscono tra loro per i valori di carico nel periodo irriguo sia nel 2024 che nel 2025; nel 2024 anche i carichi dei periodi pre irrigui differiscono tra stazioni (Figura 22). Differenze significative tra periodo non irriguo e irriguo nei carichi di SRP non sono state riscontrate nel 2025, mentre nel 2024 (

Tabella 12) a Goito e a Rivalta i carichi del periodo post irriguo erano significativamente più elevati di quelli del periodo irriguo (Figura 22).

I **carichi di P totale** (Figura 21) sono stati in media più bassi nel 2025 che nel 2024, dovuti a carichi minori in tutte le stazioni; la variabilità è stata minore in media e per tutti i siti nel 2025, i valori di picchi di massima sono minori nel 2025 sia in media che in tutte le stazioni (Tabella 11). Il carico di P totale viene parzialmente abbattuto tra Pozzolo e Goito e aumenta a Rivalta, con un trascurabile apporto dal canale Goldone. Sono state riscontrate differenze significative tra periodo irriguo e post irriguo nei carichi di P totale a Pozzolo, dove diminuiscono, e Canale Goldone dove aumentano; nel 2024 a Rivalta i carichi del periodo post irriguo erano significativamente più elevati di quelli del periodo pre irriguo (Figura 22).

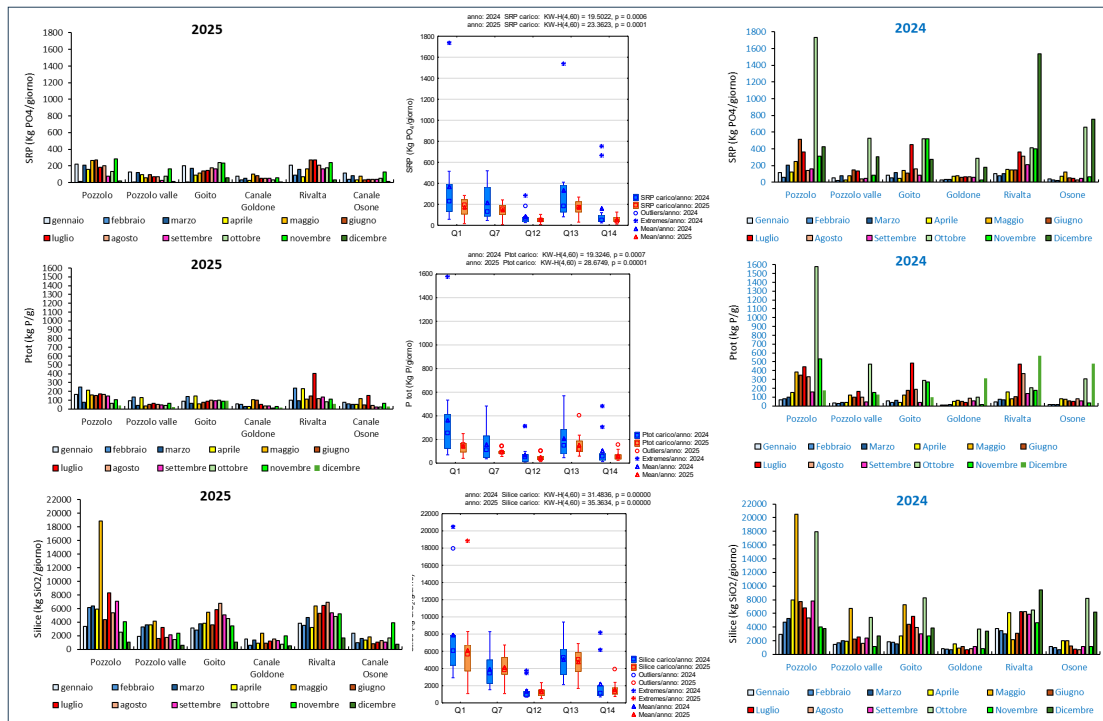


Figura 21. Variazione dei carichi della SRP, del P totale, e della silice reattiva disciolta (SiO₂) misurati nel corso del monitoraggio. Sinistra: valori mensili 2025; centro: box plot di valori medi, mediani e variabilità, calcolata dai dati mensili; destra: valori mensili 2024.

I **carichi di SiO₂** (Figura 21), sono stati in media più bassi nel 2025 che nel 2024, dovuti a carichi minori in tutte le stazioni; la variabilità è stata minore in media e per tutti i siti nel 2025, i valori di picchi di massima sono minori nel 2025 sia in media che in tutte le stazioni (Tabella 11). Nel 2024, un picco massimo, registrato il mese precedente l'inizio del periodo irriguo (maggio) a Pozzolo veniva fortemente abbattuto nel transito lungo il Mincio, un picco a maggio è presente nel 2025 sempre a Pozzolo. Nello stesso mese la concentrazione di SiO₂ nelle acque di falda del pozzo P11, superficiale e in sinistra idraulica, che si ricarica da acque superficiali, è leggermente più elevata di quella degli altri pozzi, inclusa quella del pozzo P-F, di profondità comparabile, situato in destra idraulica, cioè nella zona che ricarica il fiume; questo suggerirebbe un apporto di silicati dalla falda ma che la componente più cospicua sia dovuta ai fenomeni di dilavamento superficiale, forse dovuto agli eventi piovosi antecedenti alla raccolta dei campioni e della misura della portata, che è risultata massima in quella data. I carichi differiscono tra stazioni sia nella stagione pre irrigua che in quella irrigua, così come rilevato nel 2024 (Figura 22); il carico di silice è più elevato nel periodo irriguo e con un leggero abbattimento da Pozzolo a Goito e un successivo arricchimento da Goito a Rivalta, e un apporto poco rilevante dai canali, dove invece i carichi rimangono simili (canale Goldone) o diminuiscono (canale Osone) nel passaggio da periodo pre irriguo a irriguo (Figura 20). Le differenze tra periodo pre irriguo e irriguo sono significativi a Rivalta, dove sia nel 2024 che nel 2025 si è verificato un aumento consistente con l'inizio del

periodo irriguo; nel 2025 alla fine del periodo irriguo i carichi diminuiscono significativamente a Pozzolo e a Rivalta (

Tabella 12, Figura 20).

Come già presentato per il trasporto solido, il calcolo della differenza tra i carichi annui di nutrienti e di silice stimati transitare a Pozzolo Valle e Goito (ottenuti estrapolando dal valore medio di carichi/giorno calcolato sui 12 mesi, e moltiplicato per 365) permette di ottenere una stima grossolana della quantità di sedimenti che vengono assorbiti o prodotti nel tratto di Mincio naturale compreso tra le due stazioni (

Tabella 9), si riportano anche i valori 2024 per un confronto più preciso. Valori positivi, che indicano una diminuzione della concentrazione nel tratto indicato, e quindi un assorbimento della specie chimica in oggetto, sono stati riscontrati nel 2024 per azoto ammoniacale e nitroso, cioè le forme più labili che vengono velocemente ossidate; nel 2025 nessuna specie chimica risulta essere assorbita nel tratto. I valori di budget negativo, che indicano un arricchimento nella specie chimica presumibilmente per apporto dalle acque di falda e da runoff superficiale nei periodo di elevate precipitazioni, sono stati misurati nel 2024 per azoto nitrico e azoto totale, per SRP e fosforo totale, per la silice, mentre nel 2025 tutti le forme di nutrienti e la silice arricchiscono le acque superficiali in questo tratto del Minio naturale.

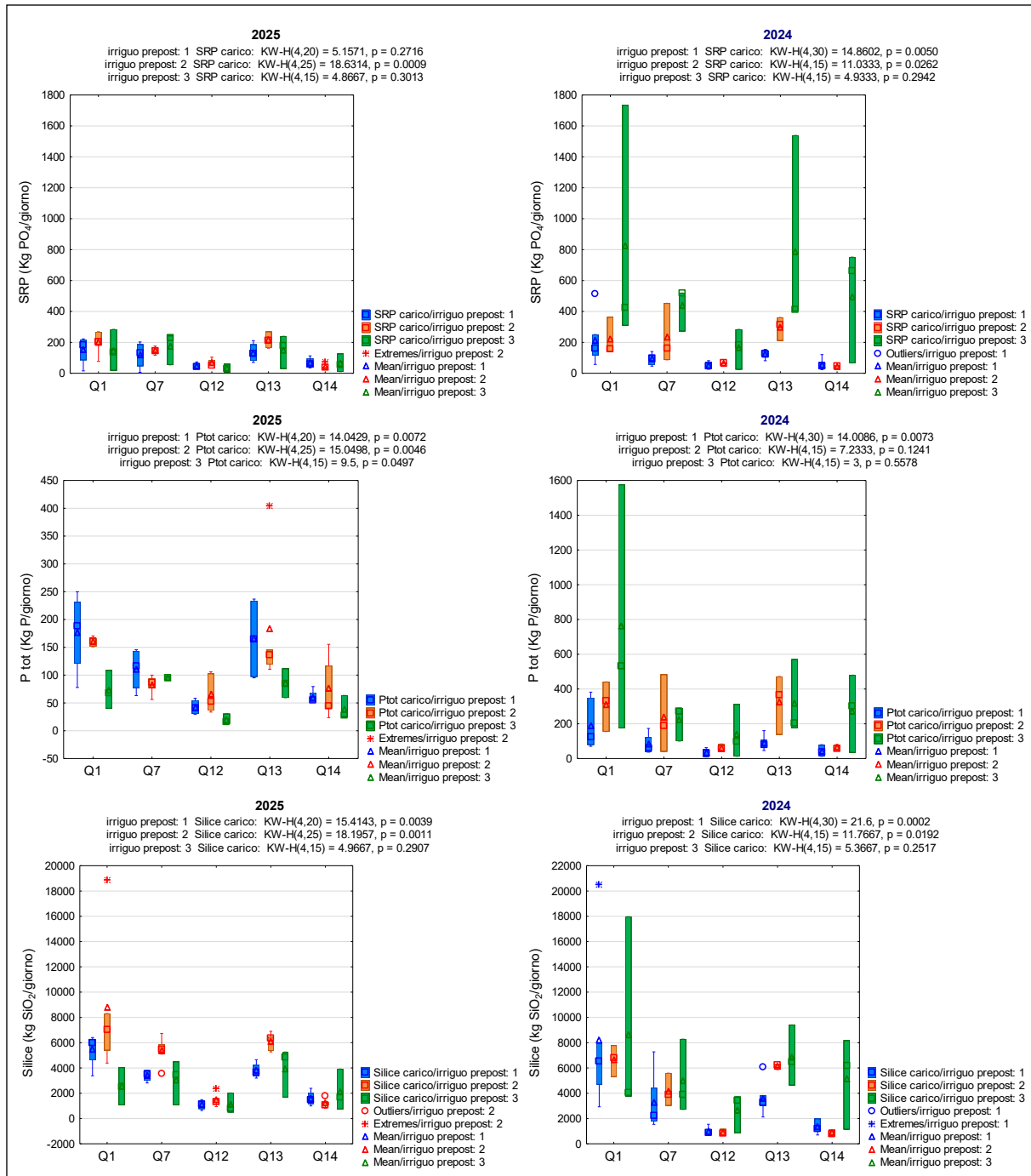


Figura 22. Confronti tra periodo pre irriguo, irriguo, post irriguo per i composti del fosforo e della silice. Periodo 1: pre-irriguo (gennaio-marzo), periodo 2: irriguo (aprile-settembre); periodo 3: post- irriguo (ottobre-dicembre). Dati campagne 2024 e 2025.

3.7. Altre variabili fisico-chimiche

La conducibilità è direttamente correlata al contenuto di specie ioniche. Nella Figura 23 è riportata la distribuzione di questo parametro nei diversi siti di campionamento nei due anni di campionamento, i valori medi e mediani registrati nei due anni sono simili, le uniche differenze significative tra i due anni sono Mincio Goito (Mann Whitney U test, $p = 0.035$) per le stazioni superficiali, dove nel 2025 la conducibilità è stata significativamente più elevata del 2024; , e il pozzo P11 ($p = 0.009$) per le stazioni di falda, dove la conducibilità è stata più bassa. Lungo l'asta del fiume, da Pozzolo a Rivalta, si osserva un graduale costante arricchimento in ioni dell'acqua. In questi tre siti le variazioni stagionali sono molto contenute. Nel sito delle Grazie, invece, il contenuto di ioni risente fortemente degli elevati apporti dai canali Goldone ed Osone e ne ripete gli andamenti, l'arricchimento in specie chimiche non si riscontra invece a Rivalta. I due canali e Mincio Grazie mostrano una grande variabilità stagionale con valori generalmente compresi tra 300 e 800 microS/cm, mentre nei quattro pozzi i valori sono più costanti nel tempo e i valori medi di attestano tra i 400 ed i 550 microS/cm.

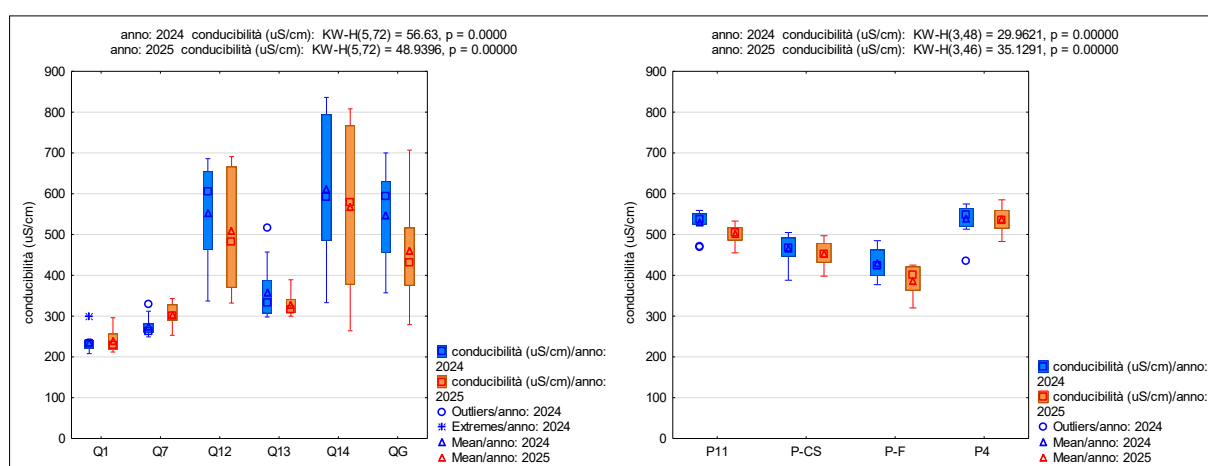


Figura 23. Conducibilità ionica (dati campagne 2024 e 2025)

Nel grafico di Figura 24, sono riportati i valori di conducibilità dei tre siti con più variabilità stagionale. I valori più alti si riscontrano da ottobre a marzo, quelli più bassi tra aprile e settembre, durante il periodo irriguo.

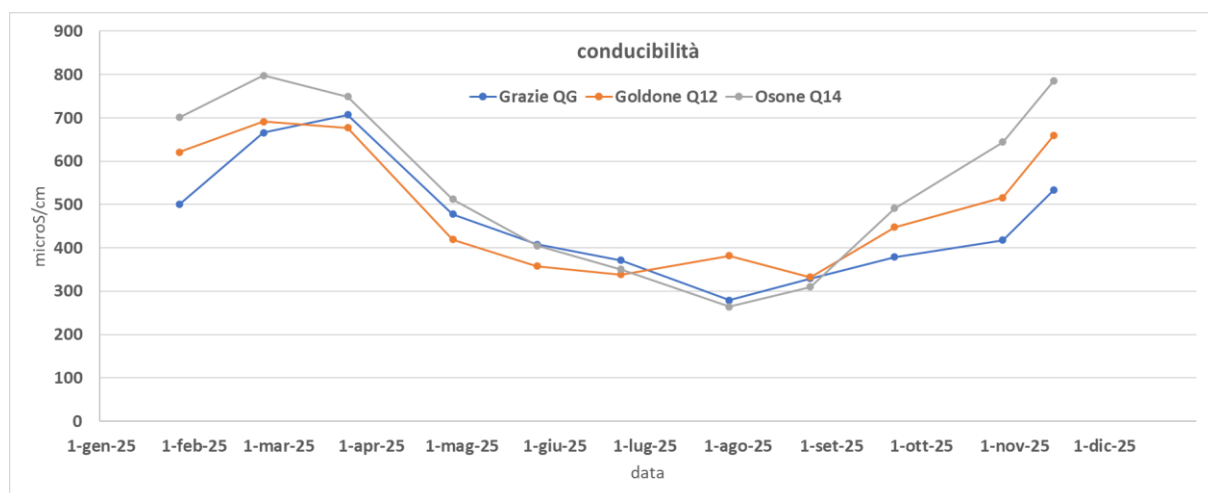


Figura 24. Andamento stagionale della conducibilità nei canali Goldone e Osone e nel sito Mincio Grazie (dati 2025)

Le componenti ioniche principali sono costituite da bicarbonati, solfati, cloruri e nitrati (anioni) e calcio, magnesio, sodio e potassio (cationi). La loro distribuzione è riportata in maniera schematica in Figura

25. Il bicarbonato ed il calcio rappresentano i componenti maggioritari in tutti i siti e sono quelli con maggior variabilità. Le differenze di conducibilità evidenziate precedentemente sono causate essenzialmente da oscillazioni di queste due specie. Le altre componenti anioniche (solfati, cloruri e nitrati) e cationiche (sodio, potassio e magnesio) mostrano variabilità molto contenute.

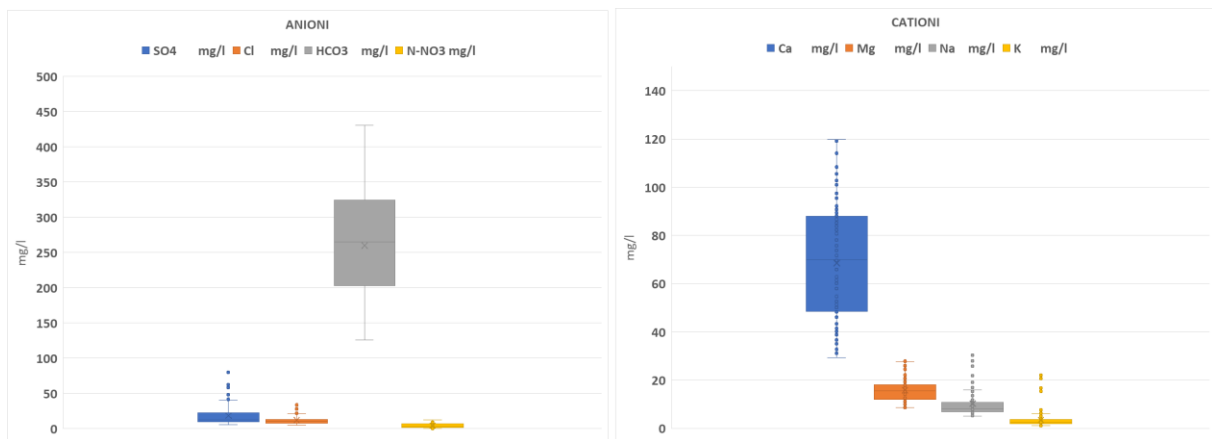


Figura 25. Rappresentazione complessiva delle concentrazioni degli anioni e cationi in tutti i siti di campionamento (dati 2025).

Per classificare le acque in base al contenuto ionico è stato utilizzato il diagramma di Piper (Figura 26), che mette in relazione le varie componenti ioniche e permette di evidenziare similitudini e differenze tra campioni di diversa origine (spaziale o temporale). Considerando tutti i dati raccolti nel 2025, è stato possibile confermare l'omogeneità dei campioni, come atteso considerato che i campioni appartengono allo stesso bacino: nella figura si osserva che tutti i punti sono racchiusi nello stesso quadrante. I campioni possono essere tutti classificati come di tipo "calcio-bicarbonato", essendo calcio e bicarbonato, rispettivamente il catione e l'anione predominante, come già evidenziato precedentemente.

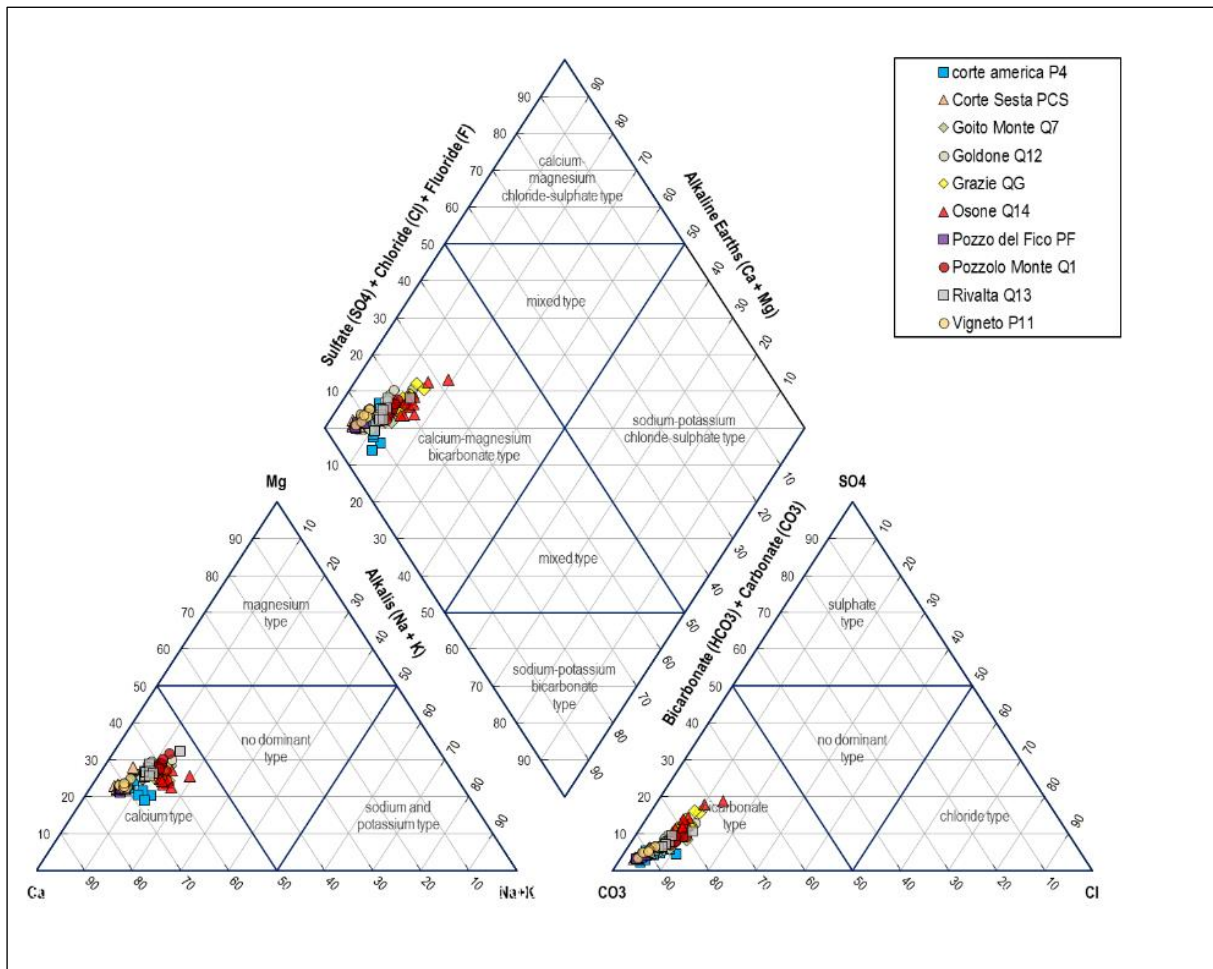


Figura 26. Diagramma di Piper (dati 2025)

Andando a considerare più nel dettaglio i dati, si può scorgere una piccola variabilità tra i campioni nel rapporto tra anioni (triangolo in basso a destra di Figura 26). In particolare, possiamo differenziare vari tipi di campioni a seconda del rapporto bicarbonati/solfati. In alcuni campioni l'anione bicarbonato è quello di gran lunga preponderante, in altri una quota di questo ione è sostituito con solfato. La Figura 27 illustra nel dettaglio queste differenze. Si possono distinguere tre gruppi di campioni: le acque di falda, con valori del rapporto HCO_3/SO_4 più alti; le acque dell'asta principale del fiume, con valori intermedi; ed infine le acque dei due canali, con valori più bassi. Si può notare come nel sito delle Grazie, il rapporto HCO_3/SO_4 risenta dell'apporto di più elevate quantità di solfati portate dai canali.

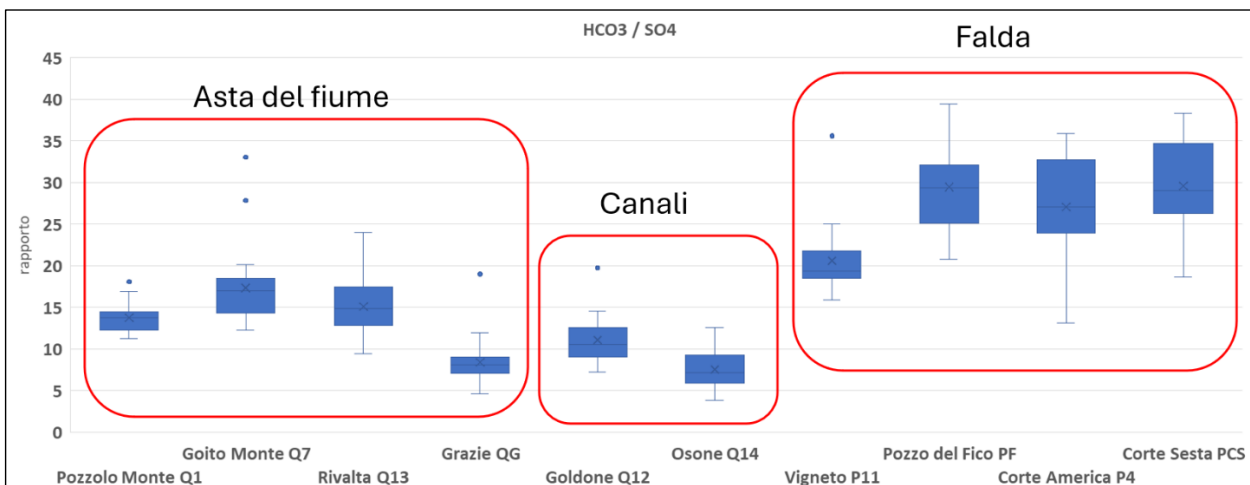


Figura 27. Confronto del rapporto bicarbonato/solfati nei vari siti di campionamento (dati 2025)

3.8 LIMeco

L'indice LIMeco calcolato per ogni stazione di acque superficiali, e per ogni data di campionamento (Figura 28, Tabella 13) nel 2024 mostrava un peggioramento del valore muovendosi longitudinalmente lungo il Mincio con qualità in media elevata a Pozzolo e Goito, in media sufficiente a Rivalta con una forte stagionalità (qualità elevata- fino a marzo, scade a buona in aprile, a sufficiente in maggio-settembre, a scarsa in ottobre, e recupera a elevato-buono da novembre), scarsa a Mincio Grazie, anche qui con un peggioramento da maggio a dicembre, e nei due canali acque in media di qualità sufficiente (Osone) o scarsa (Goldone). Nel 2024 i due canali probabilmente contribuivano a peggiorare la qualità nelle stazioni Mincio Rivalta e Grazie. Nel 2025 (Figura 28, Tabella 13) si osserva un peggioramento di qualità longitudinalmente lungo il Mincio: la qualità scade nelle stazioni Mincio Pozzolo (che passa da qualità elevata a buona), Mincio Goito (che scende di due classi, da buono a sufficiente) e Rivalta (che scade da sufficiente a scarso), mentre rimane in qualità scarsa a Mincio Grazie; la qualità dei canali scade anche per il canale Osone che passa da sufficiente a scarso, e rimane scarsa per il canale Goldone.

Il calo di qualità rispetto al 2024 si verifica in media (Tabella 14) per tutte le stazioni in gennaio-aprile e giugno (in alcuni casi con scadimento di due classi, da sufficiente a cattivo nei canali, e di tre classi da elevato a sufficiente nel Mincio). Nel periodo irriguo (maggio-settembre), per la maggiore diluizione, la qualità rimane uguale al 2024 nei primi tre mesi, ma in settembre scade di una e due classi rispettivamente nei canali e nel Mincio; in ottobre la qualità si mantiene in media scarsa nei canali e sufficiente nel Mincio, in novembre la qualità scade di due classi nel Mincio e di una classe in totale passando da sufficiente a scarsa; in dicembre migliora di una classe nei canali e rimane sufficiente nel Mincio migliorando quindi in media da scarsa a sufficiente.

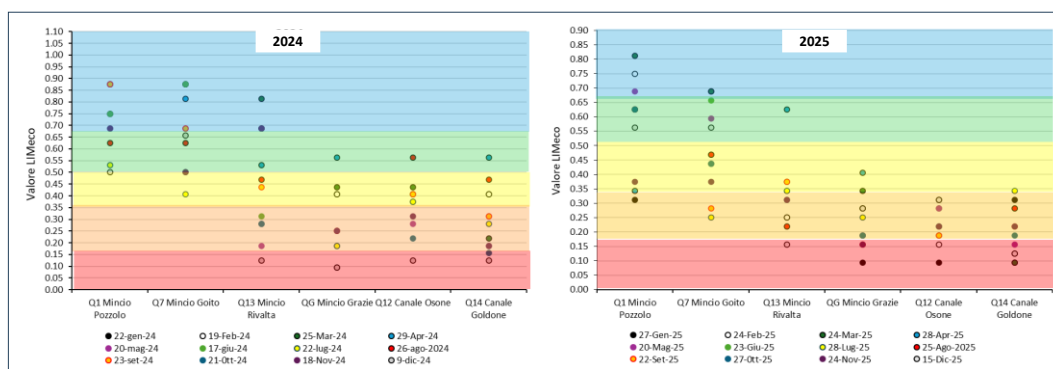


Figura 28. Valore dell'indice LIMeco calcolato per ogni data di campionamento e ogni stazione. Per confronto, si riportano anche i valori 2024. Le classi di qualità attribuite secondo i valori di LIMeco sono indicate con settori colorati in rosso: stato cattivo, arancione: stato scarso, giallo: stato sufficiente, verde: stato buono, azzurro: stato elevato.

Tabella 13. Tabella dei valori LIMeco calcolati per ogni stazione e data di campionamento. Per confronto, si riportano anche i valori 2024. Le classi di qualità attribuite secondo i valori di LIMeco sono indicate con celle colorate in rosso: stato cattivo, arancione: stato scarso, giallo: stato sufficiente, verde: stato buono, azzurro: stato elevato. I = periodo irriguo, NI = periodo non irriguo.

	Q1 Mincio		Q13 Mincio	QG Mincio	Q12 Canale	Q14 Canale	Media stazioni	Media stazioni	Media tutte
	Pozzolo	Q7 Mincio Goito	Rivalta	Grazie	Osone	Goldone	canali	Mincio	stazioni
2024									
NI 22-gen-24	0.875	0.875	0.688	0.406	0.406	0.406	0.406	0.711	0.609
NI 19-Feb-24	0.875	0.875	0.688	0.406	0.375	0.406	0.391	0.711	0.604
NI 25-Mar-24	0.750	0.875	0.813	0.438	0.438	0.219	0.328	0.719	0.589
NI 29-Apr-24	0.750	0.813	0.531	0.563	0.406	0.563	0.484	0.664	0.604
NI 20-mag-24	0.875	0.688	0.188	0.188	0.281	0.188	0.234	0.484	0.401
NI 17-giu-24	0.750	0.875	0.313	0.188	0.406	0.313	0.359	0.531	0.474
I 22-lug-24	0.531	0.406	0.281	0.188	0.375	0.281	0.328	0.352	0.344
I 26-ago-2024	0.625	0.625	0.469	0.250	0.563	0.469	0.516	0.492	0.500
I 23-set-24	0.875	0.688	0.438	0.250	0.406	0.313	0.359	0.563	0.495
NI 21-Ott-24	0.688	0.500	0.281	0.094	0.219	0.156	0.188	0.391	0.323
NI 18-Nov-24	0.688	0.500	0.688	0.250	0.313	0.188	0.250	0.531	0.438
NI 9-dic-24	0.500	0.656	0.125	0.094	0.125	0.125	0.125	0.344	0.271
Media	0.732	0.698	0.458	0.276	0.359	0.302	0.331	0.541	0.471
2025									
NI 27-Gen-25	0.313	0.438	0.250	0.094	0.094	0.313	0.203	0.273	0.250
NI 24-Feb-25	0.750	0.688	0.250	0.188	0.156	0.094	0.125	0.469	0.354
NI 24-Mar-25	0.813	0.688	0.375	0.344	0.188	0.094	0.141	0.555	0.417
NI 28-Apr-25	0.344	0.469	0.625	0.406	0.281	0.125	0.203	0.461	0.375
I 20-Mag-25	0.688	0.594	0.219	0.188	0.281	0.156	0.219	0.422	0.354
I 23-Giu-25	0.625	0.656	0.344	0.281	0.188	0.281	0.234	0.477	0.396
I 28-Lug-25	0.625	0.250	0.344	0.250	0.219	0.344	0.281	0.367	0.339
I 25-Ago-2025	0.625	0.469	0.219	0.281	0.313	0.281	0.297	0.398	0.365
I 22-Set-25	0.625	0.281	0.375	0.156	0.188	0.219	0.203	0.359	0.307
NI 27-Ott-25	0.625	0.438	0.313	0.188	0.219	0.188	0.203	0.391	0.328
NI 24-Nov-25	0.375	0.375	0.313	0.156	0.219	0.219	0.219	0.305	0.276
NI 15-Dic-25	0.563	0.563	0.156	0.281	0.313	0.125	0.219	0.391	0.333
Media	0.581	0.492	0.315	0.234	0.221	0.203	0.212	0.406	0.341

Tabella 14. Valori dell'indice LIMeco e classe di qualità (indicata dal colore) degli anni 2024 e 2025, calcolato mensilmente come media dei due canali, delle 4 stazioni Mincio, di tutte le 7 stazioni.

	Media stazioni canali	Media stazioni canali	Media stazioni Mincio	Media stazioni Mincio	Media tutte stazioni	Media tutte stazioni
	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Gennaio	0.406	0.203	0.711	0.273	0.609	0.250
Febbraio	0.391	0.125	0.711	0.469	0.604	0.354
Marzo	0.328	0.141	0.719	0.555	0.589	0.417
Aprile	0.484	0.203	0.664	0.461	0.604	0.375
Maggio	0.234	0.219	0.484	0.422	0.401	0.354
Giugno	0.359	0.234	0.531	0.477	0.474	0.396
Luglio	0.328	0.281	0.352	0.367	0.344	0.339
Agosto	0.516	0.297	0.492	0.398	0.500	0.365
Settembre	0.359	0.203	0.563	0.359	0.495	0.307
Ottobre	0.188	0.203	0.391	0.391	0.323	0.328
Novembre	0.250	0.219	0.531	0.305	0.438	0.276
Dicembre	0.125	0.219	0.344	0.391	0.271	0.333

Nel 2024 le criticità erano dovute soprattutto a valori elevati di nitrati, che in 29 casi si trovavano in stato cattivo e 8 in stato scarso, mentre nel 2025 questo parametro è meno critico (16 volte cattivo, 17 volte scarso) mentre aumenta l'impatto dell'azoto ammoniacale, con 7 campioni in stato cattivo e 23 in stato scarso e una parallela diminuzione dei campioni in stato elevato/buono (Tabella 15). Migliora lo stato del P totale, che presentava alcune criticità nel 2024 (stato cattivo/scarso), mentre diminuisce lo stato dell'ossigeno, con solo 6 campioni in stato elevato contro i 33 registrati nel 2024 (Tabella 15). Il valore di ognuno dei parametri componenti il LIMeco, per ogni stazione e data di campionamento, è riportato in Tabella 16.

Tabella 15. Numero di campioni (stazione/mese) che ricadono nei 5 livelli di qualità, per i quattro parametri utilizzati per il calcolo del LIMeco, per gli anni 2024 e 2025.

Stato	Livello NO ₃		Livello NH ₄		Livello P		Livello O ₂	
	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Cattivo	29	16	4	7	3	1	0	0
Scarso	8	17	7	23	18	11	10	5
Sufficiente	18	26	10	25	20	24	13	40
Buono	11	6	25	10	14	24	16	21
Elevato	6	7	26	7	17	12	33	6

Tabella 16. Lista dei valori dei singoli parametri che compongono l'indice LIMeco, valore dell'indice e classe di qualità, per ogni mese e stazione. A destra sono riportati gli intervalli di valori per la determinazione del valore del LIMeco e le corrispondenti classi di qualità.

	Livello	Livello	Livello P	Livello O ₂	Valore giudizio		Stato	LIMeco	
					LIMECO	LIMECO			
gennaio-25	Mincio/Pozzolo	0.250	0.250	0.500	0.250	0.3125	scasso		
febbraio-25	Mincio/Pozzolo	1.000	0.500	1.000	0.500	0.75	elevato	30.66	
marzo-25	Mincio/Pozzolo	1.000	1.000	1.000	0.250	0.6125	elevato	Buono	30.50
aprile-25	Mincio/Pozzolo	0.500	0.125	0.500	0.250	0.34375	sufficiente	Sufficiente	>0.33
maggio-25	Mincio/Pozzolo	1.000	0.250	1.000	0.500	0.6875	elevato	Scasso	<0.17
giugno-25	Mincio/Pozzolo	0.500	0.500	1.000	0.500	0.625	Buono	Cattivo	<0.17
luglio-25	Mincio/Pozzolo	1.000	0.250	1.000	0.250	0.625	Buono		
agosto-25	Mincio/Pozzolo	1.000	0.250	1.000	0.250	0.625	Buono		
settembre-25	Mincio/Pozzolo	1.000	0.250	1.000	0.250	0.625	Buono		
ottobre-25	Mincio/Pozzolo	1.000	0.250	1.000	0.250	0.625	Buono		
novembre-25	Mincio/Pozzolo	0.250	0.250	0.500	0.500	0.375	sufficiente		
dicembre-2025	Mincio/Pozzolo	0.500	0.250	1.000	0.500	0.5625	Buono		
gennaio-25	Mincio/ Goito	0.250	0.500	0.500	0.500	0.4375	sufficiente		
febbraio-25	Mincio/ Goito	0.250	1.000	0.500	1.000	0.6875	elevato		
marzo-25	Mincio/ Goito	0.500	1.000	1.000	0.250	0.6875	elevato		
aprile-25	Mincio/ Goito	0.250	0.125	0.500	1.000	0.46875	sufficiente		
maggio-25	Mincio/ Goito	0.250	0.125	1.000	1.000	0.59375	Buono		
giugno-25	Mincio/ Goito	0.125	1.000	0.500	1.000	0.65625	Buono		
luglio-25	Mincio/ Goito	0.125	0.125	0.500	0.250	0.25	scasso		
agosto-25	Mincio/ Goito	0.125	1.000	0.500	0.250	0.46875	sufficiente		
settembre-25	Mincio/ Goito	0.250	0.125	0.500	0.250	0.28125	scasso		
ottobre-25	Mincio/ Goito	0.250	0.500	0.500	0.500	0.4375	sufficiente		
novembre-25	Mincio/ Goito	0.250	0.500	0.500	0.250	0.375	sufficiente		
dicembre-2025	Mincio/ Goito	0.250	1.000	0.500	0.500	0.5625	Buono		
gennaio-25	Canale Goldone	0	0	0.125	0.250	0.09375	cattivo		
febbraio-25	Canale Goldone	0	0.125	0	0.500	0.15625	cattivo		
marzo-25	Canale Goldone	0	0.250	0.250	0.250	0.1875	scasso		
aprile-25	Canale Goldone	0.125	0.250	0.250	0.500	0.28125	scasso		
maggio-25	Canale Goldone	0.125	0.250	0.250	0.500	0.28125	scasso		
giugno-25	Canale Goldone	0.125	0.250	0.125	0.250	0.1875	scasso		
luglio-25	Canale Goldone	0.250	0.125	0.250	0.250	0.21875	scasso		
agosto-25	Canale Goldone	0.125	0.125	0.500	0.500	0.3125	scasso		
settembre-25	Canale Goldone	0.125	0.125	0.250	0.250	0.1875	scasso		
ottobre-25	Canale Goldone	0	0.125	0.250	0.500	0.21875	scasso		
novembre-25	Canale Goldone	0	0.125	0.250	0.500	0.21875	scasso		
dicembre-2025	Canale Goldone	0	0.250	0.250	0.500	0.25	scasso		
gennaio-25	Mincio/Rivalta	0.125	0.125	0.500	0.250	0.25	scasso		
febbraio-25	Mincio/Rivalta	0.250	0.500	0.250	0.500	0.375	sufficiente		
marzo-25	Mincio/Rivalta	0.250	1.000	1.000	0.250	0.625	Buono		
aprile-25	Mincio/Rivalta	0.250	0.250	0.125	0.250	0.21875	scasso		
maggio-25	Mincio/Rivalta	0.250	0.125	0.500	0.500	0.34375	sufficiente		
giugno-25	Mincio/Rivalta	0.125	0.500	0.500	0.250	0.34375	sufficiente		
luglio-25	Mincio/Rivalta	0.250	0.250	0.125	0.250	0.21875	scasso		
agosto-25	Mincio/Rivalta	0.250	0.500	0.500	0.250	0.375	sufficiente		
settembre-25	Mincio/Rivalta	0.250	0.250	0.500	0.250	0.3125	scasso		
ottobre-25	Mincio/Rivalta	0.250	0.250	0.500	0.250	0.3125	scasso		
novembre-25	Mincio/Rivalta	0.250	0.250	0.500	0.250	0.3125	scasso		
dicembre-2025	Mincio/Rivalta	0.250	0.250	0.500	0.250	0.3125	scasso		
gennaio-25	Canale Ozone	0	0	0.125	0.250	0.09375	cattivo		
febbraio-25	Canale Ozone	0	0	0.125	0.250	0.09375	cattivo		
marzo-25	Canale Ozone	0	0.125	0.125	0.250	0.125	cattivo		
aprile-25	Canale Ozone	0.125	0	0.250	0.250	0.15625	cattivo		
maggio-25	Canale Ozone	0.250	0.250	0.125	0.500	0.28125	scasso		
giugno-25	Canale Ozone	0.250	0.500	0.125	0.500	0.34375	sufficiente		
luglio-25	Canale Ozone	0.500	0.250	0.125	0.250	0.28125	scasso		
agosto-25	Canale Ozone	0.250	0.125	0.250	0.250	0.21875	scasso		
settembre-25	Canale Ozone	0.125	0.125	0.250	0.250	0.1875	scasso		
ottobre-25	Canale Ozone	0	0.125	0.250	0.500	0.21875	scasso		
novembre-25	Canale Ozone	0	0	0.250	0.250	0.125	cattivo		
dicembre-2025	Canale Ozone	0	0.125	0.250	0.250	0.15625	cattivo		
gennaio-25	Mincio Grazie	0	0	0.250	0.125	0.09375	cattivo		
febbraio-25	Mincio Grazie	0	0	0.250	0.500	0.1875	scasso		
marzo-25	Mincio Grazie	0	0.125	0.250	1.000	0.34375	sufficiente		
aprile-25	Mincio Grazie	0.125	0.250	0.250	1.000	0.40625	sufficiente		
maggio-25	Mincio Grazie	0.125	0.125	0.250	0.250	0.1875	scasso		
giugno-25	Mincio Grazie	0.250	0.500	0.250	0.125	0.28125	scasso		
luglio-25	Mincio Grazie	0.500	0.250	0.125	0.125	0.25	scasso		
agosto-25	Mincio Grazie	0.250	0.250	0.500	0.125	0.28125	scasso		
settembre-25	Mincio Grazie	0.125	0.125	0.250	0.125	0.15625	cattivo		
ottobre-25	Mincio Grazie	0.125	0.125	0.250	0.250	0.1875	scasso		
novembre-25	Mincio Grazie	0	0.125	0.250	0.250	0.15625	cattivo		
dicembre-2025	Mincio Grazie	0.125	0.250	0.500	0.250	0.28125	scasso		

I valori di LIMeco calcolati nel presente studio confrontati con le stazioni e i dati disponibili del monitoraggio ARPA Lombardia (Tabella 17), mostrano un peggioramento nel tratto Goito-Rivalta con valori più bassi di quelli registrati del 2018, mentre permane lo stato di qualità scarso dei due canali.

Tabella 17. Valori di LIMeco misurati da ARPA Lombardia (*, scaricati da <https://www.arpalombardia.it/dati/>) o nel presente studio come media dei 12 mesi campionati (**).

Stazione	2018*	2019*	2020*	2021*	2022*	2023*	2024**	2025**
Marmiolo = Q1	ELEVATO	ELEVATO	ELEVATO	ELEVATO	BUONO	BUONO	ELEVATO	BUONO
Goito = Q7	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	ELEVATO	BUONO	ELEVATO	SUFFICIENTE
Goldone (Canale) = Q 12	SCARSO	SCARSO	SCARSO	SCARSO	SUFFICIENTE	SCARSO	SUFFICIENTE	SCARSO
Rodigo = Q13	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SCARSO
Castellucchio =Q14	SCARSO	SCARSO	SCARSO	SCARSO	SCARSO	SCARSO	SCARSO	SCARSO

4. Riferimenti bibliografici

APAT, IRSA-CNR 2003, Metodi analitici per le acque. Vol. 1 sezione 2000 Parametri fisici, chimici e chimico-fisici. APAT, Manuali e Linee Guida 29, 72 pp.

APHA, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2023. Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE, eds. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24th ed. Washington DC: APHA Press; 2023.

Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), 914-928.

Regione Lombardia (2016). Bollettino Ufficiale, Serie Ordinaria, mercoledì 16 novembre 2016. https://www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/038113cd-cf61-4379-8f93-d9df40d14ff3/DGR_5736_2016.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-038113cd-cf61-4379-8f93-d9df40d14ff3-IVhVUju

Severini, E.; Bartoli, M.; Pinardi, M.; Celico, F. Reactive Silica Traces Manure Spreading in Alluvial Aquifers Affected by Nitrate Contamination: A Case Study in a High Plain of Northern Italy. *Water* 2020, 12, 2511. <https://doi.org/10.3390/w12092511>