

ATLANTE GEOCHIMICO DEI SEDIMENTI DEL FIUME SARNO E DEI SUOI TRIBUTARI

Elementi potenzialmente tossici e contaminanti organici



Progetto RETURN
multi-Risk sciEnce for resilienT commUnities undeR a changiNg climate

Vertical Spoke 4 - Degrado ambientale
Work Package 4.4 - Valutazione multi-rischio e proof of concepts



**ATLANTE GEOCHIMICO DEI SEDIMENTI
DEL FIUME SARNO E DEI SUOI TRIBUTARI**

Elementi potenzialmente tossici e contaminanti organici

Progetto RETURN
multi-Risk sciEnce for resilienT commUnities undeR a changiNg climate
Vertical Spoke 4 - Degrado ambientale
Work Package 4.4 - Valutazione multi-rischio e proof of concepts

VOLUME - ATLANTE GEOCHIMICO DEI SEDIMENTI DEL FIUME SARNO E DEI SUOI TRIBUTARI
Elementi potenzialmente tossici e contaminanti organici

2026 - ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

A cura del Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale - ENEA e del Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II

Progetto grafico: Servizio Promozione e Comunicazione - ENEA

Stampa: Laboratorio tecnografico ENEA - Centro Ricerche Frascati

Febbraio 2026

Atlante geochimico dei sedimenti del fiume Sarno e dei suoi tributari. Elementi potenzialmente tossici e contaminanti organici.

Progetto RETURN (multi-Risk sciEnce for resilienT commUnities undeR a changiNg climate). Vertical Spoke (4) - Degradamento ambientale. Work Package (4.4) - Valutazione multi-rischio e proof of concepts

Nomi

*L. PARRELLA, S. SCHIAVO, C. CROVATO, S. ACCARDO, M. R. MONTEREALI, L. CAIAZZO, L. PEZZA, M. DE CASSAN, R. CAPRIOLI, S. MANZO

**A. GUARINO, ANTONIO IANNONE, S. ALBANESE

Affiliazioni

*Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale, ENEA

**Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II

Riassunto

Nel triennio 2022–2025, nell'ambito del progetto RETURN (multi-Risk sciEnce for resilienT commUnities undeR a changiNg climate), è stata condotta un'indagine finalizzata a valutare l'impatto generato da molteplici fattori di stress antropico e da dinamiche climatiche attraverso la caratterizzazione dello stato geochimico del bacino del fiume Sarno. Le attività svolte dal Dipartimento SSPT (Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali) dell'ENEA, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, hanno avuto l'obiettivo di valutare e mappare la distribuzione dei potenziali contaminanti di origine antropica presenti nei sedimenti del fiume Sarno (Regione Campania, Italia).

A tal fine sono stati selezionati ventiquattro punti di campionamento lungo le principali aste fluviali del Sarno e dei suoi affluenti, Solofrana e Cavaiola. I campioni di sedimento prelevati sono stati analizzati per valutare le concentrazioni di una selezione di elementi

potenzialmente tossici e di ulteriori metalli (PTE+), nonché di diverse classi di composti organici, tra cui policlorobifenili (PCB), pesticidi organoclorurati (OCP), composti organostannici (OTIN) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

I risultati ottenuti rappresentano la base conoscitiva per una valutazione più ampia degli impatti generati da molteplici pressioni antropiche in un contesto territoriale in evoluzione.

Parole Chiave: contaminazione chimica, bacino fluviale, PTE, IPA, PCB, OCP, OTIN, mappe di distribuzione, Regione Campania (Italia)

Abstract

In the 2022–2025 period, within the framework of the RETURN project (multi-Risk sciEnce for resilient commUnities undeR a changiNg climate), the impact generated by multiple anthropogenic stressors and climatic dynamics through the characterization of the geochemical status of the Sarno River basin was carried out. The activities conducted by the SSPT Department (Sustainability, Circularity and Climate Change Adaptation of Production and Territorial Systems) of ENEA (Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development), in collaboration with the Department of Earth, Environmental and Resources Sciences of the University of Naples Federico II, aimed to evaluate and map the distribution of potential anthropogenic contaminants present in the sediments of the Sarno River (Campania Region, Italy).

To this end, twenty-four sampling sites were selected along the main river channels of the Sarno and its tributaries, the Solofrana and the Cavaiola. The collected sediment samples were analyzed to determine the concentrations of a selection of potentially toxic elements and additional metals (PTE+), as well as various classes of organic compounds, including polychlorinated biphenyls (PCB), organochlorine pesticides (OCP), organotin compounds (OTIN), and polycyclic aromatic hydrocarbons (IPA).

The results obtained provide the knowledge base for a broader assessment of the impacts generated by multiple anthropogenic pressures in an evolving territorial context.

Keywords: chemical contamination, river basin, PTE, IPA, PCB, OCP, OTIN, distribution maps, Campania Region (Italy)

Sommario

1. Introduzione	1
1.1. Il progetto RETURN.....	1
1.2. Il bacino idrografico del fiume Sarno come sistema modello per la valutazione multirischio.....	1
1.3. Inquadramento geologico	2
1.4. Contesto territoriale e produttivo.....	4
1.5. Obiettivi dello studio	5
2. Materiali e Metodi.....	7
2.1. Piano di campionamento	7
2.2. Preparazione dei campioni	9
2.3. Metodi analitici per le analisi dei campioni di sedimento	10
2.3.1. Analisi chimiche di elementi potenzialmente tossici e altri metalli (PTE+).....	10
2.3.2. Analisi chimiche degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).....	11
2.3.3. Analisi chimiche dei policlorobifenili (PCB) e pesticidi organoclorurati (OCP) ...	11
2.3.4. Analisi chimiche dei composti organostannici (OTIN).....	12
2.3.5. Analisi granulometrica	13
2.4. Analisi statistica	14
2.5. Cartografia geochemica.....	15
3. Risultati e discussione	16
3.1. Classificazione granulometrica	16
3.2. Distribuzione geochemica dei PTE+	18
3.2.1. Berillio (Be).....	19
3.2.2. Vanadio (V).....	20
3.2.3. Cromo (Cr)	20
3.2.4. Cobalto (Co).....	21
3.2.5. Nichel (Ni).....	21
3.2.6. Rame (Cu).....	22
3.2.7. Zinco (Zn).....	22
3.2.8. Arsenico (As).....	23
3.2.9. Cadmio (Cd).....	23
3.2.10. Piombo (Pb)	23
3.2.11. Uranio (U).....	24
3.2.12. Mercurio (Hg)	24

3.2.13. Manganese (Mn)	24
3.2.14. Ferro (Fe)	25
3.3. Distribuzione geochimica degli IPA.....	25
3.3.1. Acenaftene (Ace).....	27
3.3.2. Fluorantene (Fla).....	28
3.3.3. Naftalene (Naft).....	28
3.3.4. Benzo(a)antracene (B(a)a).....	28
3.3.5. Benzo(a)pirene (B(a)p).....	29
3.3.6. Benzo(b+j)fluorantene (B(bj)f)	29
3.3.7. Benzo(k)fluorantene (B(k)f)	29
3.3.8. Crisene (Cri)	29
3.3.9. Acenaftilene (Aci)	30
3.3.10. Antracene (Antr)	30
3.3.11. Benzo(ghi)perilene (B(ghi)p).....	30
3.3.12. Fluorene (Fle).....	31
3.3.13. Fenantrene (Fen)	31
3.3.14. Dibenzo(a,h)antracene (D(ah)a).....	31
3.3.15. Indeno(1,2,3-cd)pirene (I(cd)p).....	31
3.3.16. Pirene (Pir)	32
3.3.17. Bifenile (Bif).....	32
3.3.18. Dibenzotiofene (Dibtio).....	32
3.3.19. Ciclopenta(cd)pirene (C(cd)p)	33
3.3.20. Benzo(ghi)fluorantene (B(ghi)f)	33
3.3.21. Benzo(a)fluorantene (B(a)f).....	33
3.3.22. Benzo(e)pirene (B(e)p).....	33
3.3.23. Perilene (Per)	34
3.3.24. Dibenzo(a,c)antracene (D(ac)a)	34
3.3.25. Antantrene (Antt)	34
3.3.26. Dibenzo(b,k)fluorantene (D(bk)f).....	35
3.3.27. Coronene (Cor)	35
3.3.28. Dibenzo(a,e)pirene (D(ae)p).....	35
3.4. Distribuzione geochimica degli OCP	35
3.4.1. Esaclorobenzene (HCB).....	37
3.4.2. α -esaclorocicloesano (α HCH)	38
3.4.3. β -esaclorocicloesano (β HCH)	38

3.4.4. γ -esaclorocicloesano (γ HCH).....	38
3.4.5. Eptacloro (Hept).....	38
3.4.6. Aldrin (Ald).....	39
3.4.7. Dieldrin (Dield).....	39
3.4.8. Endrin (Endr).....	39
3.4.9. Isodrin (Isod).....	40
3.4.10. 2,4'-DDE (opDDE).....	40
3.4.11. 4,4'-DDE (ppDDE).....	40
3.4.12. 2,4'-DDD (opDDD).....	40
3.4.13. 4,4'-DDD (ppDDD).....	41
3.4.14. 2,4'-DDT (opDDT).....	41
3.4.15. 4,4'-DDT (ppDDT).....	41
3.4.16. α -endosulfan (α Endos).....	42
3.4.17. β -endosulfan (β Endos).....	42
3.4.18. Isobenzano (Isob).....	42
3.4.19. Eptacloro eso-eossido (HepEpo).....	42
3.5. Distribuzione geochimica dei PCB.....	42
3.5.1. PCB28.....	45
3.5.2. PCB52.....	45
3.5.3. PCB101.....	45
3.5.4. PCB153.....	46
3.5.5. PCB138.....	46
3.5.6. PCB180.....	46
3.5.7. PCB81.....	46
3.5.8. PCB77.....	46
3.5.9. PCB123.....	47
3.5.10. PCB118.....	47
3.5.11. PCB114.....	47
3.5.12. PCB105.....	47
3.5.13. PCB126.....	48
3.5.14. PCB167.....	48
3.5.15. PCB156.....	48
3.5.16. PCB157.....	48
3.5.17. PCB169.....	48
3.5.18. PCB189.....	48

3.5.19. PCB8.....	48
3.5.20. PCB18.....	49
3.5.21. PCB95.....	49
3.5.22. PCB99.....	49
3.5.23. PCB110.....	49
3.5.24. PCB149.....	50
3.5.25. PCB146.....	50
3.5.26. PCB187.....	50
3.5.27. PCB44.....	51
3.5.28. PCB128.....	51
3.5.29. PCB177.....	51
3.5.30. PCB170.....	51
3.6. Distribuzione geochimica degli OTIN.....	51
3.6.1. Monobutilstagno (MBT).....	53
3.6.2. Dibutilstagno (DBT).....	53
3.6.3. Tributilstagno (TBT).....	53
3.6.4. Monofenilstagno (MphT).....	53
3.6.5. Difenilstagno (DphT).....	54
3.6.6. Trifenilstagno (TphT).....	54
4. Conclusioni.....	55
5. Bibliografia.....	58
Appendice A – Metalli - mappe di Distribuzione.....	A
Appendice B – IPA - mappe di Distribuzione.....	B
Appendice C – OCP - mappe di Distribuzione.....	C
Appendice D – PCB - mappe di Distribuzione.....	D
Appendice E – OTIN - mappe di Distribuzione.....	E
Appendice F – Schede granulometriche.....	F

1. Introduzione

1.1. Il progetto RETURN

Il progetto RETURN (multi-Risk sciEnce for resilient commUnities undeR a changiNg climate), in linea con gli obiettivi del Piano Nazionale della Ricerca (PNR), mira ad approfondire le dinamiche dei rischi ambientali e della loro interazione con i cambiamenti climatici, sviluppando metodologie avanzate per la previsione, la prevenzione, l'adattamento e la mitigazione. Contestualmente, promuove una gestione integrata e resiliente dei territori, basata su evidenze scientifiche, innovazione tecnologica e collaborazione tra enti di ricerca, amministrazioni pubbliche e attori territoriali.

Le attività di ricerca sono articolate in otto aree tematiche strutturate in quattro *Vertical Spokes (VS)*, dedicati alla comprensione dei processi per una valutazione più accurata dei rischi naturali ed antropici, tre *Transversal Spokes (TS)*, finalizzati allo sviluppo di modelli predittivi per stimare l'impatto presente e futuro degli eventi ambientali, e un *Diagonal Spoke (DS)*, focalizzato sulla definizione di metodologie innovative per previsioni climatiche, meteorologiche, idrologiche e marine a diverse scale temporali e spaziali.

In particolare, lo Spoke VS4 riveste un ruolo centrale nello sviluppo di approcci integrati di valutazione del degrado ambientale includendo gli effetti legati ai cambiamenti climatici. Le attività dello spoke si propongono di migliorare la comprensione dei processi e dei fattori responsabili del degrado ambientale, analizzandone la dinamica spazio-temporale e sviluppando strumenti avanzati per il monitoraggio, la previsione e la mitigazione degli impatti. Gli studi si concentrano sul tracciamento dei contaminanti, dalle sorgenti ai recettori finali, e le interazioni tra gli stressori ambientali e le entità ecologiche esposte, anche in funzione di scenari futuri legati ai cambiamenti climatici. A tal fine, sono stati individuati tre diversi sistemi di riferimento in cui condurre attività sperimentali: il bacino idrografico, gli ambienti di transizione e costieri e le città costiere con relative infrastrutture portuali.

1.2. Il bacino idrografico del fiume Sarno come sistema modello per la valutazione multirischio

Alla luce degli obiettivi generali del progetto RETURN, e in particolare delle attività previste nell'ambito dello spoke di valutazione del degrado ambientale (VS4), è stato effettuato uno studio volto alla comprensione dei potenziali impatti causati ad un sistema fluviale sottoposto a stressori antropici e naturali come la contaminazione chimica e i cambiamenti

climatici. A tale scopo, è stato identificato come sistema modello il bacino idrografico del fiume Sarno, che scorre nel settore sud-occidentale della Regione Campania (Italia), e che rappresenta un sistema ideale per testare metodologie di tracciamento dei contaminanti, analizzare l'interazione tra i differenti stressori e valutare la resilienza di un ecosistema fluviale. In esso, infatti, insistono diverse pressioni antropiche, dovute all'urbanizzazione e all'industrializzazione, con cui possono interagire pressioni meteorologiche stagionali (e.g., le piene o la siccità). Allo stesso tempo le sue dimensioni contenute rendono possibile una caratterizzazione completa dell'intero sistema. Infine, la disponibilità di numerosi studi e dati storici favorisce una ricerca approfondita anche dell'evoluzione dei processi in relazione ai cambiamenti climatici e l'implementazione concreta di soluzioni innovative, rendendolo un modello di riferimento per lo studio degli effetti cumulativi anche in altri bacini di interesse a livello nazionale.

1.3. Inquadramento geologico

Il bacino idrografico del fiume Sarno, che comprende la pianura alluvionale del fiume Sarno e i bacini dei torrenti Solofrana e Cavaiola, affluenti del Sarno, ha un'estensione di circa 440 km². È posizionato nella porzione meridionale della Piana Campania (Italia sud-occidentale), ed è delimitato a Nord-Ovest dal complesso vulcanico del Somma-Vesuvio, a Nord-Est dal monte Sarno, a Sud dai monti Lattari, a Ovest dal mar Tirreno e dai monti Picentini a Est.

La sorgente del fiume Sarno si trova alla base della formazione calcarea della catena Appenninica campana, alle falde del Monte Sarno. La sua rete idrografica è costituita da numerosi affluenti e sub-affluenti, che ne arricchiscono il bacino idrografico. Ha una portata media giornaliera di circa 1 m³/s e si sviluppa lungo un tracciato relativamente breve (24 km di distanza linearizzata tra sorgente e foce), attraversando i terreni intensivamente coltivati di San Marzano e Scafati, prima di sfociare nel Mar Tirreno (Arienzo et al., 2001).

L'area ha un clima di tipo mediterraneo, con temperatura media annua di 17.2 °C e precipitazioni medie annue di 1203 mm, principalmente concentrate in autunno.

Dal punto di vista geologico, nel bacino del fiume Sarno affiorano varie tipologie di rocce calcaree, appartenenti alle piattaforme campano-lucane e abruzzese-campane (Monte Sarno, Monti Picentini, ecc.). Nello specifico, i rilievi principali sono costituiti dalla dolomia del Triassico, dal calcare dolomitico del Giurassico-Cretaceo inferiore nonché dal calcare

carsificato e fratturato del Cretaceo (De Pippo et al., 2006). Depositi piroclastici e ceneri vulcaniche rimaneggiate relative all'attività eruttiva del complesso monte Somma-Vesuvio (settore nord-ovest del bacino) ricoprono generalmente il calcare dolomitico del Monte Sarno e sono ampiamente diffusi nella pianura del fiume Sarno (Cinque et al., 1997) (Fig. 1).

L'elevata fertilità del suolo in tutto il bacino del fiume Sarno è conseguenza di azioni fisiche e chimiche che hanno interessato la natura dei depositi superficiali (Terribile e Di Gennaro, 1996). I terreni della zona sono prevalentemente permeabili e porosi, caratterizzati da componenti argillose vulcaniche e pH neutri.

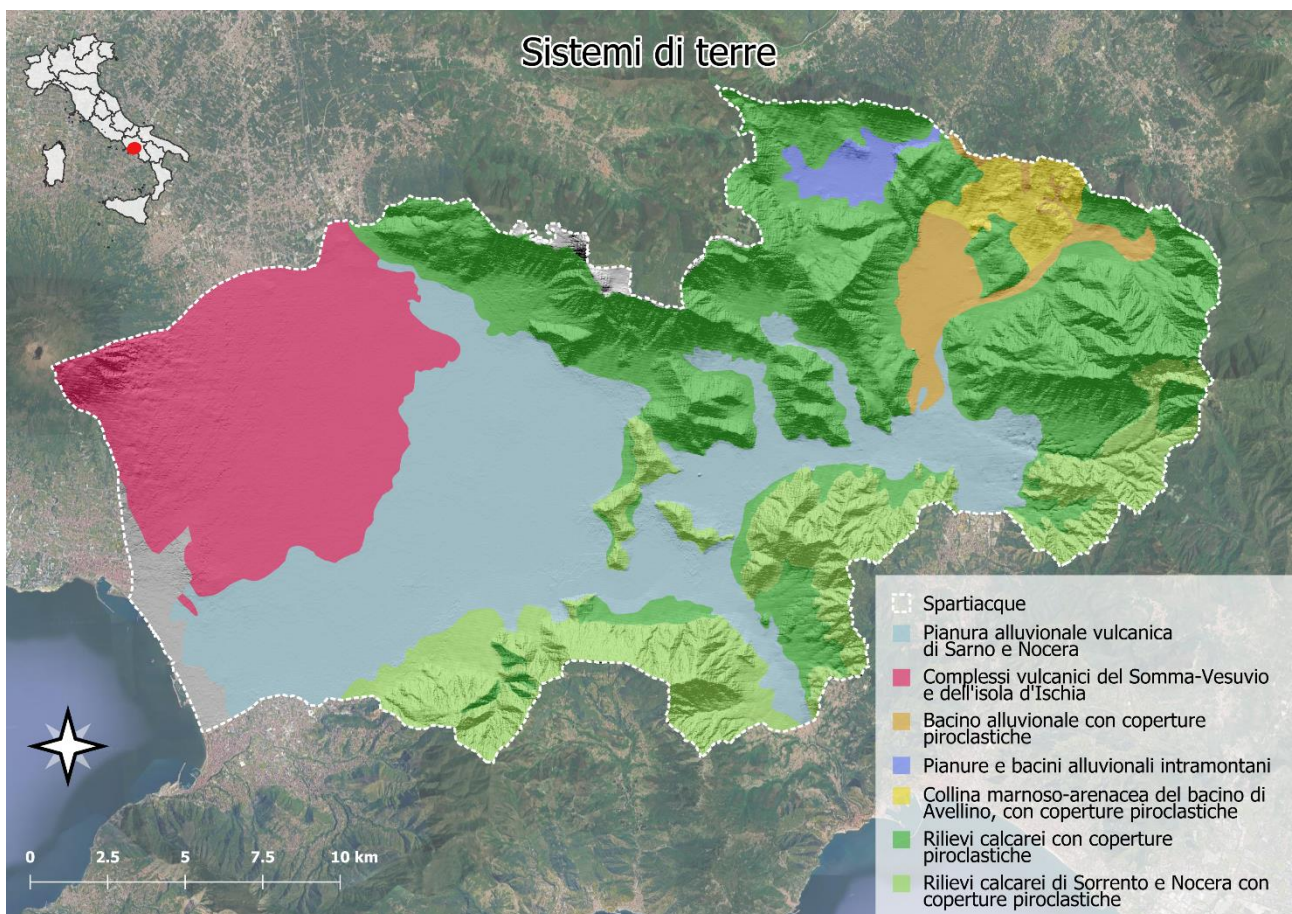


Figura 1. La mappa dei sistemi terre mostra la distribuzione delle unità litologiche lungo i principali rilievi del bacino del fiume Sarno, evidenziando Monte Sarno e i Monti Picentini con rocce carbonatiche e la presenza di depositi piroclastici e ceneri vulcaniche nelle aree pianeggianti circostanti.

1.4. Contesto territoriale e produttivo

Il bacino idrografico del fiume Sarno, situato in una delle aree più densamente popolate della Campania, presenta un assetto socioeconomico complesso e fortemente influenzato dalla storica antropizzazione del territorio. Esso attraversa numerosi comuni distribuiti tra le province di Napoli, Salerno e Avellino, comprendendo una popolazione complessiva che supera il mezzo milione di abitanti (Arienzo et al., 2001).

Gran parte della zona costiera del bacino e molte zone interne sono fortemente urbanizzate e industrializzate (Fig. 2), caratterizzate dalla presenza di centinaia di impianti conciaci operanti nell'alta valle del bacino, tra Solofra, Mercato S. Severino e Fisciano (Arienzo et al., 2001). Il resto della pianura, in particolare nella media valle del fiume Sarno, caratterizzato da un'elevata densità di popolazione (fino a 2000 abitanti per km²), viene utilizzato per l'agricoltura intensiva, costituita principalmente da campi di ortaggi, frutteti, vigneti, castagni e orticoltura e floricoltura in serra (Fig. 2).

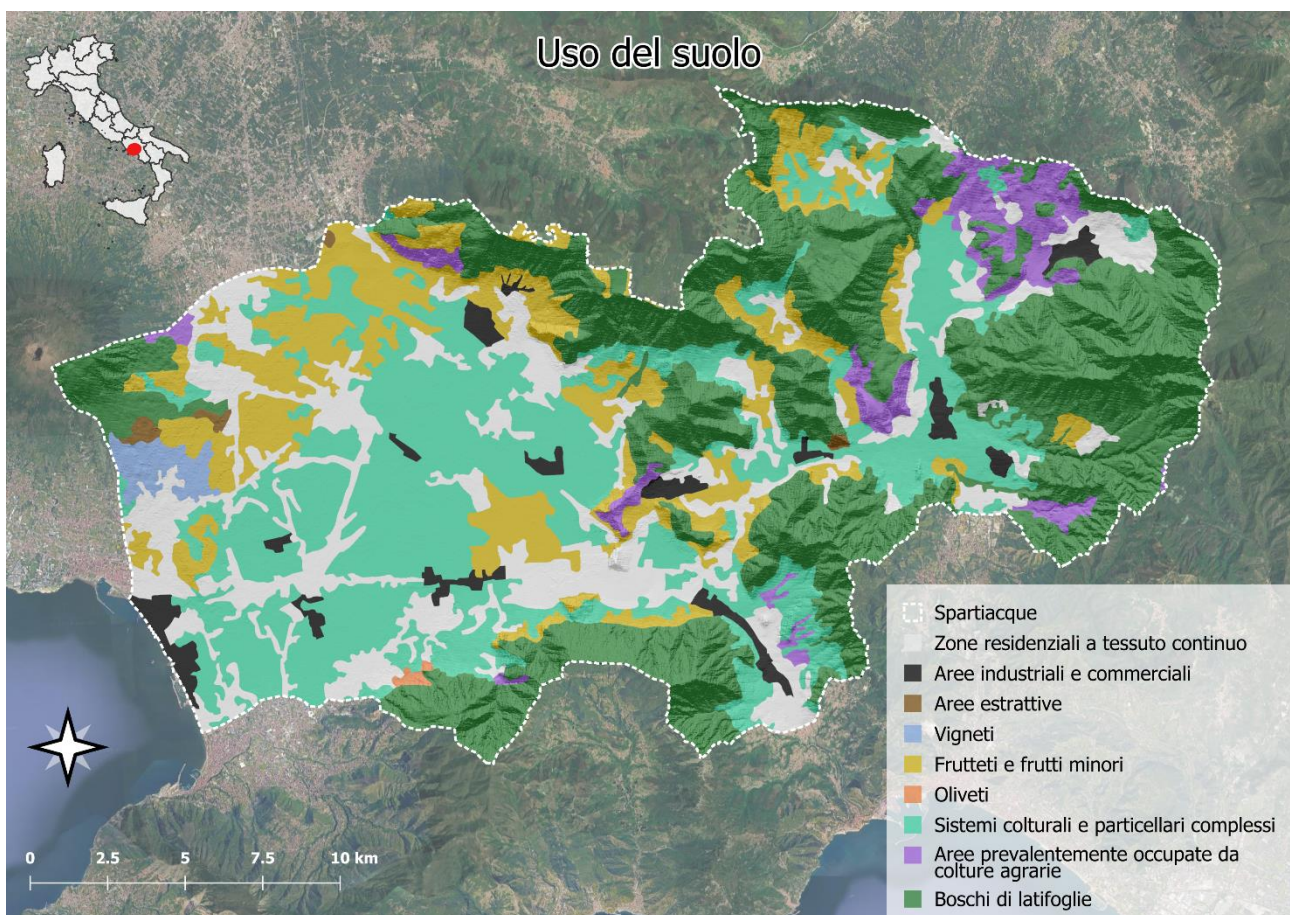


Figura 2. La mappa dell'uso del suolo (CLC) mostra le principali categorie di copertura del territorio, evidenziando le zone residenziali a tessuto continuo, le aree industriali e commerciali, le aree estrattive e le aree agricole.

L'economia dell'alta valle del Sarno è legata largamente alla presenza di numerose concerie di pelli: questo settore produttivo coinvolge quasi il 90% degli abitanti, direttamente o indirettamente. Nella media valle del Sarno, invece, la principale fonte di reddito è rappresentata dalla produzione agricola, grazie alla fertilità del suolo e al clima mediterraneo. Infine, la bassa valle del Sarno ha un'economia basata sulla presenza di industrie chimico-farmaceutiche, metalmeccaniche e manifatturiere (De Pippo et al., 2006).

1.5. Obiettivi dello studio

La pressione antropica nel bacino fluviale del Sarno si manifesta in diverse forme, riconducibili principalmente all'urbanizzazione, alle attività industriali e quelle agricole. I processi di contaminazione antropica che ne conseguono possono interessare sia le aree prossime alle fonti emmissive, che, come accade più frequentemente, porzioni più ampie del bacino a valle dei punti di emissione, a causa dei meccanismi di destino e trasporto dei contaminanti veicolati dalla dinamica naturale delle acque correnti.

In tale contesto, lo studio dei livelli di contaminazione delle acque superficiali risulta cruciale per analizzare lo stato di compromissione ambientale associato alle pressioni antropiche attive. Allo stesso tempo, il corso d'acqua è soggetto a variazioni di pendenza, e larghezza dell'alveo fluviale, così come l'altezza delle sponde e altri parametri morfologici, che influenzano l'energia del flusso idrico, favorendo l'accumulo di sedimenti in alcune sezioni del corso d'acqua principale. Se questo processo avviene in contesti di contaminazione, è prevedibile che i sedimenti possano fungere da serbatoio di sostanze inquinanti, poiché i contaminanti legati alle particelle solide presenti nell'acqua tendono a depositarsi sul fondo.

L'accumulo di contaminanti nei sedimenti rappresenta una criticità importante, in particolare in occasione di piene o eventi meteorici estremi, sempre più frequenti nel contesto del cambiamento climatico. Infatti, in queste situazioni i sedimenti possono essere nuovamente mobilizzati, ampliando l'area di diffusione dei contaminanti ed il trasporto verso tratti fluviali anche molto distanti dalla sorgente.

In caso di esondazione, i suoli adiacenti ai corsi d'acqua possono divenire recettori di materiale contaminato, pur non essendo in diretto contatto con le fonti primarie di inquinamento. Questo scenario evidenzia un'interazione tra stressori antropici multipli, quali i contaminanti chimici ed effetti del cambiamento climatico, che rende necessario un

approccio olistico di valutazione degli effetti combinati per la valutazione e gestione del territorio.

Sulla base di queste premesse, l'analisi chimica dei sedimenti fluviali si configura come uno strumento fondamentale in grado di restituire informazioni chiave sulla fonte, l'intensità e la persistenza temporale dei processi di contaminazione che possono interessare un intero bacino idrografico o sue porzioni significative.

Nel caso del fiume Sarno, al fine di valutare l'impatto ambientale generato da molteplici fattori di stress antropici in un contesto territoriale in trasformazione, è stata condotta un'indagine geochimica completa. I risultati ottenuti costituiscono la base per una valutazione più estesa dell'impatto della contaminazione chimica di origine antropica nel quadro dei cambiamenti climatici.

Lo studio ha lo scopo di fotografare lo stato geochimico del bacino del fiume Sarno, analizzando le concentrazioni degli elementi potenzialmente tossici e dei composti organici nei campioni di sedimento fluviale.

I dati ottenuti costituiscono una base conoscitiva utile alla definizione di un modello concettuale del bacino, e attraverso cui individuare e prioritizzare le principali pressioni ambientali, i percorsi di migrazione dei contaminanti e i comparti ambientali maggiormente vulnerabili agli impatti antropici.

2. Materiali e Metodi

2.1. Piano di campionamento

Lungo le aste fluviali principali, incluse quelle degli affluenti della Solofrana e della Cavaiola, sono stati selezionati ventiquattro punti di campionamento per il prelievo dei campioni di sedimento fluviale (Fig. 3).



Figura 3. Mappa dell'area di studio con l'ubicazione dei punti di campionamento distribuiti lungo il bacino del fiume Sarno.

Con il termine sedimento fluviale (*stream sediment*) si suole indicare il materiale proveniente da processi erosivi che interessano sia i versanti montani che gli argini degli stessi corsi d'acqua. Nello specifico, i sedimenti possono derivare dalla disgregazione diretta di roccia affiorante o, indirettamente, dall'erosione dei suoli, delle coltri superficiali di copertura dei versanti o dei depositi alluvionali precedentemente depositati in particolari condizioni idrodinamiche di bassa energia.

Un campione di sedimento fluviale è un composito di materiale derivante dall'area a monte del sito di prelievo limitata dal confine del bacino idrografico. Ciascun campione di

sedimento fluviale è rappresentativo di un'area molto più ampia di quella immediatamente a ridosso del sito di prelievo.

Le attività di campionamento di sedimento fluviale sono, in genere, finalizzate alla raccolta in campo di materiale con diametro $\Phi < 2$ mm per mezzo di setacciatura ad umido (*wet sieving*), quando questa sia possibile, per evitare che la formazione di agglomerati di diametro elevato ($\Phi > 2$ mm) possa escludere dalla frazione passante quantità variabili di sedimento fine. Lo standard fissato dal progetto IGCP 259 (Darnley et al., 1995) e condiviso dal progetto europeo FOREGS (Salminen et al., 1998) prevede che al termine della preparazione di laboratorio l'aliquota del campione da avviare ad analisi corrisponda ad una frazione passante con $\Phi < 0.15$ mm (pari a 100 mesh), tale da includere sabbia molto fine, limo, argilla e frazione colloidale.

Ove possibile, in condizioni favorevoli alla setacciatura ad umido, il passante a 100 mesh può essere raccolto anche in campo con l'ausilio di un doppio setaccio. Nel caso di corsi d'acqua effimeri, la setacciatura a secco (*dry sieving*) rimane comunque l'unica soluzione possibile per portare a termine il campionamento di sedimenti dal letto fluviale e, in tal caso, è preferibile raccogliere in campo soltanto il passante più grossolano ($\Phi < 2$ mm).

L'individuazione dei potenziali punti di prelievo è stata supportata da un'analisi in ambiente GIS, con l'ausilio di dati territoriali (eg, stradario, DEM, etc.), per la verifica delle condizioni di adeguatezza ed accessibilità di ciascun sito candidato.

Il prelievo dei 24 campioni di sedimento è avvenuto in condizioni caratterizzate da un regime di deflusso regolare (centro dell'alveo). Ogni campione è costituito a partire da aliquote di materiale prelevato da 5 punti lungo un tratto fluviale di lunghezza compreso tra i 10 ed i 20 m, iniziando dal punto di campionamento più a valle e risalendo verso monte ad intervalli regolari lungo il tratto fluviale prescelto. Il campione composito rappresentativo della stazione di prelievo ha un peso finale di circa 2.5 kg, in relazione alla frazione granulometrica passante con $\Phi < 2$ mm, ed è formato da aliquote provenienti dallo stesso ramo fluviale evitando il prelievo di materiali dove sono state riscontrate evidenze di un cambio di natura (geologica e/o composizionale) della matrice (ISO 5667-12:1995).

L'attività di prelievo ha previsto una dotazione minima di materiale metal free. Prima di procedere alla raccolta di ciascun campione, tutte le attrezzature di campionamento da utilizzare sono state lavate con l'acqua stessa del corso d'acqua nel punto di raccolta, se

presente, a valle del primo punto di prelievo. Nel caso in cui non ci fosse presenza di acqua in corrispondenza del sito di campionamento le attrezzature sono state lavate mediante acqua demineralizzata.

Nel dettaglio, per quanto riguarda il campionamento ad umido, nel sito di prelievo con l'ausilio di una vanga è stato raccolto in un catino di plastica il sedimento grossolano dai 5 punti individuati lungo il segmento, facendo attenzione a drenare l'eccesso d'acqua. Le diverse aliquote di sedimento grossolano raccolto, dopo essere state omogeneizzate, sono state setacciate in situ con passante a 2 mm, facendo attenzione a rimuovere a mano i ciottoli di grandi dimensioni e frizionando con le mani il materiale nel setaccio per agevolare il passaggio della frazione più sottile, per essere poi trasferite in un secchio di raccolta in plastica etichettato con l'ID del campione e munito di coperchio per la conservazione.

Nel caso di campionamento a secco, per le singole aliquote, si è raccolto il materiale di granulometria più fine (o dove possibile solo il sottile strato superficiale di limo sulla secca di sabbia) al centro del letto del tracciato del corso d'acqua in secca, facendo attenzione a raccogliere sedimento con quanto meno materia organica possibile ed evitando la raccolta di materiale di origine non fluviale proveniente dalle sponde. Onde evitare di escludere dal campione finale agglomerati argillosi e materiali fini interessati da umidità residua, dopo il rimescolamento, il materiale, prodotto a partire dalle cinque aliquote raccolte, non è stato setacciato in situ ma trasferito direttamente al secchio di raccolta in plastica etichettato con l'ID del campione e munito di coperchio. In questi casi, la quantità totale di materiale raccolto per ogni campione composito è di almeno 4 kg di sedimento.

Al termine della giornata di campo, sia per i campioni prelevati ad umido che per quelli prelevati a secco, si è proceduto al trasferimento del materiale raccolto per ogni singolo campione dal secchio di raccolta alle buste in polipropilene opportunamente sigillate ed etichettate per il successivo trasferimento al laboratorio di preparazione.

2.2. Preparazione dei campioni

I campioni da sottoporre ad analisi chimica sono stati essiccati a temperatura ambiente, sotto cappa, quartati e una aliquota rappresentativa è stata setacciata a 2 mm. La parte inferiore a 2 mm è stata macinata mediante un mulino planetario con giare in agata "PM 200" della Retsch e ridotta a una granulometria inferiore a 100 μm per le analisi degli elementi, mentre è stata utilizzata tal quale per l'analisi dei composti organici.

Successivamente, i campioni sono stati analizzati per determinare le concentrazioni di una selezione di elementi potenzialmente tossici e di alcuni metalli aggiuntivi (riportati come PTE+), oltre a diversi composti organici, tra cui idrocarburi policiclici aromatici (IPA), policlorobifenili (PCB), pesticidi organoclorurati (OCP) e composti organostannici (OTIN).

2.3. Metodi analitici per le analisi dei campioni di sedimento

2.3.1. *Analisi chimiche di elementi potenzialmente tossici e altri metalli (PTE+)*

Metodo EPA 3052 – Il contenuto totale di As, Be, Cd, C, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, U, V e Zn nei sedimenti è stato ottenuto solubilizzando i campioni utilizzando la procedura di digestione acida assistita da microonde. 0.25 – 0.30 g di sedimento sono accuratamente pesati direttamente nei vessel in teflon del sistema di digestione a microonde (Ethos Easy, FKV) e una miscela di 9 mL di HNO₃ al 69 %, 2 mL di H₂O₂ al 30 % e 3 mL di HF al 40 %, è gradualmente aggiunta ai campioni. Dopo una prima dissoluzione a temperatura ambiente, i campioni sono posti in microonde per procedere con la dissoluzione totale. Una volta raffreddate, le soluzioni ottenute sono evaporate per eliminare l'eccesso di acido fluoridrico non reagito, al fine di evitare possibili danneggiamenti delle parti in quarzo della strumentazione utilizzata per le determinazioni analitiche. I bianchi di procedura sono sempre valutati. Terminata l'evaporazione, i residui ottenuti sono trasferiti quantitativamente con H₂O MilliQ in un matraccio tarato da 50 mL e acidificati all'1 % con HNO₃; le soluzioni ottenute sono poi conservate a 4 °C fino all'analisi.

Metodo EPA 6020b – La quantificazione dei metalli è eseguita in ICP-MS, utilizzando un ICP-MS Agilent 7800. La qualità dei dati analitici è assicurata dall'analisi, con medesima procedura utilizzata per i campioni di sedimento, di due materiali di riferimento certificati: BCR 277R – *estuarine sediment* e STSD-1 *Stream Sediment Reference Material*. I risultati ottenuti sui CRMs sono in accordo con i valori certificati e i valori di recupero, per tutti gli elementi considerati, sono compresi nell'intervallo 80 - 105 %.

I Limiti di rilevazione (PDL, *Practical Detection Limit*), definiti come limite di rilevabilità dell'intera procedura analitica, sono: 0.010 mg/kg per Be, Cd, Co, U and V; 0.030 mg/kg per As; 0.050 mg/kg per Pb; 0.100 mg/kg per Cr, Mn, Cu; 0.250 mg/kg per Ni; 0.850 mg/kg per Zn e 50.0 mg/kg per Fe.

Metodo EPA 7473 – L'analisi del mercurio nei sedimenti è condotta direttamente sul campione macinato, senza che siano necessari ulteriori trattamenti, impiegando un

Analizzatore automatico di mercurio solido/liquido (AMA-254, FKV). L'accuratezza dei dati è verificata impiegando il materiale di riferimento certificato BCR 277R. I risultati ottenuti sono in accordo con i valori certificati.

Il PDL di Hg è 0.005 mg/kg

2.3.2. Analisi chimiche degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Metodo EPA 3545a – Circa 2.5g di campione sono stati pesati ed estratti, previa aggiunta degli standard surrogati (IPA deuterati), mediante Accelerated Solvent Extractor (ASE200 Dionex) con esano:acetone 1:1 a 120°C e 1500 psi (due cicli estrattivi). L'estratto viene lavato con acqua per eliminare l'acetone. La fase esanica (disidratata su solfato di sodio) viene concentrata a pochi mL previa aggiunta di 1 mL di isoottano.

Metodo EPA 3630 – La frazione esanica viene applicata ad una colonna cromatografica (30 cm x 1 cm d.i.) contenente gel di silice Merck 60, (70-230 mesh, attivato a 250°C per 16 ore) ed eluita in due frazioni: F1 con 10 mL di esano ed F2 con 30 mL di esano:diclorometano 2:1. La frazione F2, contenente gli IPA, viene ridotta di volume fino a 0.5mL e addizionata di p-terfenile quale standard di iniezione.

Metodo EPA 8270D – La determinazione analitica è effettuata in GC-MS (Agilent Technologies 7890a/5975c) equipaggiato con colonna capillare a fase legata metil-5%fenilsiliconica. Il rivelatore è a selezione di massa a quadrupolo con ionizzazione ad impatto elettronico da 70 eV. La rivelazione degli analiti viene effettuata mediante monitoraggio a singolo ione (SIM). Il gas di trasporto è elio N55. L'identificazione dei picchi è basata sul confronto dei tempi di ritenzione e dei rapporti isotopici di massa. I fattori di risposta vengono controllati iniettando ad intervalli regolari miscele standard per tenere conto della variabilità delle condizioni di "tuning" del sistema di massa. L'analisi quantitativa è stata eseguita con il metodo della curva di calibrazione con standard interno.

Il PDL è di 0.1 µg/Kg per singolo idrocarburo.

2.3.3. Analisi chimiche dei policlorobifenili (PCB) e pesticidi organoclorurati (OCP)

Metodo EPA 3545a – Circa 10 g di campione liofilizzato vengono esattamente pesati ed estratti, previa aggiunta degli standard surrogati (PCB 77, PCB 105, PCB 118, PCB 126, PCB 169 e DDT-d8), mediante *Accelerated Solvent Extractor* (ASE200 Dionex) con

esano:acetone 1:1 a 120°C e 1500 psi (due cicli estrattivi). L'estratto viene lavato con acqua per eliminare l'acetone. La fase esanica (disidratata su solfato di sodio) viene concentrata a pochi mL previa aggiunta di 1 mL di isoottano.

Metodo EPA 3630 – La frazione esanica viene applicata ad una colonna cromatografica (30cm x 1cm d.i.) contenente gel di silice Merck 60, (70-230 mesh, attivato a 250°C per 16 ore) ed eluita in due frazioni: F1 (che contiene PCB, HCB, DDEs, Aldrina, alfa e beta-endosulfano, isodrina) con 25 mL di esano ed F2 (contenente DDDs, DDTs, HCHs, dieldrina, endrina e eptacloro epossido) con 30 mL di esano:diclorometano 2:1. Le frazioni ottenute possono essere ulteriormente purificate applicandole ad una pipetta Pasteur riempita con gel di silice al 40% di acido solforico ed eluendo con 5 mL di esano (tale operazione distrugge l'aldrina che deve quindi essere determinata in una aliquota separata). Le frazioni vengono poi ridotte di volume fino a 0.25 mL nelle fiale per autocampionatore e addizionate di p-terfenile quale standard di iniezione.

Metodo EPA 8270D – La determinazione analitica è effettuata in GC-MS equipaggiato con colonna capillare a fase legata metil-5%fenilsiliconica. Il rivelatore è a selezione di massa a quadrupolo con ionizzazione ad impatto elettronico da 70 eV. La rivelazione degli analiti viene effettuata mediante monitoraggio a singolo ione (SIM). Il gas di trasporto è elio N55. L'identificazione dei picchi è basata sul confronto dei tempi di ritenzione e dei rapporti isotopici di massa. I fattori di risposta vengono controllati iniettando ad intervalli regolari miscele standard per tenere conto della variabilità delle condizioni di "tuning" del sistema di massa. L'analisi quantitativa è stata eseguita con il metodo della curva di calibrazione con standard interno.

Il valore del PDL è di 0.01 µg/Kg per i PCB e per l'esaclorobenzene, mentre è di 0.05 µg/Kg per tutti gli altri pesticidi organoclorurati.

2.3.4. Analisi chimiche dei composti organostannici (OTIN)

Metodo ICRAM 2001-2003 (App.1) – A circa 2.5 g di sedimento liofilizzato, pesato, viene addizionato di tripropilstagno cloruro come standard di procedura. Il campione viene estratto in ultrasuoni e poi centrifugato a 1200 giri per 10 minuti con 15 mL di una soluzione metanolica di tropolone 0.03 % ed 1 mL di acido cloridrico concentrato. L'estrazione è ripetuta due volte. Gli estratti vengono riuniti in imbuto separatore, insieme a 100 mL di una soluzione di NaCl 5 % e 15 mL di diclorometano. Dopo agitazione e separazione la fase

organica è disidratata con sodio solfato. Anche questa estrazione è ripetuta due volte, i due estratti vengono poi concentrati fino a 100 circa 100 µL.

Per la derivatizzazione, all'estratto viene aggiunto 1 mL di pentilmagnesio bromuro 2 M in etere etilico. L'eccesso di reattivo è eliminato aggiungendo cautamente acqua distillata. Si aggiunge poi 1 mL di esano e 3 mL di acido solforico 1 M. La fase organica viene recuperata e l'estrazione è ripetuta con un'altra aliquota di 1 mL di esano.

La purificazione è avvenuta utilizzando una colonnina con 3 g di gel di silice ed eluendo con circa 8 mL di una soluzione esano-toluene 1:1. L'eluato raccolto è stato concentrato ad un volume di circa 0.5 mL sotto debole flusso di azoto.

La determinazione analitica è effettuata in GC-MS equipaggiato con colonna capillare a fase legata metil-5%fenilsiliconica. Il rivelatore è a selezione di massa a quadrupolo con ionizzazione ad impatto elettronico da 70 eV. La rivelazione degli analiti viene effettuata mediante monitoraggio a singolo ione (SIM). Il gas di trasporto è elio N55. L'identificazione dei picchi è basata sul confronto dei tempi di ritenzione e dei rapporti isotopici di massa. I fattori di risposta vengono controllati iniettando ad intervalli regolari miscele standard per tenere conto della variabilità delle condizioni di "tuning" del sistema di massa. L'analisi quantitativa è stata eseguita con il metodo della curva di calibrazione con standard interno.

Il valore del PDL è di 0.03 µg/Kg per singolo composto organostannico.

2.3.5. Analisi granulometrica

Per le analisi granulometriche i campioni tal quale sono stati asciugati in stufa termoventilata a 40° C, quartati ed è stata pesata una aliquota pari a 50 g; in seguito, posti in becher con acqua deionizzata addizionata di Esametafosfato (0.5 g l⁻¹) per favorire la disaggregazione delle particelle e pretrattati con acqua ossigenata (30%) per l'eliminazione della sostanza organica eventualmente presente.

Mediante setacciatura ad umido, i campioni sono stati divisi in due frazioni: una grossolana (> 63 µm) costituita da ghiaia e sabbia e una frazione fine (< 63 µm) costituita da limo e argilla (Pelite). La frazione grossolana è stata asciugata in stufa ventilata a 40 °C e setacciata utilizzando setacci della serie ASTM con luce da 2 mm a 63 µm e ogni aliquota di trattenuto è stata pesata.

La frazione fine, quando presente in percentuale maggiore del 5% sul totale del campione, è stata analizzata mediante sedigrafo a raggi X (Sedigraph 5100 Micromeritics).

Le schede granulometriche dei singoli campioni sono riportate nell'appendice F.

2.4. Analisi statistica

A monte dell'elaborazione cartografica, per ognuno degli elementi analizzati e dei parametri misurati nelle diverse matrici ambientali, è stata effettuata un'analisi esplorativa dei dati (EDA), per analizzare il set di dati e per riassumerne le caratteristiche principali attraverso la definizione di indici statistici utili a descrivere la distribuzione dei dati e la rappresentazione grafica degli stessi.

Per gli analiti che presentavano uno o più valori di concentrazione < LRS, tale valore è stato posto pari al 75% del limite stesso. Per ogni analita, sono stati calcolati i principali indici statistici dei dati non elaborati (dati *raw*) dei diversi gruppi di contaminanti analizzati (minimo, media, mediana, massimo, deviazione standard, asimmetria, curtosi).

La rappresentazione grafica della distribuzione statistica dei dati, comprendente *boxplot* e *probability plot* (Sinclair, 1991), è stata implementata mediante l'utilizzo del software R (R Core Team, 2021). Nello specifico, i *boxplot* sono stati prodotti sulla base dei dati *raw* (visualizzati in scala logaritmica) mentre per la realizzazione dei *probability plot* i dati sono stati trasformati mediante l'algoritmo BoxCox (Box e Cox, 1964), applicato in ambiente di calcolo R per mezzo della funzione "*boxcox*" del pacchetto "*MASS*" (Venables e Ripley, 2002).

La trasformazione di BoxCox si basa sull'applicazione di un algoritmo di normalizzazione che consente di identificare quale trasformazione dei dati può convertirne al meglio la distribuzione, andando a stimare quale sia il valore ottimale della potenza lambda (λ) che massimizza la funzione di verosimiglianza (*likelihood*) e produce la migliore approssimazione ad una curva di distribuzione normale. Il valore di λ è individuato in un intervallo di confidenza (che nel caso specifico è stato posto tra -3 e 3) e viene applicato alla variabile da trasformare x mediante la formula:

$$x(\lambda) = \begin{cases} \frac{x^\lambda - 1}{\lambda}; & \text{se } \lambda \neq 0 \\ \ln(x); & \text{se } \lambda = 0 \end{cases}$$

2.5. Cartografia geochimica

Le carte della distribuzione puntuale delle concentrazioni degli elementi sono utili per avere informazioni sulla reale distribuzione delle concentrazioni nei campioni prelevati. Il livello informativo della distribuzione puntuale delle singole variabili è stato prodotto suddividendo il range di concentrazioni totale di ciascun analita considerato in un numero di intervalli rappresentativo della potenziale dipendenza della distribuzione dei dati dai processi (naturali e/o antropici) attivi nell'area di studio.

Per stabilire gli estremi degli intervalli di concentrazione di riferimento da utilizzare si sono utilizzati i punti di flesso individuabili sulle curve dei *probability plot* (Sinclair, 1991) prodotte con i dati normalizzati, previa l'applicazione di una funzione di trasformazione inversa (*back-transformation*). Tali intervalli sono stati rappresentati in carta da una simbologia circolare di colore dipendente dai valori delle concentrazioni: colori caldi sono stati attribuiti alle concentrazioni maggiori mentre colori freddi a quelle minori.

Per quanto riguarda l'analisi granulometrica, per dare una informazione sulle caratteristiche granulometriche dei singoli campioni, si è deciso di riportare in carta un diagramma a torta che riporta la percentuale di sabbia, ghiaia e pelite.

3. Risultati e discussione

3.1. Classificazione granulometrica

I sedimenti oggetto di studio presentano alte percentuali di ghiaia e sabbia (Fig. 4 e Fig. 5).



Figura 4. Mappa della distribuzione granulometrica

Infatti, le classi tessiturali più rappresentate sono quelle della sabbia ghiaiosa e della sabbia. Per questo motivo si è scelto di utilizzare il diagramma di Shepard modificato per la ghiaia come proposto nelle Linee guida SNPA n. 18/2018 (ISPRA 2019) (Fig. 6). Soltanto i campioni 27 (sabbia pelitica), 16 e 03 (sabbia-ghiaia-pelite) e 14 (pelite sabbiosa) presentano una granulometria più fine.

Per le schede granulometriche dei diversi campioni si rimanda all'appendice F (Fig. F1 – F24).

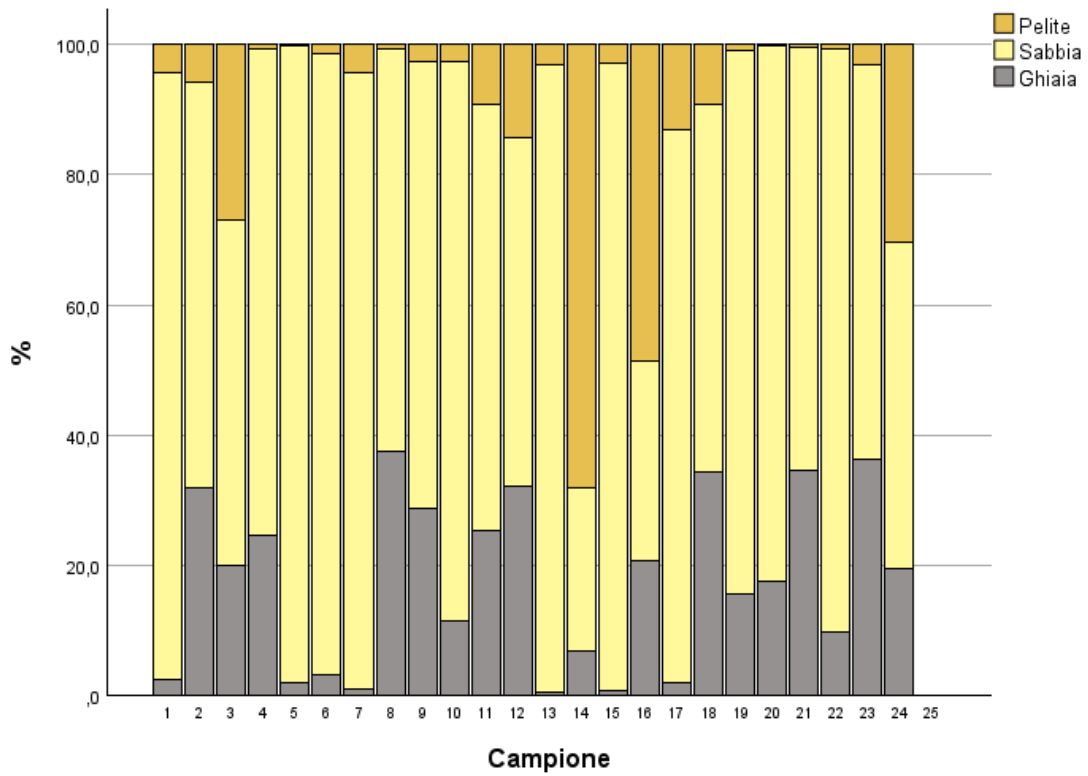


Figura 5. Grafico a barre riportante le % di ghiaia, sabbia e pelite per ciascun campione.



Figura 6. Diagramma di Shepard modificato per la ghiaia (ISPRA 2019).

3.2. Distribuzione geochemica dei PTE+

La Tabella 1 riporta i principali indici statistici relativi ai PTE+, espressi in mg/Kg. È riportato anche il numero di campioni con concentrazioni < DL. In Fig. 7, sono mostrati i *boxplot* di sintesi.

Per le mappe di distribuzione dei diversi elementi si rimanda all'appendice A (Fig. A1 – A14).

Tabella 1. Statistica di base dei PTE+. I valori sono espressi in mg/Kg.

PTE+	DL	< DL	Min	Max	Media	Mediana	Dev.st.	Asim.	Curt.
Be	0.01	0	2.14	6.90	4.39	4.50	1.32	0.20	-0.80
V	0.01	0	75.6	229	149	138	42.2	0.35	-0.66
Cr	0.1	0	26.5	161	96.7	101	31.3	-0.19	-0.11
Co	0.01	0	7.35	24.6	15.5	14.5	4.65	0.29	-0.54
Ni	0.25	0	13.9	60.4	34.8	32.7	11.4	0.28	-0.31
Cu	0.1	0	13.7	162	42.3	30.7	36.3	2.45	5.88
Zn	0.85	0	49.4	337	101	76.5	64.8	2.59	7.42
As	0.03	0	3.95	14.6	7.60	6.28	3.01	1.19	0.55
Cd	0.01	0	0.18	0.85	0.36	0.33	0.16	1.49	2.41
Pb	0.05	0	15.6	150	50.3	37.7	34.8	1.68	2.39
U	0.01	0	2.84	5.91	3.98	3.97	0.75	0.83	0.57
Hg	0.005	1	< DL	0.14	0.030	0.014	0.033	2.17	5.08
Mn	0.1	0	480	1111	793	734	191	0.25	-1.06
Fe	50	0	19855	44344	32329	31311	7550	0.13	-1.00

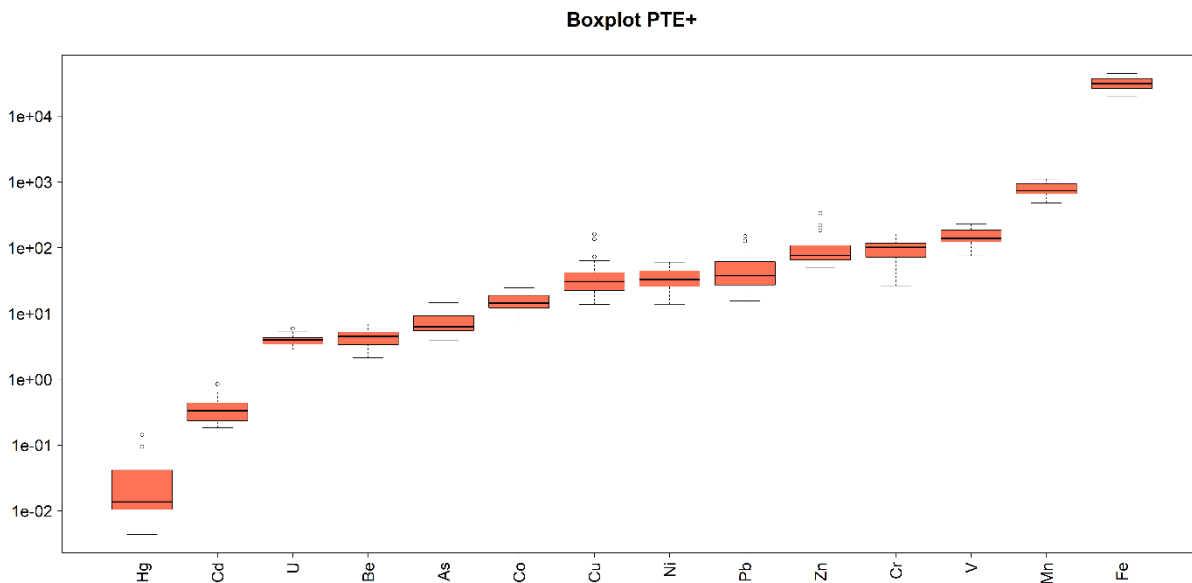


Figura 7. Boxplot dei PTE+, ordinati per valore crescente della mediana.

3.2.1. Berillio (Be)

Il berillio è un elemento del secondo gruppo degli elementi della tavola periodica appartenente al gruppo dei metalli alcalino-terrosi, caratterizzato da leggerezza, rigidità e resistenza alla corrosione. In natura si trova principalmente in minerali silicatici ed è generalmente poco abbondante nella crosta terrestre. Dal punto di vista ambientale, il berillio riveste interesse per il suo potenziale effetto tossico sugli organismi viventi e per l'impiego in ambito industriale, ad esempio nella produzione di leghe, materiali refrattari e componentistica elettronica.

Nei campioni di sedimento analizzati nel bacino del fiume Sarno, le concentrazioni di berillio variano da un minimo di circa 2.14 mg/kg a un massimo di 6.90 mg/kg (Tab. 1). La media è pari a 4.39 mg/kg, mentre la mediana risulta leggermente superiore, attestandosi a 4.50 mg/kg. La deviazione standard, pari a 1.32 mg/kg, indica una variabilità contenuta. La distribuzione dei dati appare complessivamente simmetrica, senza la presenza di valori estremamente anomali, e la maggior parte dei campioni si colloca attorno ai valori centrali, come evidenziato anche dai *boxplot* e dalla curva di densità (Fig. A1).

La mappa di distribuzione mostra che le concentrazioni più elevate di Be sono state riscontrate in alcuni campioni localizzati nella parte centrale ed orientale dell'area di studio, mentre i valori più bassi sono distribuiti soprattutto nelle porzioni meridionali e occidentali (Fig. A1). È possibile riconoscere raggruppamenti di campioni con valori di concentrazione

di Be medio-alti. Lungo l'asta principale del fiume si osservano variazioni tra i diversi tratti, con differenze riconoscibili a livello spaziale.

3.2.2. Vanadio (V)

Il vanadio è un elemento metallico di transizione, utilizzato in diversi processi industriali, soprattutto per la produzione di acciai speciali e leghe resistenti alla corrosione. In natura è presente in rocce magmatiche e sedimentarie, e in alcuni minerali specifici. Dal punto di vista ambientale, il vanadio può trovarsi nei suoli e nei sedimenti sia naturalmente per le caratteristiche geologiche dei suoli e dei sedimenti sia in seguito a emissioni industriali e combustione di oli pesanti. È considerato un elemento di interesse ecotossicologico per il potenziale effetto sugli organismi acquatici e terrestri.

Nei campioni analizzati, le concentrazioni di V variano da un minimo di 75.6 mg/kg a un massimo di 229 mg/kg (Tab. 1). La media risulta pari a 149 mg/kg, mentre la mediana si attesta a 138 mg/kg, leggermente inferiore al valore medio. La deviazione standard, pari a 42.2 mg/kg, indica una variabilità piuttosto marcata all'interno del set di dati. La distribuzione complessiva mostra una certa asimmetria, con campioni caratterizzati da concentrazioni elevate rispetto al resto della popolazione. L'analisi grafica tramite *boxplot* e la curva di densità evidenzia una progressione dei valori che si concentra maggiormente nella porzione superiore del range misurato (Fig. A2)

La rappresentazione cartografica mostra una distribuzione eterogenea del contenuto di V nei sedimenti (Fig. A2). In generale, valori più elevati dell'elemento sono stati misurati in campioni prelevati nella parte settentrionale e centrale del bacino, mentre le concentrazioni più basse sono state rilevate soprattutto nelle aree periferiche meridionali. Nello specifico, elevate concentrazioni di V sono riscontrabili nei sedimenti ubicati a monte, nelle aree più orientali, mentre si osserva un graduale decremento dei valori di concentrazione procedendo verso valle. La distribuzione evidenzia una variabilità apprezzabile tra le diverse aree del bacino.

3.2.3. Cromo (Cr)

Il cromo è un metallo di transizione che può trovarsi in diversi stati di ossidazione, con caratteristiche chimiche e ambientali differenti. In natura è presente in vari minerali, in particolare cromiti, ed è utilizzato estensivamente in ambito industriale per la produzione di acciai inossidabili, rivestimenti anticorrosione e pigmenti.

Le concentrazioni di Cr, nei sedimenti analizzati, variano da un minimo di circa 26.5 mg/kg a un massimo di 161 mg/kg (Tab. 1). La media è pari a 96.7 mg/kg, mentre la mediana risulta leggermente superiore, con un valore di 101 mg/kg. La deviazione standard, pari a 31.3 mg/kg, indica una variabilità elevata dei dati. La distribuzione dei dati mostra valori ben distribuiti attorno alla media.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni mostra campioni con concentrazioni di Cr più elevate localizzati nella porzione settentrionale e centrale del bacino, mentre i campioni di sedimento con concentrazioni più basse si trovano nelle aree marginali e nel settore di piana (Fig. A3 in appendice A). Si osservano piccoli cluster di campioni con concentrazioni simili, riconoscibili soprattutto nei tratti centrali del fiume.

3.2.4. Cobalto (Co)

Il cobalto è un elemento metallico che si trova in natura spesso in associazione con nichel e rame. È utilizzato in numerosi ambiti industriali, ad esempio nella produzione di batterie ricaricabili, catalizzatori e pigmenti.

Nei sedimenti analizzati, il Co mostra concentrazioni comprese tra 7.35 mg/kg e 24.6 mg/kg, con una media di 15.5 mg/kg e una mediana pari a 14.5 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard è di 4.65 mg/kg, a indicare una variabilità moderata. La distribuzione dei valori è relativamente regolare, con la maggior parte dei campioni concentrata nella fascia centrale.

La rappresentazione cartografica mette in evidenza valori più alti di Co in alcune porzioni montane settentrionali (Fig. A4). Le zone meridionali e periferiche presentano invece contenuti di Co inferiori.

3.2.5. Nichel (Ni)

Il nichel è un metallo diffuso nella crosta terrestre, presente soprattutto in rocce ultrabasiche e solfuri. Ha applicazioni industriali importanti, tra cui la produzione di acciai inossidabili e leghe resistenti.

Le concentrazioni di Ni misurate nei sedimenti campionati variano da 13.9 mg/kg a 60.4 mg/kg, con una media di 34.8 mg/kg e una mediana di 32.7 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard, pari a 11.4 mg/kg, segnala una discreta variabilità. La distribuzione dei valori di

concentrazione di questo elemento mostra che i valori più concentrati sono nella fascia intermedia, con alcuni campioni che si collocano nel range più alto.

La distribuzione spaziale evidenzia che i valori più elevati di Ni sono localizzati prevalentemente nei campioni prelevati a monte delle diverse aste fluviali, mentre concentrazioni più basse si osservano in campioni distribuiti nelle aree della piana (Fig. A5).

3.2.6. Rame (Cu)

Il rame è un metallo ampiamente diffuso, essenziale per molti organismi viventi ma potenzialmente tossico se presente in concentrazioni eccessive. È largamente utilizzato in campo industriale, agricolo ed elettronico.

Nei sedimenti studiati, il Cu mostra valori di concentrazione compresi tra 13.7 mg/kg e 162 mg/kg, con una media di 42.3 mg/kg e una mediana di 30.7 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard è di 36.3 mg/kg, segno di una variabilità piuttosto ampia.

La rappresentazione cartografica mostra una divisione abbastanza netta tra la distribuzione delle concentrazioni nelle zone di monte e di valle: le concentrazioni più elevate di Cu si ritrovano nell'area occidentale di piana del bacino, mentre i valori più bassi sono diffusi nelle zone di monte (Fig. A6).

3.2.7. Zinco (Zn)

Lo zinco è un metallo molto diffuso e usato nei processi di galvanizzazione, nella produzione di leghe e nei fertilizzanti. È un elemento essenziale ma in concentrazioni elevate può risultare tossico.

Le concentrazioni misurate nei sedimenti investigati variano da 49.4 mg/kg a 337 mg/kg, con una media di 101 mg/kg e una mediana di 76.5 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard, pari a 28.63 mg/kg, riflette una variabilità considerevole.

La distribuzione spaziale mostra una divisione netta tra la distribuzione delle concentrazioni di Zn: nell'area occidentale di piana del bacino si ritrovano le concentrazioni medio-alte, mentre i valori medio-bassi sono diffusi nelle zone orientali di monte (Fig. A7).

3.2.8. Arsenico (As)

L'arsenico è un metalloide che si trova in natura in minerali solforati e arsenicali. È noto per la sua tossicità e pericolosità ambientale anche a basse concentrazioni.

Nei sedimenti del bacino del Sarno, il contenuto di As varia da 3.95 mg/kg a 14.6 mg/kg, con una media di 7.60 mg/kg e una mediana di 6.28 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard è di 3.01 mg/kg, indicando una moderata variabilità.

La rappresentazione cartografica mostra che le concentrazioni maggiori di As si riscontrano in alcuni campioni ai margini occidentali ed orientali, mentre valori inferiori si trovano nelle aree centrali del bacino (Fig. A8).

3.2.9. Cadmio (Cd)

Il cadmio è un metallo raro nella crosta terrestre, ma presente come sottoprodotto in minerali di zinco, piombo e rame. È molto tossico e tende ad accumularsi negli organismi.

Il contenuto di Cd nei sedimenti analizzati varia tra un valore minimo di 0.18 mg/kg e un massimo di 0.85 mg/kg, con una media di 0.36 mg/kg e una mediana di 0.33 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard è di 0.16 mg/kg, a indicare una variabilità contenuta.

La distribuzione spaziale mostra che i valori più elevati di Cd sono localizzati in alcuni punti centrali ed orientali del bacino, mentre le concentrazioni più basse sono distribuite nelle zone montuose (Fig. A9).

3.2.10. Piombo (Pb)

Il piombo è un metallo pesante molto usato in passato in carburanti, vernici e tubazioni. È tossico e persistente nell'ambiente.

Nei sedimenti, il contenuto di Pb misurato varia da 15.6 mg/kg a 150 mg/kg, con una media di 50.3 mg/kg e una mediana di 37.7 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard è pari a 34.8 mg/kg, segnalando una variabilità elevata.

La distribuzione spaziale mostra una divisione abbastanza marcata tra la distribuzione delle concentrazioni di Pb: nell'area occidentale di piana del bacino e nelle zone periferiche

meridionali si ritrovano le concentrazioni medio-alte, mentre i valori medio-bassi sono diffusi nelle zone montane settentrionali (Fig. A10).

3.2.11. Uranio (U)

L'uranio è un metallo naturalmente presente nella crosta terrestre, in particolare in rocce granitiche e sedimentarie. Ha interesse ambientale per la sua radioattività e tossicità chimica.

Le concentrazioni di U nei sedimenti variano da 2.84 mg/kg a 5.91 mg/kg, con una media di 3.98 mg/kg e una mediana di 3.97 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard, pari a 0.75 mg/kg, indica una variabilità contenuta.

La mappa mostra che le concentrazioni maggiori di U si trovano in alcuni campioni localizzati nei margini orientali del bacino e nella zona di piana, mentre i valori più bassi sono distribuiti soprattutto nelle zone centrali meridionali (A11).

3.2.12. Mercurio (Hg)

Il mercurio è un elemento chimico metallico di transizione, classificato come metallo pesante, unico a presentarsi allo stato liquido a temperatura ambiente, noto per la sua tossicità e capacità di bioaccumulo. È stato usato in numerosi settori industriali.

Nei sedimenti analizzati, Hg presenta concentrazioni massime di 0.057 mg/kg e alcuni campioni con concentrazioni < DL, con una media di 0.030 mg/kg e una mediana di 0.014 mg/kg (Tab. 1). La deviazione standard, pari a 0.033 mg/kg, riflette una variabilità ridotta.

La mappa di distribuzione evidenzia una separazione abbastanza netta delle concentrazioni di Hg: i valori più elevati, e la maggior parte di quelli medio-alti, sono localizzati nell'area occidentale di piana, mentre le concentrazioni medio-basse nelle aree a monte (Fig. A12).

3.2.13. Manganese (Mn)

Il manganese è un metallo di transizione abbondante nella crosta terrestre, fondamentale in molti processi biologici e industriali. È presente in minerali ossidi e carbonati ed è utilizzato principalmente nella produzione di acciai e leghe. Dal punto di vista ambientale, il manganese è considerato un elemento essenziale ma a concentrazioni elevate può risultare problematico.

Nei campioni di sedimento studiati, le concentrazioni di Mn variano da circa 480 mg/kg a oltre 1111 mg/kg (Tab. 1). La media è pari a 793 mg/kg, mentre la mediana si attesta a 734 mg/kg, leggermente inferiore al valore medio. La deviazione standard, pari a 191 mg/kg, indica una variabilità elevata.

Le concentrazioni più alte di Mn sono localizzate nelle zone periferiche di monte (Fig. A13). I campioni caratterizzati da concentrazioni medie e basse appaiono distribuiti in tutta l'area di pertinenza del bacino.

3.2.14. Ferro (Fe)

Il ferro è il metallo più abbondante della crosta terrestre ed è presente in numerosi minerali, tra cui ossidi, carbonati e solfuri. È largamente utilizzato in ambito industriale, in particolare nella produzione di acciai. In ambiente, il ferro è un elemento essenziale, ma può influire sulle caratteristiche geochimiche dei sedimenti e delle acque.

Le concentrazioni di Fe nei sedimenti analizzati variano da circa 19855 mg/kg a 44344 mg/kg (Tab. 1). La media è pari a 32329 mg/kg, mentre la mediana si colloca a 31311 mg/kg, in prossimità della media. La deviazione standard, pari a 7550 mg/kg, segnala una variabilità significativa.

La rappresentazione cartografica evidenzia concentrazioni più elevate nei campioni situati nelle zone periferiche di monte (Fig. A14). I campioni caratterizzati da concentrazioni medio-basse appaiono distribuiti in tutta l'area di pertinenza del bacino, mentre le concentrazioni inferiori nella porzione montana meridionale.

3.3. Distribuzione geochimica degli IPA

Gli IPA, inquinanti ambientali ubiquitari, sono una vasta classe di composti organici formati da due o più anelli benzenici uniti fra loro, in un'unica struttura piana, attraverso coppie di atomi di carbonio condivisi fra anelli adiacenti.

Sono sostanze che possono derivare da fenomeni naturali come eruzioni vulcaniche e maturazione della sostanza organica, tuttavia, in particolare nelle regioni fortemente urbanizzate o industrializzate, la maggior parte di queste sostanze è di origine antropogenica e la loro formazione è per lo più associata a processi di combustione incompleta di materia organica.

La genesi antropica è legata principalmente a processi industriali vari (come la produzione di alluminio, di ferro e acciaio o fonderie), lavorazione del carbone e del petrolio, impianti di generazione di energia elettrica, inceneritori, riscaldamento domestico (specialmente se a legna o carbone), emissioni da veicoli a motore, cottura di alimenti su fiamma e fumo di tabacco.

Nel 1980, l'Agenzia per la Protezione Ambientale statunitense (USEPA) ha incluso sedici IPA nell'elenco delle sostanze inquinanti prioritarie: fluorantene, pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, indeno(1,2,3-cd)pirene, dibenzo(a,h)antracene, benzo(g,h,i)perilene, naftalene, acenaftilene, acenaftene, fluorene, fenantrene ed antracene (USEPA, 1980).

La Tabella 2 riporta i principali indici statistici relativi agli IPA, espressi in $\mu\text{g}/\text{Kg}$. È riportato anche il numero di campioni con concentrazioni < DL. In Fig. 8 i *boxplot* di sintesi.

Per le mappe di distribuzione dei diversi composti si rimanda all'appendice B (Fig. B1 – B28).

Tabella 2. Statistica di base degli IPA. I valori sono espressi in $\mu\text{g}/\text{Kg}$.

IPA	DL	< DL	Min	Max	Media	Mediana	Dev.st.	Asim.	Curt.
Ace	0.1	0	1.29	10.6	2.49	2.01	1.87	3.87	16.9
Fla	0.1	0	1.96	283	29.2	7.14	60.2	3.72	14.9
Naft	0.1	0	1.27	20.6	5.30	3.99	4.07	2.50	8.14
B(a)a	0.1	3	< DL	256	20.6	2.58	53.7	4.06	17.5
B(a)p	0.1	0	1.95	486	47.2	9.59	101	3.93	16.9
B(bj)f	0.1	0	2.23	230	23.2	6.97	47.1	4.05	17.8
B(k)f	0.1	0	0.65	64.5	6.34	2.22	13.2	4.12	18.2
Cri	0.1	0	1.18	90.1	9.50	3.28	18.3	4.07	18.0
Aci	0.1	0	2.64	6.78	4.04	3.42	1.42	0.85	-0.81
Antr	0.1	0	2.25	25.8	4.81	3.65	4.80	3.91	17.2
B(ghi)p	0.1	0	1.58	94.6	14.0	5.31	20.9	2.93	9.71
Fle	0.1	0	0.40	10.3	2.66	2.12	2.26	1.88	4.56
Fen	0.1	0	4.06	113	16.1	9.01	22.1	4.01	17.7
D(ah)a	0.1	6	< DL	38.0	4.30	2.84	7.60	4.11	18.5
I(cd)p	0.1	0	1.49	75.9	11.1	4.24	16.8	3.03	10.0

Pir	0.1	0	2.63	213	25.4	7.37	45.4	3.52	13.6
Bif	0.1	0	7.71	20.9	12.5	11.3	4.05	0.92	-0.49
Dibtio	0.1	0	4.08	10.8	6.05	4.74	2.44	0.90	-1.00
C(cd)p	0.1	0	0.46	6.50	1.44	1.06	1.37	2.55	7.73
B(ghi)f	0.1	24	-	-	-	-	-	-	-
B(a)f	0.1	0	2.11	21.0	4.86	3.91	4.03	3.12	11.4
B(e)p	0.1	0	5.77	134	20.7	14.1	26.5	3.76	15.8
Per	0.1	0	5.32	52.6	12.5	11.1	10.0	3.06	11.4
D(ac)a	0.1	11	< DL	14.7	3.70	4.29	4.13	1.05	0.75
Antt	0.1	9	< DL	29.4	5.03	3.68	6.39	2.54	8.79
D(bk)f	0.1	5	< DL	93.9	9.23	1.18	19.7	3.80	16.0
Cor	0.1	7	< DL	18.2	3.29	0.49	4.98	1.73	2.45
D(ae)p	0.1	24	-	-	-	-	-	-	-

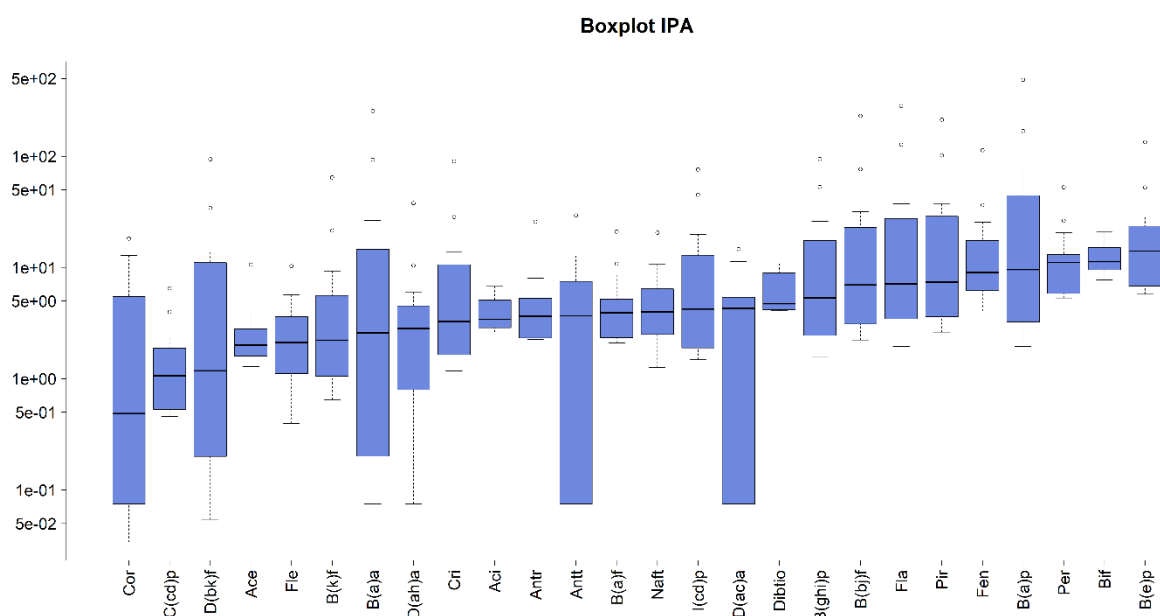


Figura 8. Boxplot degli IPA, ordinati per valore crescente della mediana.

3.3.1. Acenafte (Ace)

Le concentrazioni di Ace nei sedimenti variano da un minimo di circa 1.29 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di 10.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 2). La media è pari a 2.49 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta 2.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a 1.87 $\mu\text{g}/\text{kg}$, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

Le mappa mostra che i valori più alti si ritrovano nei campioni raccolti nelle zone sud-orientali di monte, mentre le concentrazioni più basse sono distribuite in maniera più omogenea nelle altre zone del bacino (Fig. B1).

3.3.2. Fluorantene (Fla)

Le concentrazioni di Fla nei sedimenti variano da un minimo di circa 1.96 µg/kg a un massimo di 283 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 29.2 µg/kg, mentre la mediana risulta 7.14 µg/kg. La deviazione standard, pari a 60.20 µg/kg, indica un alto grado di variabilità tra i campioni.

La mappa di distribuzione evidenzia una separazione abbastanza netta delle concentrazioni di Fla: i valori medio-alti, ad eccezione di un campione, sono localizzati nell'area occidentale di piana, mentre le concentrazioni medio-basse nelle aree a monte (Fig. B2).

3.3.3. Naftalene (Naft)

Le concentrazioni di Naft nei sedimenti variano da un minimo di circa 1.27 µg/kg a un massimo di 20.6 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 5.30 µg/kg, mentre la mediana risulta 3.99 µg/kg. La deviazione standard, pari a 4.07 µg/kg, indica un discreto grado di variabilità tra i campioni.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni mostra come l'area di piana sia caratterizzata prevalentemente da valori medio-alti (Fig. B3). Nel settore orientale dominano invece valori medio-bassi, con alcuni campioni con concentrazioni maggiori nella parte più meridionale.

3.3.4. Benzo(a)antracene (B(a)a)

Le concentrazioni di B(a)a nei sedimenti variano da valori minimi < DL (0.075) µg/kg a un massimo di 256 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 20.6 µg/kg, mentre la mediana risulta 2.58 µg/kg. La deviazione standard, pari a 53.70 µg/kg, indica un alto grado di variabilità tra i campioni.

La cartografia prodotta mostra come l'area di piana sia caratterizzata prevalentemente da valori medio-alti (Fig. B4). I valori maggiori caratterizzano l'area di monte del fiume Sarno, mentre i valori più bassi caratterizzano l'area montana più orientale.

3.3.5. *Benzo(a)pirene (B(a)p)*

Le concentrazioni di B(a)p nei sedimenti variano da un minimo di circa 1.95 µg/kg a un massimo di 486 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 47.2 µg/kg, mentre la mediana risulta 9.59 µg/kg. La deviazione standard, pari a 101 µg/kg, indica un elevato grado di variabilità tra i campioni.

La rappresentazione cartografica evidenzia una separazione abbastanza netta delle concentrazioni: i valori medio-alti sono localizzati prevalentemente nell'area occidentale di piana, mentre le concentrazioni medio-basse nelle aree a monte (Fig. B5).

3.3.6. *Benzo(b+j)fluorantene (B(bj)f)*

Le concentrazioni di B(bj)f nei sedimenti variano da un minimo di circa 2.23 µg/kg a un massimo di 230 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 23.2 µg/kg, mentre la mediana risulta 6.97 µg/kg. La deviazione standard, pari a 47.13 µg/kg, indica un elevato grado di variabilità tra i campioni.

La mappa di distribuzione mostra una separazione abbastanza netta delle concentrazioni: i valori medio-alti sono localizzati prevalentemente nell'area occidentale di piana, mentre le concentrazioni medio-basse nelle aree a monte (Fig. B6).

3.3.7. *Benzo(k)fluorantene (B(k)f)*

Le concentrazioni di B(k)f nei sedimenti variano da un minimo di circa 0.65 µg/kg a un massimo di 64.5 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 6.34 µg/kg, mentre la mediana risulta 2.22 µg/kg. La deviazione standard, pari a 13.2 µg/kg, indica un discreto grado di variabilità tra i campioni.

La mappa di distribuzione spaziale di B(k)f mostra, in generale, una distribuzione piuttosto omogenea delle concentrazioni (Fig. B7), anche se l'area orientale del bacino appare caratterizzata prevalentemente da valori medio-bassi, mentre la porzione occidentale da valori medio-alti.

3.3.8. *Crisene (Cri)*

Le concentrazioni di Cri nei sedimenti variano da un minimo di circa 1.18 µg/kg a un massimo di 90.1 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 9.50 µg/kg, mentre la mediana risulta

3.28 µg/kg. La deviazione standard, pari a 18.28 µg/kg, indica un discreto grado di variabilità tra i campioni.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni di Cri appare abbastanza netta: i valori alti e medio-alti sono localizzati prevalentemente nell'area occidentale di piana, mentre le concentrazioni medio-basse nelle aree a monte (Fig. B8).

3.3.9. *Acenaftilene (Aci)*

Le concentrazioni di Aci nei sedimenti variano da un minimo di circa 2.64 µg/kg a un massimo di 6.78 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 4.04 µg/kg, mentre la mediana risulta 3.42 µg/kg. La deviazione standard, pari a 1.42 µg/kg, indica un grado di variabilità molto basso tra i campioni.

La mappa di distribuzione spaziale di Aci mette in risalto una distribuzione piuttosto omogenea delle concentrazioni all'interno dell'area del bacino di interesse (Fig. B9).

3.3.10. *Antracene (Antr)*

Le concentrazioni di Antr nei sedimenti variano da un minimo di circa 2.25 µg/kg a un massimo di 25.8 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 4.81 µg/kg, mentre la mediana risulta 3.65 µg/kg. La deviazione standard, pari a 4.80 µg/kg, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni di Antr appare piuttosto omogenea, ad eccezione di un piccolo cluster di campioni con concentrazioni medio-basse localizzato nella porzione centrale dell'area di piana (Fig. B10).

3.3.11. *Benzo(ghi)perilene (B(ghi)p)*

Le concentrazioni di B(ghi)p nei sedimenti variano da un minimo di circa 1.58 µg/kg a un massimo di 94.6 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 14.0 µg/kg, mentre la mediana risulta 5.31 µg/kg. La deviazione standard, pari a 20.9 µg/kg, indica un discreto grado di variabilità tra i campioni.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni di B(ghi)p mostra che i valori alti e medio-alti dominano prevalentemente l'area occidentale di piana, mentre le concentrazioni medio-basse sono distribuite in maniera omogenea nelle aree a monte (Fig. B11).

3.3.12. Fluorene (Fle)

Le concentrazioni di Fle nei sedimenti variano da un minimo di circa 0.40 µg/kg a un massimo di 10.3 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 2.66 µg/kg, mentre la mediana risulta 2.12 µg/kg. La deviazione standard, pari a 2.26 µg/kg, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

L'andamento spaziale di Fle mostra che l'area montuosa orientale è caratterizzata prevalentemente da concentrazioni medio-basse, mentre nelle altre zone la distribuzione dei valori appare piuttosto omogenea (Fig. B12).

3.3.13. Fenantrene (Fen)

Le concentrazioni di Fen nei sedimenti variano da un minimo di circa 4.06 µg/kg a un massimo di 113 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 16.1 µg/kg, mentre la mediana risulta 9.01 µg/kg. La deviazione standard, pari a 22.12 µg/kg, indica un alto grado di variabilità tra i campioni.

La mappa della distribuzione di Fen mostra che l'area di piana è dominata prevalentemente da valori di concentrazione intermedi (Fig. B13). L'area di monte è caratterizzata da concentrazioni medio-basse, con campioni con concentrazioni maggiori sparsi.

3.3.14. Dibenzo(a,h)antracene (D(ah)a)

Circa il 25% dei campioni (6 campioni) di D(ah)a presentano concentrazioni < DL (0.1 µg/kg). Il valore massimo è 38.0 µg/kg, la media è pari a 4.30 µg/kg, mentre la mediana risulta 2.84 µg/kg (Tab. 2). La deviazione standard, pari a 7.60 µg/kg, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

L'andamento spaziale mostra che l'area di piana è caratterizzata da valori di concentrazione di D(ah)a medio-alti, mentre nella zona di monte le concentrazioni sono distribuite in maniera più o meno omogenea (Fig. B14).

3.3.15. Indeno(1,2,3-cd)pirene (I(cd)p)

Le concentrazioni di I(cd)p nei sedimenti variano da un minimo di circa 1.49 µg/kg a un massimo di 75.9 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 11.1 µg/kg, mentre la mediana risulta 4.24

$\mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a $16.8 \mu\text{g}/\text{kg}$, indica un discreto grado di variabilità tra i campioni.

L'analisi della distribuzione spaziale delle concentrazioni di I(cd)p mostra che nell'area di piana sono predominanti valori di concentrazione medio-alti (Fig. B15). Nella porzione centrale del bacino e nell'area orientale di monte i valori sono distribuiti in maniera pressoché uniforme.

3.3.16. *Pirene (Pir)*

Le concentrazioni di Pir nei sedimenti variano da un minimo di circa $2.63 \mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di $213 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 2). La media è pari a $25.4 \mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta $7.37 \mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a $45.4 \mu\text{g}/\text{kg}$, indica un alto grado di variabilità tra i campioni.

Le mappa di distribuzione mostra una separazione quasi netta tra le concentrazioni di Pir: i valori più alti si concentrano perlopiù nell'area di piana, mentre le concentrazioni più basse sono distribuite nell'area di monte (Fig. B16).

3.3.17. *Bifenile (Bif)*

Le concentrazioni di Bif nei sedimenti variano da un minimo di circa $7.71 \mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di $20.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 2). La media è pari a $12.5 \mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta $11.3 \mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a $4.05 \mu\text{g}/\text{kg}$, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

Dalla distribuzione spaziale delle concentrazioni di Bif si nota che l'area di piana è caratterizzata quasi esclusivamente da valori di concentrazione medio-bassi (Fig. B17). I valori più bassi e quelli medio-alti appaiono distribuiti in maniera pressoché uniforme nelle restanti porzioni centrali e di monte.

3.3.18. *Dibenzotiofene (Dibtio)*

Le concentrazioni di Dibtio nei sedimenti variano da un minimo di circa $4.08 \mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di $10.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 2). La media è pari a $6.05 \mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta $4.74 \mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a $2.44 \mu\text{g}/\text{kg}$, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

La mappa di distribuzione spaziale di Dibtio denota una separazione abbastanza netta delle concentrazioni: i valori intermedi sono concentrati nella zona di piana, mentre valori estremi caratterizzano l'area di monte (Fig. B18).

3.3.19. *Ciclopenta(cd)pirene (C(cd)p)*

Le concentrazioni di C(cd)p nei sedimenti variano da un minimo di circa 0.46 µg/kg a un massimo di 6.50 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 1.44 µg/kg, mentre la mediana risulta 1.06 µg/kg. La deviazione standard, pari a 1.37 µg/kg, indica un grado di variabilità tra i campioni molto basso.

La mappa mostra che l'area di piana occidentale è caratterizzata esclusivamente dalla presenza di campioni aventi concentrazioni medio-alte, mentre nell'area di monte si ritrovano valori di concentrazione uniformemente distribuiti (Fig. B19).

3.3.20. *Benzo(ghi)fluorantene (B(ghi)f)*

Le concentrazioni di B(ghi)f nei sedimenti risultano tutte < DL (Tab. 2 e Fig. B20) pari a 0.1 µg/kg.

3.3.21. *Benzo(a)fluorantene (B(a)f)*

Le concentrazioni di B(a)f nei sedimenti variano da un minimo di circa 2.11 µg/kg a un massimo di 21.0 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 4.86 µg/kg, mentre la mediana risulta 3.91 µg/kg. La deviazione standard, pari a 4.03 µg/kg, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

La mappa di distribuzione spaziale di B(a)f mostra una ripartizione abbastanza omogenea delle concentrazioni all'interno dell'area di interesse (Fig. B21). I valori più elevati sembrano essere perlopiù localizzati nelle porzioni centrali del bacino.

3.3.22. *Benzo(e)pirene (B(e)p)*

Le concentrazioni di B(e)p nei sedimenti variano da un minimo di circa 5.77 µg/kg a un massimo di 134 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 20.7 µg/kg, mentre la mediana risulta 14.06 µg/kg. La deviazione standard, pari a 26.51 µg/kg, indica un discreto grado di variabilità tra i campioni.

L'andamento spaziale di B(e)p mostra una distribuzione abbastanza uniforme delle concentrazioni nell'intero bacino (Fig. B22). L'area di monte sembra essere, però, caratterizzata maggiormente dalla presenza di valori inferiori.

3.3.23. *Perilene (Per)*

Le concentrazioni di Per nei sedimenti variano da un minimo di circa 5.32 µg/kg a un massimo di 52.6 µg/kg (Tab. 2). La media è pari a 12.5 µg/kg, mentre la mediana risulta 11.1 µg/kg. La deviazione standard, pari a 10.0 µg/kg, indica un moderato grado di variabilità tra i campioni.

La mappa di distribuzione di Per mostra una ripartizione piuttosto omogenea degli intervalli di concentrazione all'interno del bacino, con assenza di cluster apprezzabili (Fig. B23).

3.3.24. *Dibenzo(a,c)antracene (D(ac)a)*

Circa il 50% dei campioni (11 campioni) presenta concentrazioni di D(a,c)a < DL (0.1 µg/kg). Il valore massimo è di 14.66 µg/kg, la media è pari a 3.70 µg/kg, mentre la mediana risulta 4.29 µg/kg (Tab. 2). La deviazione standard, pari a 4.13 µg/kg, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

L'andamento spaziale di D(a,c)a mostra che i campioni con concentrazioni < DL sono localizzati nell'area di monte (Fig. B24). L'area di piana è caratterizzata prevalentemente da valori di concentrazione intermedi, mentre i valori più elevati si trovano nella porzione centrale del bacino.

3.3.25. *Antantrene (Antt)*

Circa il 40% dei campioni (9 campioni) presenta concentrazioni di Antt < DL (0.1 µg/kg). Il massimo è pari a 29.4 µg/kg, la media è 5.03 µg/kg, mentre la mediana risulta 3.68 µg/kg (Tab. 2). La deviazione standard, pari a 6.39 µg/kg, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

L'area di piana è caratterizzata quasi esclusivamente da valori di concentrazione medio-alti (Fig. B25). Nell'area di monte, dove sono localizzati tutti i campioni con concentrazioni < DL, i valori sembrano distribuiti in maniera omogenea.

3.3.26. *Dibenzo(b,k)fluorantene (D(bk)f)*

Circa il 20% dei campioni (5 campioni) presenta concentrazioni di D(b,k)f < DL (0.1 µg/kg). Il valore massimo è pari a 93.9 µg/kg, la media è 9.23 µg/kg, mentre la mediana risulta 1.18 µg/kg (Tab. 2). La deviazione standard, pari a 19.7 µg/kg, indica un discreto grado di variabilità tra i campioni.

La cartografia prodotta mostra che l'area di piana occidentale è caratterizzata prevalentemente dai valori di concentrazione maggiori (Fig. B26). I valori intermedi sono distribuiti in maniera abbastanza omogenea, anche se nell'area di monte predominano quelli medio-bassi.

3.3.27. *Coronene (Cor)*

Circa il 30% dei campioni (7 campioni) presenta concentrazioni di Cor < DL (0.1 µg/kg) nei sedimenti. Il valore massimo è pari a 18.21 µg/kg, la media è 3.29 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.49 µg/kg (Tab. 2). La deviazione standard, pari a 4.98 µg/kg, indica un basso grado di variabilità tra i campioni.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni di Cor mostra una divisione abbastanza netta: i valori più elevati caratterizzano quasi esclusivamente l'area occidentale di piana, mentre l'area orientale di monte è dominata prevalentemente da concentrazioni inferiori (Fig. B27).

3.3.28. *Dibenzo(a,e)pirene (D(ae)p)*

Le concentrazioni di D(ae)p nei sedimenti risultano tutte < DL (Tab. 2 e Fig. B28) pari a 0.1 µg/kg.

3.4. Distribuzione geochimica degli OCP

Gli OCP sono un gruppo di idrocarburi aromatici clorurati, molecole sintetiche costituite da strutture organiche contenenti almeno un anello aromatico ed un atomo di cloro, largamente utilizzate da decenni principalmente in campo agricolo come insetticidi e fungicidi (Sparling, 2016). Esistono differenti tipi di OCP, raggruppabili in famiglie in base alla loro caratteristiche strutturali, che possono avere origini e percorsi diversi nell'ambiente.

Rispetto alla maggior parte degli altri pesticidi organici sintetici in commercio, gli OCP mostrano una maggiore persistenza ambientale e sono caratterizzati, in genere, da una

spiccata tendenza al bioaccumulo e alla biomagnificazione lungo le catene trofiche in ragione del loro carattere lipofilo.

Alcune tipologie di OCP, come il diclorodifeniltricloroetano (DDT), esaclorobenzene (HCB), dieldrin, esaclorocicloesano (HCH α e β) e lindano (HCH γ), sono ad oggi bandite dal mercato a causa dell'attitudine che hanno ad accumularsi nella catena alimentare ed alla loro tossicità non-selettiva nei confronti delle diverse specie viventi, tra cui i mammiferi (inclusi gli esseri umani).

A partire dal 2001, a seguito della Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti, i cui obiettivi principali sono l'eliminazione o la diminuzione d'uso di alcune sostanze nocive, determinati OCP, nello specifico aldrin, clordano, DDT, HCB, HCH, dieldrin, endrin, eptacloro e mirex, sono stati inclusi tra le sostanze definite come Inquinanti Organici Persistenti (Persistent Organic Pollutants - POPs).

La Tabella 3 riporta i principali indici statistici relativi agli OCP, espressi in $\mu\text{g}/\text{Kg}$. È riportato anche il numero di campioni con concentrazioni < DL. In Fig. 9 i *boxplot* di sintesi.

Per le mappe di distribuzione dei diversi composti si rimanda all'appendice C (Fig C1 – C19).

Tabella 3. Statistica di base degli OCP. I valori sono espressi in $\mu\text{g}/\text{Kg}$.

OCP	DL	< DL	Min	Max	Media	Mediana	Dev.st.	Asim.	Curt.
HCB	0.01	0	0.32	9.91	1.86	1.26	2.08	2.80	9.53
αHCH	0.05	0	1.50	120	27.6	15.8	31.7	2.04	4.06
βHCH	0.05	0	2.95	139	34.3	19.6	37.4	1.75	2.70
γHCH	0.05	0	5.25	247	33.1	16.5	50.9	3.57	14.3
Hept	0.05	0	22.2	359	84.1	41.4	98.3	2.13	3.44
Ald	0.05	24	-	-	-	-	-	-	-
Dield	0.05	4	< DL	214	24.0	7.73	53.4	3.11	8.98
Endr	0.05	2	< DL	594	131	41.0	170	1.40	1.02
Isod	0.05	1	< DL	177	18.5	5.64	36.8	3.80	16.0
opDDE	0.05	7	< DL	161	10.0	2.48	32.4	4.81	23.4
ppDDE	0.05	18	< DL	72.3	9.43	< DL	21.1	2.43	5.13
opDDD	0.05	2	< DL	28.8	5.75	2.61	7.53	1.98	3.34
ppDDD	0.05	10	< DL	42.1	8.10	2.38	13.3	1.82	2.09
opDDT	0.05	0	16.9	909	191	90.1	236	2.18	4.64

ppDDT	0.05	12	< DL	24.1	1.93	0.09	4.95	4.25	19.4
aEndos	0.05	24	-	-	-	-	-	-	-
βEndos	0.05	0	3.38	78.0	25.5	21.2	20.3	0.84	0.15
Isob	0.05	24	-	-	-	-	-	-	-
HepEpoX	0.05	0	1.10	97.8	19.2	6.93	26.5	1.92	2.97

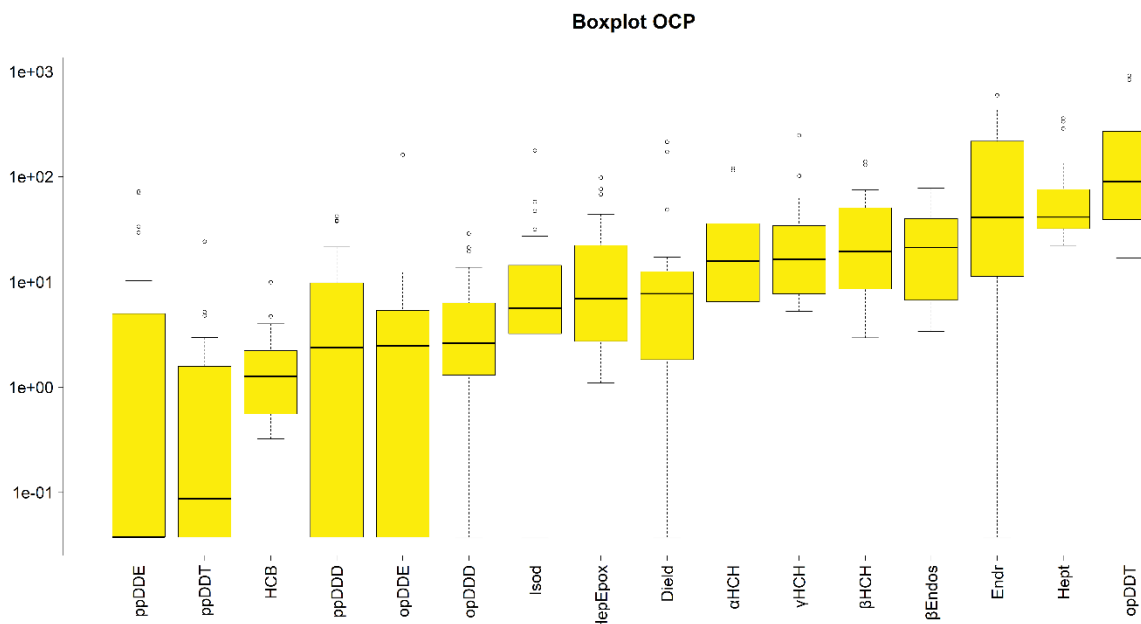


Figura 9. Boxplot degli OCP, ordinati per valore crescente della mediana.

3.4.1. Esaclorobenzene (HCB)

Le concentrazioni di HCB nei sedimenti variano da un minimo di 0.32 µg/kg a un massimo di 9.91 µg/kg (Tab. 3). La media è pari a 1.86 µg/kg, mentre la mediana risulta 1.26 µg/kg. La deviazione standard, pari a 2.08 µg/kg, esprime un basso livello di variabilità dei dati.

La mappa di distribuzione mostra che le concentrazioni più elevate di HCB sono localizzate nell'area di piana (Fig. C1). Valori medio-alti sono distribuiti in maniera abbastanza uniforme all'interno del bacino, mentre i campioni con concentrazioni inferiori sono localizzati principalmente nel settore orientale del bacino.

3.4.2. α -esaclorocicloesano (α HCH)

Le concentrazioni di α HCH nei sedimenti variano da un minimo di 1.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di 120 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 3). La media è pari a 27.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta 15.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a 31.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni di α HCH mostra che nell'area di piana sono localizzati i campioni aventi le concentrazioni maggiori (Fig. C2). Valori medio-alti sono distribuiti in maniera abbastanza uniforme all'interno del bacino, mentre i campioni con concentrazioni inferiori sono localizzati principalmente nelle aree di monte.

3.4.3. β -esaclorocicloesano (β HCH)

Le concentrazioni di β HCH nei sedimenti variano da un minimo di circa 2.95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di 139 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 3). La media è pari a 34.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta 19.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a 37.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

La rappresentazione cartografica mostra che l'area occidentale di piana è caratterizzata quasi esclusivamente dai valori di concentrazione più elevati di β HCH (Fig. C3). Valori medio-alti caratterizzano l'area orientale di monte, mentre la distribuzione delle concentrazioni medio-basse appare abbastanza omogenea.

3.4.4. γ -esaclorocicloesano (γ HCH)

Le concentrazioni di γ HCH nei sedimenti variano da un minimo di circa 5.25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di 247 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 3). La media è pari a 33.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta 16.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a 50.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

La cartografia prodotta mostra una separazione nella distribuzione delle concentrazioni di γ HCH: le concentrazioni più alte, fatta eccezione per qualche campione, si osservano prevalentemente nell'area di piana, mentre valori più bassi sono distribuiti nelle aree montuose (Fig. C4).

3.4.5. Eptacloro (Hept)

Le concentrazioni di Hept nei sedimenti variano da un minimo di 22.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di 359 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 3). La media è pari a 84.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta 41.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

La deviazione standard, pari a 98.3 µg/kg, esprime un livello di variabilità dei dati molto elevato.

La mappa di distribuzione di Hept mostra che i campioni aventi le concentrazioni maggiori sono localizzati nell'area di piana (Fig. C5). Valori intermedi sono distribuiti in maniera abbastanza uniforme all'interno del bacino, mentre i campioni con concentrazioni minori sono localizzati nelle aree di monte.

3.4.6. Aldrin (Ald)

Le concentrazioni di Ald nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 3 e Fig. C6) pari a 0.05 µg/kg.

3.4.7. Dieldrin (Dield)

Circa il 17 % dei campioni (4 campioni) presenta concentrazioni di Dield < DL µg/kg (0.05). Il valore massimo è 214 µg/kg, la media è pari a 24.0 µg/kg, mentre la mediana risulta 7.73 µg/kg (Tab. 3). La deviazione standard, pari a 53.4 µg/kg, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

La distribuzione spaziale di Dield mostra che le concentrazioni più alte si osservano prevalentemente in alcuni campioni localizzati nell'area di piana (Fig C7). Nelle restanti porzioni dell'area di interesse, i valori di concentrazione intermedi e inferiori sono distribuiti in maniera abbastanza uniforme.

3.4.8. Endrin (Endr)

Le concentrazioni di Endr nei sedimenti presentano valori minimi < DL (0.05 µg/kg) e valori massimi di 594 µg/kg (Tab. 3). La media è pari a 131 µg/kg, mentre la mediana risulta 41.0 µg/kg. La deviazione standard, pari a 170 µg/kg, esprime un livello di variabilità dei dati molto elevato.

La mappa di distribuzione mostra che l'area di piana è caratterizzata esclusivamente dalla presenza dei valori di concentrazioni medio-alti di Endr (Fig. C8). Nel settore di monte, invece, le concentrazioni appaiono distribuite in maniera più uniforme.

3.4.9. *Isodrin (Isod)*

Le concentrazioni di Isod nei sedimenti presentano valori minimi < DL (0.05 µg/kg) e un massimo di 177 µg/kg (Tab. 3). La media è pari a 18.5 µg/kg, mentre la mediana risulta 5.64 µg/kg. La deviazione standard, pari a 36.8 µg/kg, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni di Isod evidenzia una separazione abbastanza netta: le concentrazioni più alte si osservano nell'area di piana, mentre valori più bassi sono distribuiti nel settore montuoso (Fig. C9).

3.4.10. *2,4'-DDE (opDDE)*

Circa il 30 % dei campioni (7 campioni) presenta concentrazioni di opDDE < DL (0.05 µg/kg). Le concentrazioni massime sono pari a 161 µg/kg, la media è 10.0 µg/kg, mentre la mediana risulta 2.48 µg/kg (Tab. 3). La deviazione standard, pari a 32.4 µg/kg, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

La mappa di opDDE mostra che le concentrazioni inferiori sono localizzate nella porzione settentrionale dell'area di monte (Fig. C10). Le concentrazioni più alte si osservano prevalentemente nei campioni situati nell'area orientale di piana, mentre valori intermedi caratterizzano la porzione centrale del bacino.

3.4.11. *4,4'-DDE (ppDDE)*

Circa il 75 % dei campioni (18 campioni) presenta concentrazioni di ppDDE < DL (0.05 µg/kg). Il massimo è 72.3 µg/kg, la media risulta pari a 9.43 µg/kg, mentre la mediana risulta < DL (Tab. 3). La deviazione standard, pari a 21.1 µg/kg, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

I pochi campioni aventi concentrazioni di ppDDE > DL sono distribuiti in maniera uniforme tra le aree di piana e quelle di monte (Fig. C11).

3.4.12. *2,4'-DDD (opDDD)*

Le concentrazioni di opDDD nei sedimenti presentano valori minimi < DL (0.05 µg/kg) e un massimo di 28.8 µg/kg (Tab. 3). La media è pari a 5.75 µg/kg, mentre la mediana risulta 2.61 µg/kg. La deviazione standard, pari a 7.53 µg/kg, esprime un moderato livello di variabilità dei dati.

La cartografia prodotta per opDDT mostra una distribuzione dei valori più elevati nella porzione meridionale del bacino e la presenza di valori di concentrazione medio-alti prevalentemente nella porzione settentrionale (Fig. C12). Le concentrazioni medio-basse sono distribuite in maniera abbastanza uniforme nel resto dell'area.

3.4.13. 4,4'-DDD (ppDDD)

Circa il 40 % dei campioni (10 campioni) presenta concentrazioni di ppDDD < DL (0.05 µg/kg). Il valore massimo è di 42.1 µg/kg, la media è pari a 8.10 µg/kg, mentre la mediana risulta 2.38 µg/kg (Tab. 3). La deviazione standard, pari a 13.3 µg/kg, esprime un discreto livello di variabilità dei dati.

L'andamento spaziale delle concentrazioni di ppDDD mostra una separazione abbastanza netta: l'area di piana è dominata da valori di concentrazione medio-alti, mentre nell'area di monte sono distribuiti i valori medio-bassi (Fig. C13).

3.4.14. 2,4'-DDT (opDDT)

Le concentrazioni di opDDT nei sedimenti variano da un minimo di circa 16.9 µg/kg a un massimo di 909 µg/kg (Tab. 3). La media è pari a 191 µg/kg, mentre la mediana risulta 90.1 µg/kg. La deviazione standard, pari a 236 µg/kg, esprime un livello di variabilità dei dati estremamente elevato.

La distribuzione spaziale di opDDT mostra una ripartizione abbastanza uniforme delle concentrazioni in tutta l'area, ad eccezione della porzione centrale dell'area di piana dove si ritrovano i valori di concentrazione più elevati (Fig C14).

3.4.15. 4,4'-DDT (ppDDT)

Il 50 % dei campioni (12 campioni) presenta concentrazioni di ppDDT < DL (0.05 µg/kg). Le concentrazioni massime sono 24.1 µg/kg, la media è pari a 1.93 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.09 µg/kg (Tab. 3). La deviazione standard, pari a 4.95 µg/kg, esprime un basso livello di variabilità dei dati.

I campioni con concentrazioni > DL sono distribuiti in maniera uniforme all'interno del bacino: l'area di piana è caratterizzata dai valori più elevati, mentre i valori di concentrazione minore sono localizzati nell'area di monte (Fig. C15).

3.4.16. α -endosulfan (α Endos)

Le concentrazioni di α Endos nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 3 e Fig. C16) pari a 0.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

3.4.17. β -endosulfan (β Endos)

Le concentrazioni di β Endos nei sedimenti variano da un minimo di circa 3.38 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di 78.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 3). La media è pari a 25.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta 21.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a 20.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

La mappa di distribuzione di β Endos mostra una ripartizione abbastanza uniforme delle concentrazioni nell'area di pertinenza del bacino. L'area più orientale di piana è, però, caratterizzata perlopiù da valori di concentrazione medio-alti (Fig. C17).

3.4.18. Isobenzano (*Isob*)

Le concentrazioni di *Isob* nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 3 e Fig. C18) pari a 0.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

3.4.19. Eptacloro eso-eossido (*HepEpo*)

Le concentrazioni di *HepEpo* nei sedimenti variano da un minimo di 1.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di 97.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 3). La media è pari a 19.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta 6.93 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a 26.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, esprime un alto livello di variabilità dei dati.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni di *HepEpo* mostra che i valori più alti si osservano in alcuni campioni situati nell'area di piana orientale, mentre i valori intermedi e quelli inferiori sono distribuiti in maniera più uniforme nelle altre aree (Fig. C19).

3.5. Distribuzione geochimica dei PCB

I PCB sono un gruppo di idrocarburi aromatici alogenati, composti cioè da atomi di carbonio, idrogeno e cloro. Sono sostanze chimiche artificiali, ricavate a partire dal benzene (che viene trasformato in bifenile e successivamente clorurato), che sono state sintetizzate tramite processi industriali a partire dagli anni '30 e che sono stati largamente utilizzati in diverse applicazioni industriali e commerciali.

Tra i diversi congeneri di PCB esistenti, 12 PCB (ossia 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169 e 189) vengono definiti *dioxin-like* perché il loro orientamento strutturale gli conferisce proprietà tossiche approssimabili a quelle delle diossine. Alcuni PCB (28, 52, 101, 153, 138, 180) vengono invece definiti come *marker*, perché sono congeneri abbondanti nelle miscele commerciali e sono spesso usati come indicatori di contaminazione da PCB.

Nello specifico, i PCB sono stati utilizzati specialmente, come conduttori di calore, elasticizzanti ed isolanti, pigmenti e coloranti, plastificanti, additivi per anticrittogamici e fertilizzanti e per la produzione di particolari tipi di carta. Malgrado il vasto impiego, a causa della loro elevata tossicità, a partire dagli anni '80 ne è stata vietata la produzione.

A partire dal 2001, a seguito della stipula della Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (i cui obiettivi principali sono l'eliminazione o la diminuzione d'uso di alcune sostanze nocive), i PCB sono stati inclusi nelle sostanze definite come POPs. L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (International Agency for Research on Cancer - IARC) nel 2014 li ha inclusi nel novero delle sostanze sicuramente cancerogene per l'uomo (Classe 1).

La Tabella 4 riporta i principali indici statistici relativi ai PCB, espressi in $\mu\text{g}/\text{Kg}$. È riportato anche il numero di campioni con concentrazioni $< \text{DL}$. In Fig. 10 i *boxplot* di sintesi.

Per le mappe di distribuzione dei diversi composti si rimanda all'appendice D (Fig. D1 – D30).

Tabella 4. Statistica di base dei PCB. I valori sono espressi in µg/Kg.

PCB	DL	< DL	Min	Max	Media	Mediana	Dev.st.	Asim.	Curt.
PCB28	0.01	23	-	0.05	-	-	-	-	-
PCB52	0.01	20	< DL	0.13	0.016	< DL	0.026	3.96	16.8
PCB101	0.01	0	0.078	1.55	0.46	0.27	0.41	1.49	1.32
PCB153	0.01	0	0.31	137	6.98	0.68	27.9	4.85	23.6
PCB138	0.01	2	< DL	39.0	2.24	0.32	7.94	4.69	22.5
PCB180	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB81	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB77	0.01	5	< DL	5.31	1.01	0.66	1.20	2.26	6.48
PCB123	0.01	0	0.012	0.23	0.070	0.040	0.063	1.44	0.88
PCB118	0.01	0	0.21	0.94	0.36	0.28	0.19	1.80	2.85
PCB114	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB105	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB126	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB167	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB156	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB157	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB169	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB189	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB8	0.01	12	< DL	98.4	18.3	5.41	26.4	1.85	3.35
PCB18	0.01	12	< DL	16.0	2.88	0.71	4.26	1.94	3.71
PCB95	0.01	4	< DL	273	11.6	0.12	55.6	4.90	24.0
PCB99	0.01	0	0.086	2.21	0.43	0.36	0.42	3.56	15.1
PCB110	0.01	15	< DL	0.58	0.10	< DL	0.18	1.88	2.40
PCB149	0.01	16	< DL	0.12	0.029	< DL	0.038	1.47	0.63
PCB146	0.01	2	< DL	20.4	1.00	0.083	4.15	4.87	23.8
PCB187	0.01	20	< DL	115	5.35	< DL	23.5	4.84	23.6
PCB44	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB128	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB177	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-
PCB170	0.01	24	-	-	-	-	-	-	-

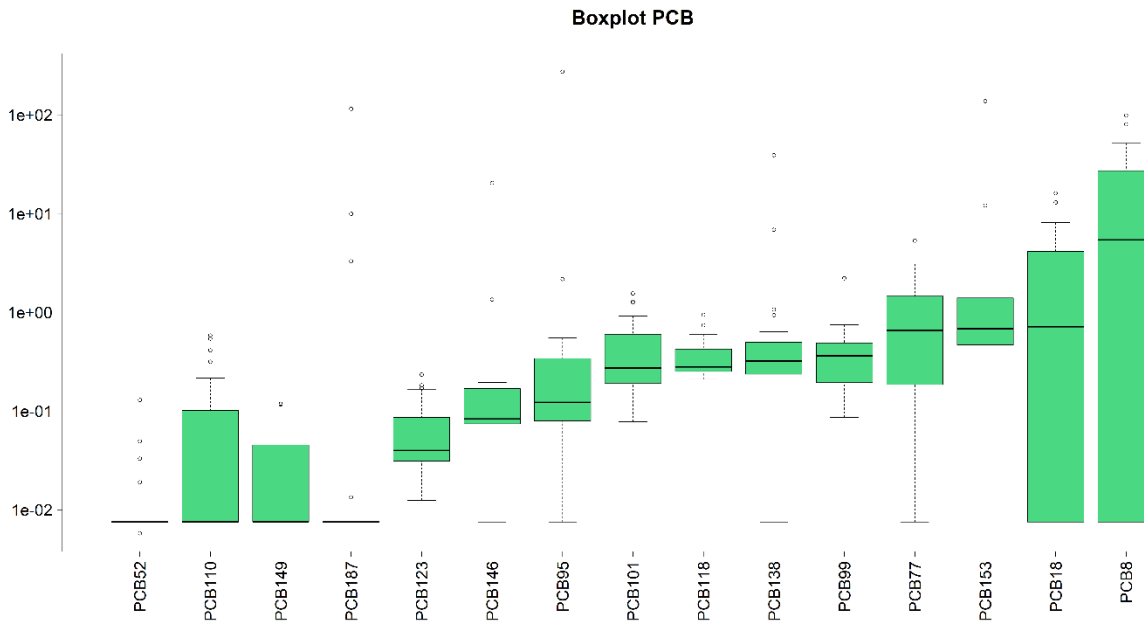


Figura 10. Boxplot dei PCB, ordinati per valore crescente della mediana.

3.5.1. PCB28

Le concentrazioni di PCB28 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D1), pari a 0.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ad eccezione di un campione, situato nella porzione più orientale del bacino, che presenta una concentrazione di 0.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

3.5.2. PCB52

Più dell'80 % dei campioni analizzati (20 campioni) presenta concentrazioni di PCB52 < DL (0.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Le concentrazioni massime sono pari a 0.13 $\mu\text{g}/\text{kg}$, la media è 0.016 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta < DL (Tab. 4).

La rappresentazione cartografica mostra che i pochi campioni con concentrazioni > DL sono localizzati nell'area di piana (Fig. D2).

3.5.3. PCB101

Le concentrazioni di PCB101 nei sedimenti variano da un minimo di circa 0.078 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a un massimo di 1.55 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tab. 4). La media è pari a 0.46 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la mediana risulta 0.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La deviazione standard, pari a 0.41 $\mu\text{g}/\text{kg}$, indica una bassa dispersione dei valori.

Dall'analisi della distribuzione spaziale delle concentrazioni di PCB101 si nota che i valori sono distribuiti in maniera omogenea all'interno dell'area di pertinenza del bacino (Fig. D3).

3.5.4. PCB153

Le concentrazioni di PCB153 nei sedimenti variano da un minimo di circa 0.31 µg/kg a un massimo di 137 µg/kg (Tab. 4). La media è pari a 6.98 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.68 µg/kg. La deviazione standard, pari a 27.9 µg/kg, indica una elevata dispersione dei valori.

La cartografia prodotta mette in evidenza come la distribuzione delle concentrazioni nell'area studio sia distribuita in maniera piuttosto omogenea (Fig. D4).

3.5.5. PCB138

Le concentrazioni di PCB138 nei sedimenti variano da valori < DL (0.01 µg/kg) a un massimo di 39.0 µg/kg (Tab. 4). La media è pari a 2.24 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.32 µg/kg. La deviazione standard, pari a 7.94 µg/kg, indica una bassa dispersione dei valori.

La mappa di distribuzione spaziale non mette in evidenza nessun pattern di distribuzione caratteristico, ma le concentrazioni sembrano distribuite in maniera omogenea (Fig. D5).

3.5.6. PCB180

Le concentrazioni di PCB180 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D6) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.7. PCB81

Le concentrazioni di PCB81 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D7) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.8. PCB77

Circa il 20 % dei campioni analizzati (5 campioni) presenta concentrazioni di PCB77 < DL (0.01 µg/kg). Le concentrazioni massime sono di 5.31 µg/kg, la media è pari a 1.01 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.66 µg/kg (Tab. 4). La deviazione standard, pari a 1.20 µg/kg, indica una bassa dispersione dei valori.

La mappa di distribuzione evidenzia una separazione delle concentrazioni di PCB77: i valori medio-alti, ad eccezione di qualche campione, sono localizzati nell'area più occidentale del settore di piana, mentre le concentrazioni medio-basse dominano le aree a monte (Fig. D8).

3.5.9. PCB123

Le concentrazioni di PCB123 nei sedimenti variano da un minimo di circa 0.012 µg/kg a un massimo di 0.23 µg/kg (Tab. 4). La media è pari a 0.070 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.040 µg/kg. La deviazione standard, pari a 0.063 µg/kg, indica una ridotta dispersione dei valori.

Osservando la carta della distribuzione spaziale di PCB123, si può notare che l'area di piana è perlopiù dominata da valori di concentrazione intermedi (Fig. D9). Valori estremi sono localizzati nella porzione settentrionale del settore montano.

3.5.10. PCB118

Le concentrazioni di PCB118 nei sedimenti variano da un minimo di circa 0.21 µg/kg a un massimo di 0.94 µg/kg (Tab. 4). La media è pari a 0.36 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.28 µg/kg. La deviazione standard, pari a 0.19 µg/kg, indica una ridotta dispersione dei valori.

La distribuzione spaziale mostra che l'area orientale di monte è perlopiù dominata da valori di concentrazione medio-alti (Fig. D10). Nel resto del bacino le concentrazioni appaiono distribuite in maniera piuttosto omogenea.

3.5.11. PCB114

Le concentrazioni di PCB114 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D11) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.12. PCB105

Le concentrazioni di PCB105 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D12) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.13. PCB126

Le concentrazioni di PCB126 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D13) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.14. PCB167

Le concentrazioni di PCB167 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D14) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.15. PCB156

Le concentrazioni di PCB156 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D15) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.16. PCB157

Le concentrazioni di PCB157 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D16) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.17. PCB169

Le concentrazioni di PCB169 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D17) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.18. PCB189

Le concentrazioni di PCB189 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D18) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.19. PCB8

Il 50 % dei campioni (12 campioni) presenta concentrazioni di PCB8 < DL (0.01 µg/kg). Il valore massimo è 98.4 µg/kg, la media è pari a 18.3 µg/kg, mentre la mediana risulta 5.41 µg/kg (Tab. 4). La deviazione standard, pari a 26.4 µg/kg, indica una discreta dispersione dei valori.

La distribuzione spaziale mostra che i campioni con concentrazioni > DL sono distribuiti in maniera uniforme nell'area studio (Fig. D19). Le concentrazioni maggiori le ritroviamo prevalentemente nell'area di piana, mentre quelle inferiori caratterizzano l'area di monte.

3.5.20. PCB18

Il 50 % dei campioni (12 campioni) presenta concentrazioni di PCB18 < DL (0.01 µg/kg). Il massimo è pari a 16.0 µg/kg, la media è 2.88 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.71 µg/kg (Tab. 4). La deviazione standard, pari a 4.26 µg/kg, indica una bassa dispersione dei valori.

La mappa di distribuzione mostra che i campioni con concentrazioni > DL sono distribuiti lungo tutta l'area studio (Fig. D20). Le concentrazioni maggiori sono localizzate prevalentemente nell'area di piana, mentre quelle inferiori caratterizzano l'area di monte.

3.5.21. PCB95

Circa il 17 % dei campioni (4 campioni) presenta concentrazioni di PCB95 < DL (0.01 µg/kg). Il valore massimo è 273 µg/kg, la media è pari a 11.6 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.12 µg/kg (Tab. 4). La deviazione standard, pari a 55.6 µg/kg, indica una elevata dispersione dei valori.

Dall'analisi della distribuzione spaziale di PCB95 si nota che i valori di concentrazione appaiono distribuiti in maniera abbastanza omogenea all'interno dell'area di studio (Fig. D21), ad eccezione di un piccolo cluster di valori medio-alti presente nella porzione più orientale della zona montana.

3.5.22. PCB99

Le concentrazioni di PCB99 nei sedimenti variano da un minimo di circa 0.086 µg/kg a un massimo di 2.21 µg/kg. La media è pari a 0.43 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.36 µg/kg. La deviazione standard, pari a 0.42 µg/kg, indica una ridotta dispersione dei valori.

La mappa della distribuzione spaziale di PCB99 mostra che i valori di concentrazione sono distribuiti in maniera abbastanza omogenea all'interno dell'area di studio (Fig. D22).

3.5.23. PCB110

Più del 60 % dei campioni (15 campioni) presenta concentrazioni di PCB110 < DL (0.01 µg/kg). Il massimo è pari a 0.58 µg/kg, la media 0.10 µg/kg, mentre la mediana risulta < DL (Tab. 4). La deviazione standard, pari a 0.18 µg/kg, indica una bassa dispersione dei valori.

Dalla distribuzione spaziale si può notare che quasi tutti i campioni che presentano concentrazioni > DL sono localizzati nell'area montuosa, e la distribuzione delle concentrazioni appare omogenea (Fig. D23).

3.5.24. PCB149

Più del 65 % dei campioni (16 campioni) presenta concentrazioni di PCB149 < DL (0.01 µg/kg). Il valore massimo è 0.12 µg/kg, la media è pari a 0.029 µg/kg, mentre la mediana risulta < DL (Tab. 4). La deviazione standard, pari a 0.04 µg/kg, indica una bassa dispersione dei valori.

La rappresentazione cartografica mostra che i campioni con concentrazioni > DL sono distribuiti in diverse porzioni dell'area di studio, anche se appaiono più concentrati nell'area di piana occidentale, dove ritroviamo le concentrazioni più elevate (Fig. D24).

3.5.25. PCB146

Le concentrazioni di PCB146 nei sedimenti variano da un minimo < DL (0.01 µg/kg) a un massimo di 20.42 µg/kg (Tab. 4). La media è pari a 1.00 µg/kg, mentre la mediana risulta 0.083 µg/kg. La deviazione standard, pari a 4.15 µg/kg, indica una moderata dispersione dei valori.

La mappa della distribuzione spaziale di PCB146 mostra che la distribuzione delle concentrazioni è piuttosto omogenea all'interno dell'area di studio (Fig. D25). I campioni con concentrazioni più elevate si trovano nel settore sud-orientale dell'area montuosa.

3.5.26. PCB187

Più dell'80 % dei campioni (20 campioni) presenta concentrazioni di PCB187 < DL (0.01 µg/kg). Il valore massimo è pari a 115 µg/kg, la media è 5.35 µg/kg, mentre la mediana risulta < DL. La deviazione standard, pari a 23.5 µg/kg, indica una elevata dispersione dei valori.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni mostra che i campioni con concentrazioni > DL sono localizzati nel settore più orientale dell'area montana, mentre uno è localizzato nella porzione centrale del bacino (Fig. D26).

3.5.27. PCB44

Le concentrazioni di PCB44 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D27) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.28. PCB128

Le concentrazioni di PCB128 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D28) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.29. PCB177

Le concentrazioni di PCB177 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D29) pari a 0.01 µg/kg.

3.5.30. PCB170

Le concentrazioni di PCB170 nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 4 e Fig. D30) pari a 0.01 µg/kg.

3.6. Distribuzione geochemica degli OTIN

Gli OTIN sono sostanze chimiche sintetiche, costituiti da atomi di stagno legati a gruppi organici, ottenute industrialmente a partire dallo stagno metallico, la cui produzione e impiego hanno avuto inizio a partire dagli anni '40.

Sono stati largamente utilizzati in ambito industriale e agricolo, come stabilizzanti per il cloruro di polivinile (PVC), catalizzatori nella sintesi di siliconi e poliuretani; biocidi nelle vernici antivegetative per scafi navali, nelle reti da pesca e nei sistemi di raffreddamento; e i trifenilstannici (TPhT) come fungicidi in agricoltura.

Sono composti lipofili e persistenti, caratterizzati da bioaccumulo e biomagnificazione lungo la catena trofica, con conseguenti impatti sugli ecosistemi marini e costieri. Alcuni composti hanno elevata tossicità ambientale perché agiscono come interferenti endocrini, con effetti ecotossici drammatici sugli organismi acquatici.

A causa della loro elevata tossicità ambientale, a partire dagli anni '80 sono iniziate le prime restrizioni d'uso dei composti tributil- e trifenilstannici, culminate con il bando internazionale sancito dalla Convenzione AFS (2008) per le vernici antivegetative. L'Unione Europea ha

progressivamente esteso i divieti anche ad altri derivati organostannici, fino a limitarne fortemente la produzione e la commercializzazione.

La Tabella 5 riporta i principali indici statistici relativi agli OTIN, espressi in $\mu\text{g}/\text{Kg}$. È riportato anche il numero di campioni con concentrazioni $< \text{DL}$. In Fig. 11 i *boxplot* di sintesi.

Per le mappe di distribuzione dei diversi composti si rimanda all'appendice E (Fig. E1 – E6).

Tabella 5. Statistica di base degli OTIN. I valori sono espressi in $\mu\text{g}/\text{Kg}$.

OTIN	DL	< DL	Min	Max	Media	Mediana	Dev.st.	Asim.	Curt.
MBT	0.03	0	25.9	95.7	35.5	29.8	15.6	2.96	9.78
DBT	0.03	1	< DL	51.6	28.5	27.4	8.46	-0.68	7.18
TBT	0.03	24	-	-	-	-	-	-	-
MphT	0.03	2	< DL	493	64.6	39.4	106	3.51	12.8
DphT	0.03	7	< DL	1651	205	67.4	414	2.79	7.35
TphT	0.03	0	23.3	395	77.9	49.1	82.7	2.86	9.37

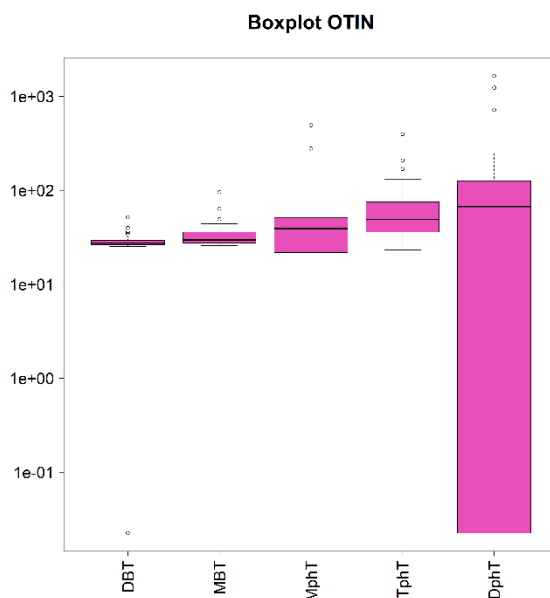


Figura 11. Boxplot degli OTIN, ordinati per valore crescente della mediana.

3.6.1. Monobutilstagno (MBT)

Le concentrazioni di MBT nei sedimenti variano da un minimo di circa 25.9 µg/kg a un massimo di 95.7 µg/kg (Tab. 5). La media è pari a 35.5 µg/kg, mentre la mediana risulta 29.8 µg/kg. La deviazione standard, pari a 15.6 µg/kg, indica una variabilità dei dati moderata.

L'andamento spaziale delle concentrazioni di MBT mostra una divisione abbastanza netta: le concentrazioni medio-alte si riscontrano prevalentemente nei campioni localizzati nell'area di piana, mentre valori più bassi appaiono distribuiti nelle zone montuose (Fig. E1).

3.6.2. Dibutilstagno (DBT)

Le concentrazioni di DBT nei sedimenti variano da un minimo < DL (0.03 µg/kg) a un massimo di 51.6 µg/kg (Tab. 5). La media è pari a 28.5 µg/kg, mentre la mediana risulta 27.4 µg/kg. La deviazione standard, pari a 8.46 µg/kg, indica una variabilità dei dati moderata.

La distribuzione spaziale delle concentrazioni di DBT mostra una prevalenza di campioni con concentrazioni medio-basse nell'area occidentale di piana e di campioni con valori bassi nell'area montana orientale (Fig. E2). Pochi campioni con concentrazioni più elevate appaiono distribuiti in maniera omogenea.

3.6.3. Tributilstagno (TBT)

Le concentrazioni di TBT nei sedimenti analizzati risultano tutte < DL (Tab. 5 e Fig. E3) pari a 0.03 µg/kg.

3.6.4. Monofenilstagno (MphT)

Le concentrazioni di MphT nei sedimenti variano da un minimo < DL (0.03 µg/kg) a un massimo di 493 µg/kg (Tab. 5). La media è pari a 64.6 µg/kg, mentre la mediana risulta 39.4 µg/kg. La deviazione standard, pari a 105.70 µg/kg, indica una variabilità dei dati molto elevata.

Dalla mappa di distribuzione spaziale di MphT (Fig. E4), si può notare che le concentrazioni più basse appaiono distribuite nelle aree periferiche del bacino, mentre i valori più alti nei

campioni localizzati nella porzione centrale del bacino. In generale, però, la distribuzione appare abbastanza omogenea.

3.6.5. *Difenilstagno (DphT)*

Circa il 30 % dei campioni (7 campioni) presenta concentrazioni di DphT < DL (0.03 µg/kg). Il valore massimo è di 1651 µg/kg, la media è pari a 205 µg/kg, mentre la mediana risulta 67.4 µg/kg (Tab. 5). La deviazione standard, pari a 414 µg/kg, indica una variabilità dei dati molto elevata.

La mappa di distribuzione delle concentrazioni di DphT mostra una distribuzione abbastanza omogenea dei valori (Fig. E5). Dei cluster di campioni con concentrazioni medio-basse sono localizzati nell'area montuosa orientale, mentre nella porzione settentrionale dell'area di piana è localizzato un cluster di campioni con valori elevati.

3.6.6. *Trifenilstagno (TphT)*

Le concentrazioni di TphT nei sedimenti variano da un minimo di circa 23.3 µg/kg a un massimo di 395 µg/kg (Tab. 5). La media è pari a 77.9 µg/kg, mentre la mediana risulta 49.1 µg/kg. La deviazione standard, pari a 82.7 µg/kg, indica una variabilità dei dati elevata.

Dalla mappa di distribuzione spaziale di TphT (Fig. E6), si può notare che le concentrazioni più alte si riscontrano nei campioni localizzati nella porzione centrale del bacino, mentre valori più bassi appaiono distribuiti nelle aree periferiche. In generale, però, la distribuzione appare abbastanza omogenea.

4. Conclusioni

Lo studio condotto ha permesso di definire lo stato geochimico del bacino del fiume Sarno, analizzando le concentrazioni di metalli e composti organici nei campioni di sedimento fluviale raccolti nell'area di interesse. L'indagine ha evidenziato un quadro complesso, in cui la componente naturale si intreccia con le pressioni antropiche di lungo periodo.

I metalli mostrano una distribuzione dei valori di concentrazione piuttosto variabile nei diversi campioni di sedimento analizzati. Il grafico in Fig. 12 evidenzia come i sedimenti del Sarno siano caratterizzati da una forte presenza di Fe e Mn, di origine prevalentemente geogenica. Elementi come V, Co e Be sembrano, in parte, seguire l'andamento di questi elementi di origine naturale; U e Hg presentano invece un andamento più uniforme. I metalli tipicamente correlati a input antropici (Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, As) mostrano andamenti più variabili e con picchi di concentrazione localizzati. Questo a sottolineare la coesistenza di componenti naturali e contributi locali di diversa origine, coerentemente con il contesto fortemente antropizzato del bacino.

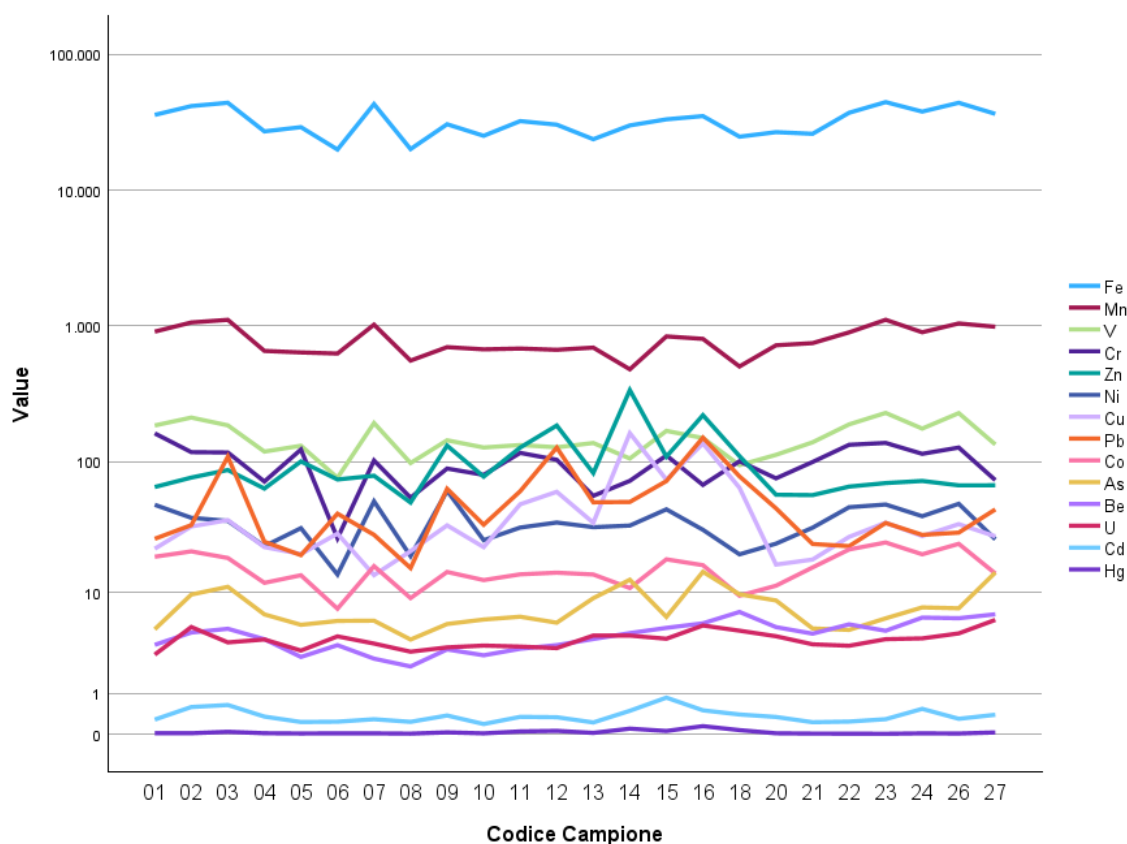


Figura 12. Grafico a linee delle concentrazioni dei PTE+ in mg/kg, misurati nei campioni di sedimento del fiume Sarno.

Per quanto riguarda i composti organici, mediamente, risultano più abbondanti gli OCP (ca. 600 µg/kg in media), seguiti dagli OTIN (ca. 400 µg/kg) e dagli IPA (ca. 300 µg/kg), mentre i meno abbondanti risultano essere i PCB (ca. 50 µg/kg). Dal grafico in Fig. 13 emerge chiaramente che, sebbene ogni famiglia di composti sia associata a sorgenti e utilizzi differenti (OCP in ambito agricolo, OTIN legati ad attività industriali e nautiche, IPA derivanti da processi di combustione e PCB da impieghi industriali), emerge una tendenza comune: tra i campioni 11-18, che corrispondono all'area di piana, le concentrazioni risultano sistematicamente più elevate. Questo può essere dovuto alla maggiore densità di zone industriali e agricole in quel settore del bacino, ma suggerisce anche che i tratti di pianura agiscano come zone di accumulo privilegiato, dove la minore energia idrodinamica favorisce la deposizione dei sedimenti fini e, con essi, il sequestro dei contaminanti.

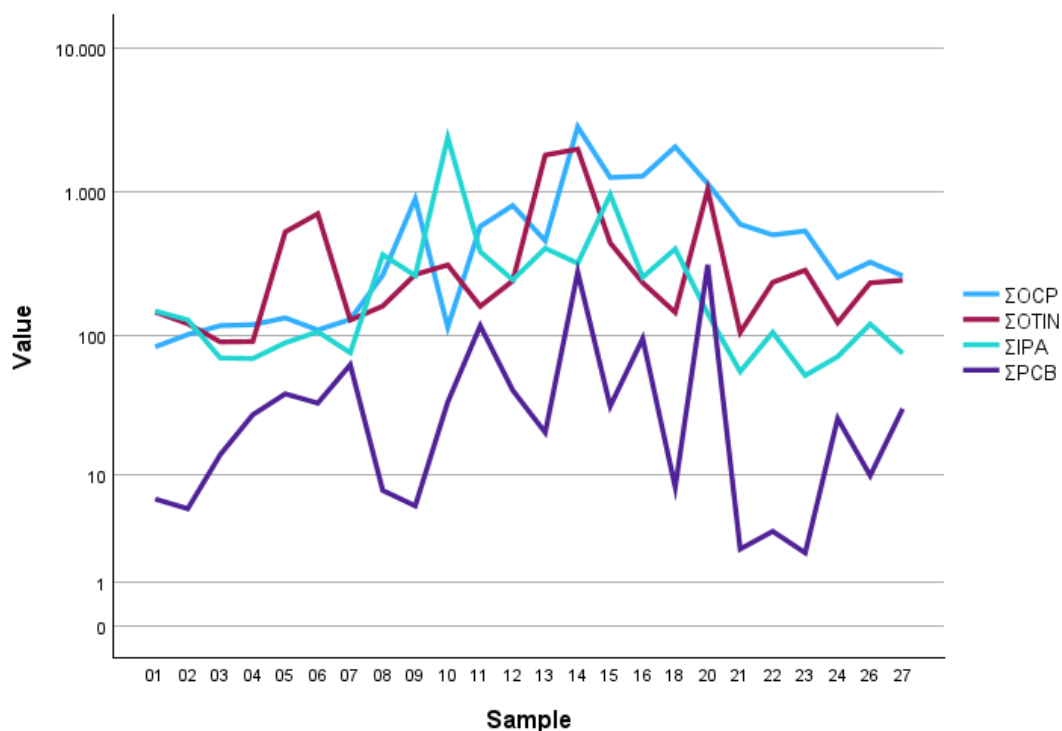


Figura 13. Grafico a linee riportante le concentrazioni dei composti organici in µg/kg.

In generale, i dati indicano che le aree centrali e settentrionali del bacino presentano i maggiori livelli di contaminazione, in linea con la localizzazione storica delle principali fonti industriali e urbane. La distribuzione dei contaminanti, tuttavia, non è omogenea e riflette sia processi idrodinamici di trasporto e deposizione dei sedimenti, sia l'interazione tra sorgenti puntuali e diffuse.

L'accumulo dei contaminanti nei sedimenti fluviali rappresenta un potenziale rischio ambientale, in quanto questi comparti possono fungere da serbatoio di inquinanti. Eventi estremi come piene o esondazioni, fenomeni resi più frequenti e intensi dal cambiamento climatico, possono favorire la mobilitazione di tali contaminanti, amplificandone la diffusione lungo il corso del fiume e nei suoli adiacenti.

Nel complesso, i risultati confermano che il bacino del fiume Sarno rappresenta un sistema vulnerabile, in cui interazioni tra pressioni antropiche e dinamiche naturali generano rischi ambientali multipli per gli ecosistemi e la salute umana. Il monitoraggio dei sedimenti fluviali si conferma dunque uno strumento essenziale per valutare lo stato ambientale e per orientare interventi di gestione integrata in un contesto ad alta pressione antropica.

5. Bibliografia

Arienzo M., Adamo P., Bianco M. R., Violante P., 2001. Impact of land use and urban runoff on the contamination of the Sarno river basin in southwestern Italy. *Water, Air, & Soil Pollution*, 131, 349–366.

Box, G.E.P., Cox, D.R., 1964. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B, Statistical Methodology* 26 (2), 211–252.

Cinque A., Aucelli P.P., Brancaccio C., Mele L., Milia R., Robustelli A., et al., 1997. Volcanism, tectonics and recent geomorphological change in the Bay of Naples. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 2, 123–141.

Comas-Cufí M., Thió-Henestrosa S., 2011. CoDaPack 2.0: a stand-alone, multi-platform compositional software. In: Egozcue JJ, Tolosana-Delgado R, Ortego MI, eds. *CoDaWork'11: 4th International Workshop on Compositional Data Analysis*. Sant Feliu de Guíxols.

Darnley A.G., Bjorklund A., Bolkiven B., Gustavsson N., Koval P.V., Plant J.A., Steenfelt A., Tauchid M., Xie X., 1995. A global geochemical database for environmental and resource management. Recommendation for international geochemical mapping. Final Report of IGCP Project 259, *Earth Sciences* 19, UNESCO, Paris.

De Pippo T., Donadio C., Guida M., and Petrosino C., 2006. The case of Sarno river (southern Italy). Effects Environ Geochem Health of geomorphology on the environmental impacts. *Environmental Science & Pollution Research*, 13, 184–191.

ISPRA (2019) Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee: Delibera del Consiglio SNPA. Manuali e Linee Guida 174/2018

R Core Team, 2021. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org/>

Salminen R., Tarvainen T., Demetriades A., Duris M., Fordyce F. M., Gregorauskiene V., Kahelin H. e altri 21, 1998. FOREGS geochemical mapping field manual. Guide 47, Geological Survey of Finland, Espoo, 36 pp.

Schlee, J.S., 1973. Atlantic continental shelf and slope of the United States – Gravels of the northeastern part. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 529-H:39 pp

Sinclair, A.J., 1991. A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry. *Probability plots revisited*. *J. Geochem. Explor.* 41, 1–22.

Sparling, D.W., 2016. *Ecotoxicology Essentials*. Cap 4, pp 69-107.

Terribile F. e Di Gennaro A., 1996. Rapporto conclusivo U.O.T. Convenzione Regione Campania. Carta dei suoli (1:50.000) dell'Agro Nocerino Sarnese.

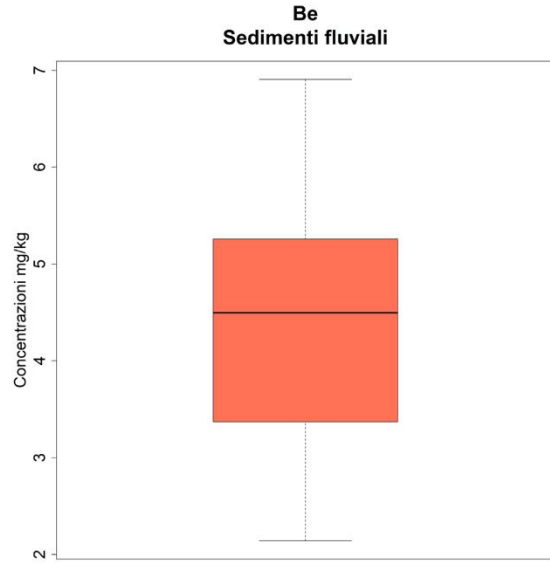
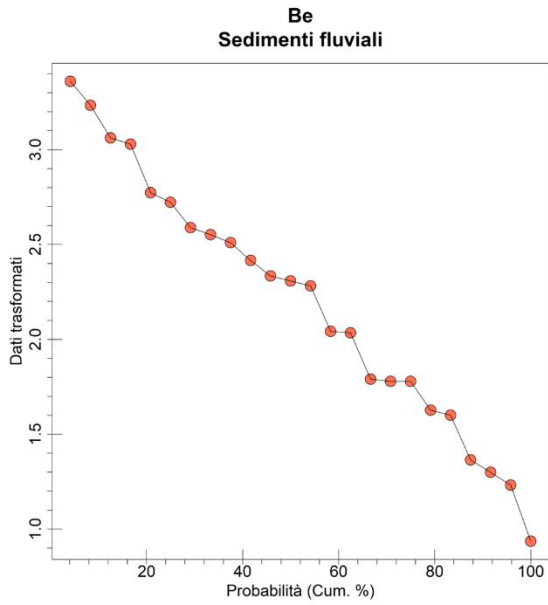
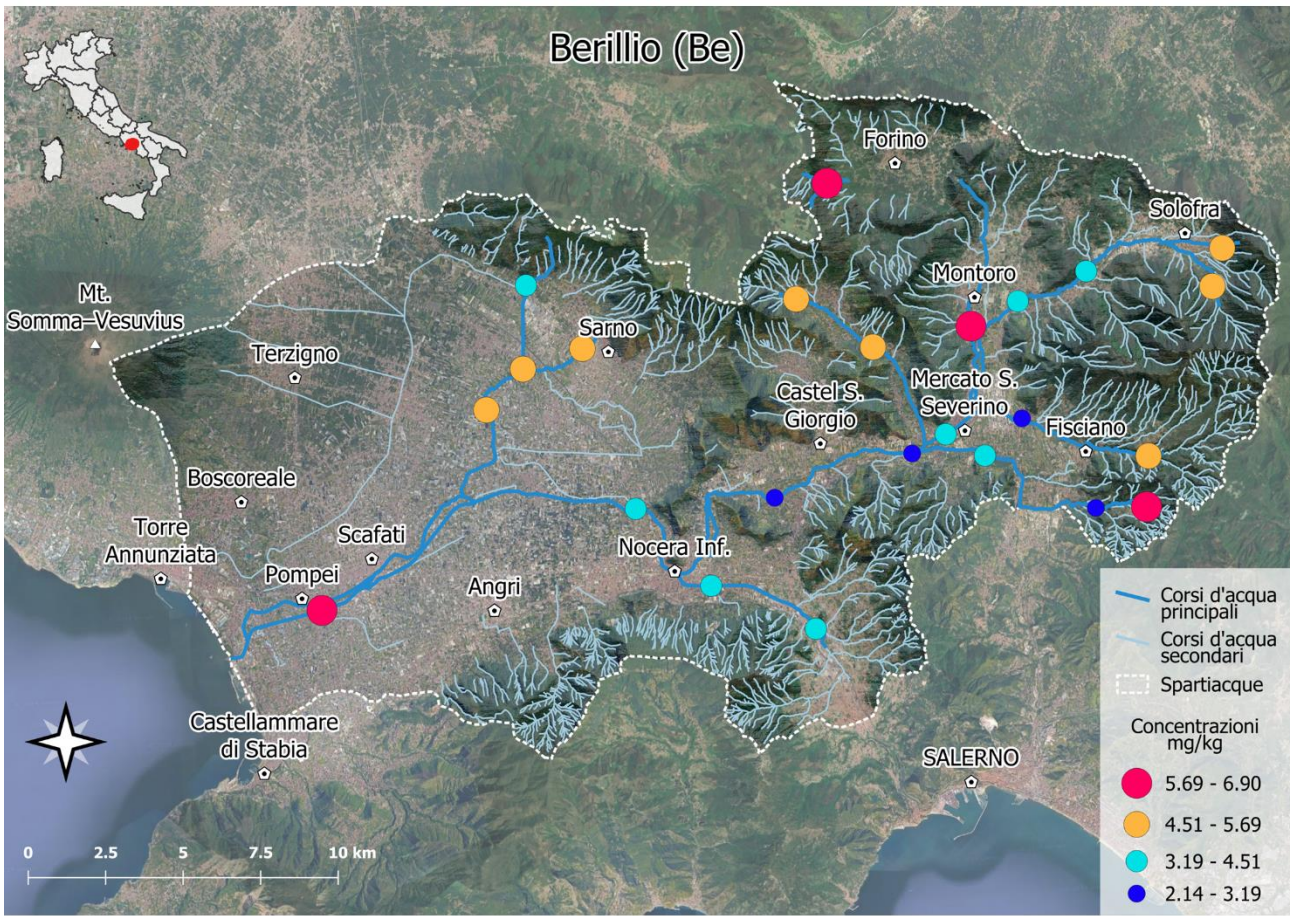
U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), 1980. Ambient water quality criteria for polynuclear aromatic hydrocarbons, Washington, DC. U.S. EPA Rep. 440/5-80-069.

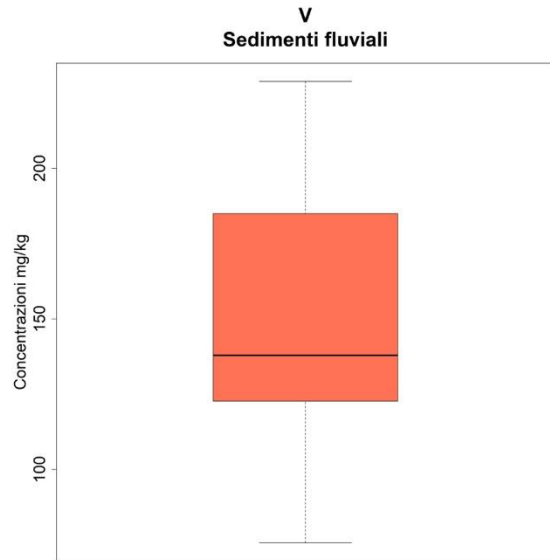
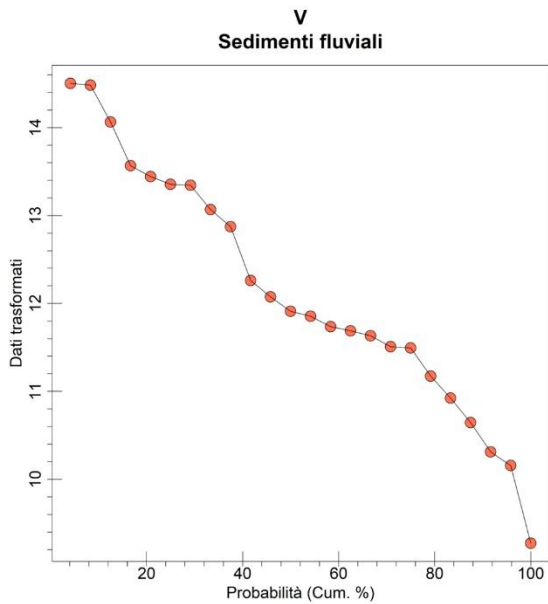
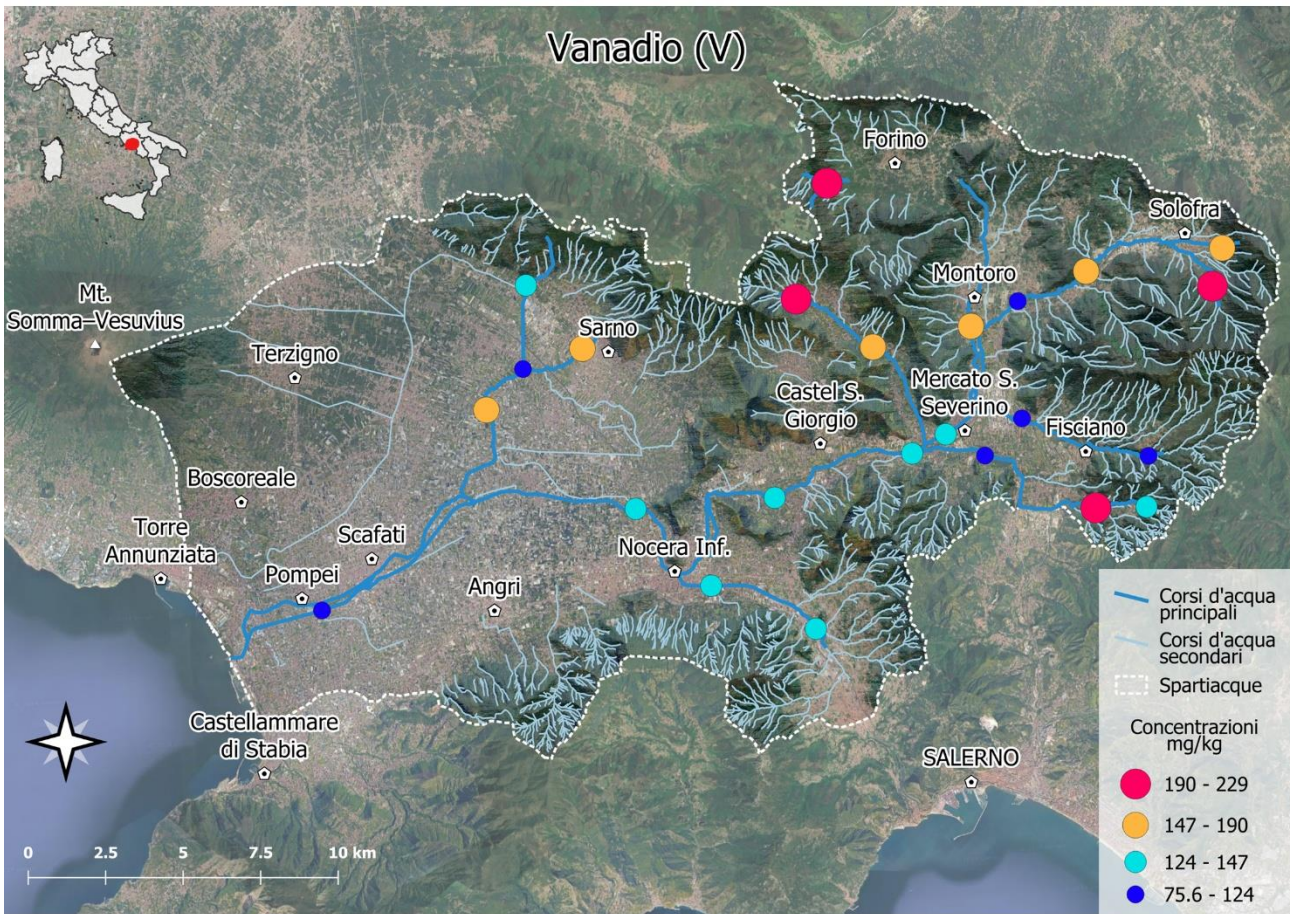
Venables, W. N., Ripley, B. D., 2002. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth edition. Springer

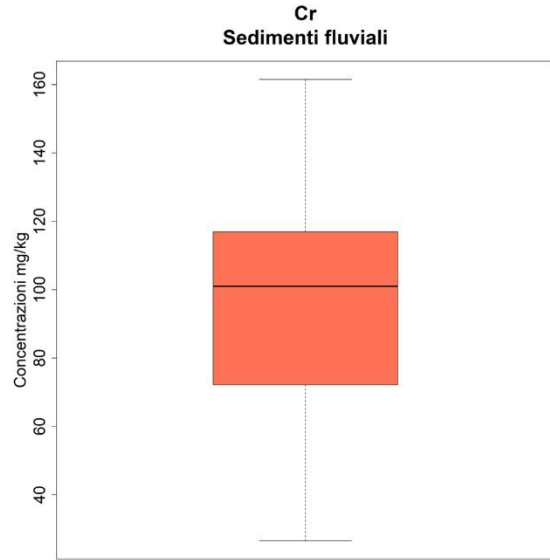
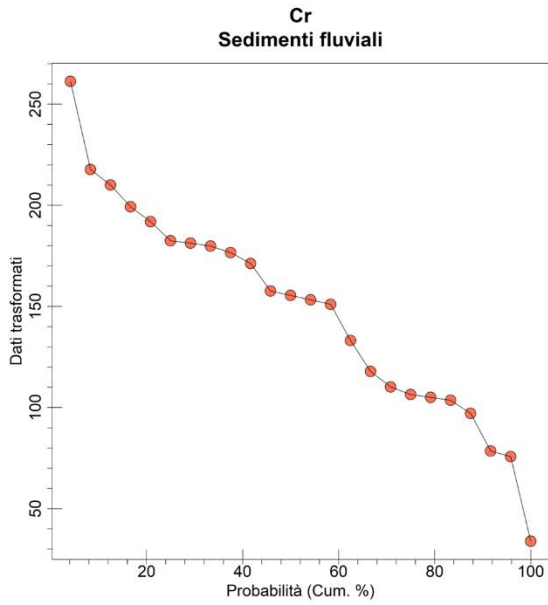
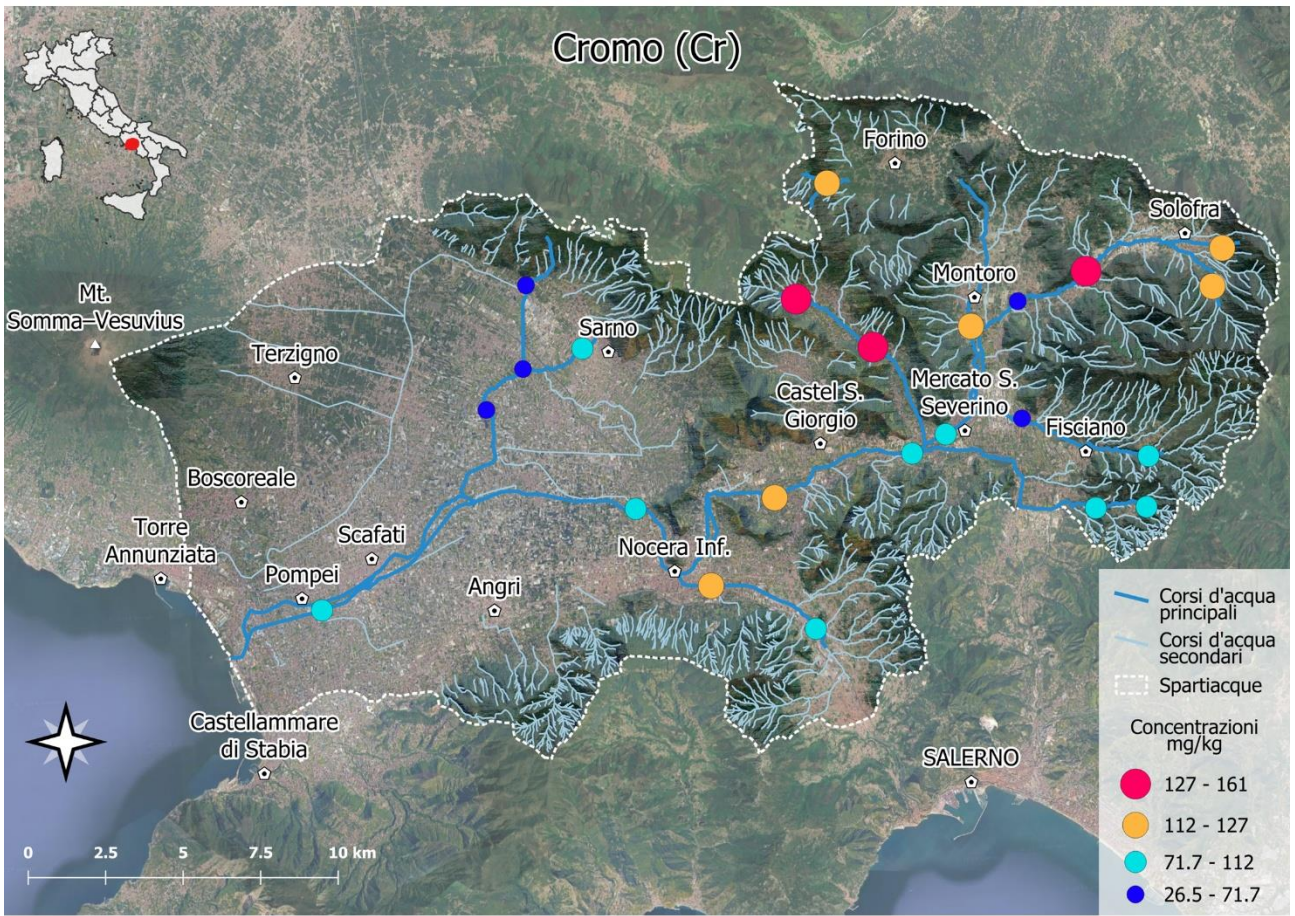
Appendice A – Metalli - mappe di Distribuzione

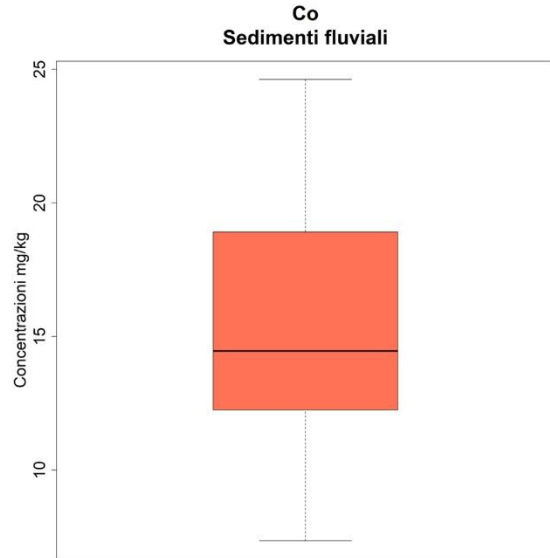
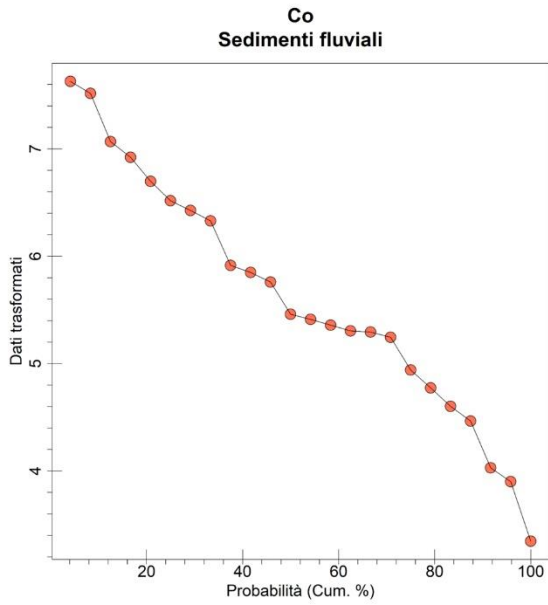
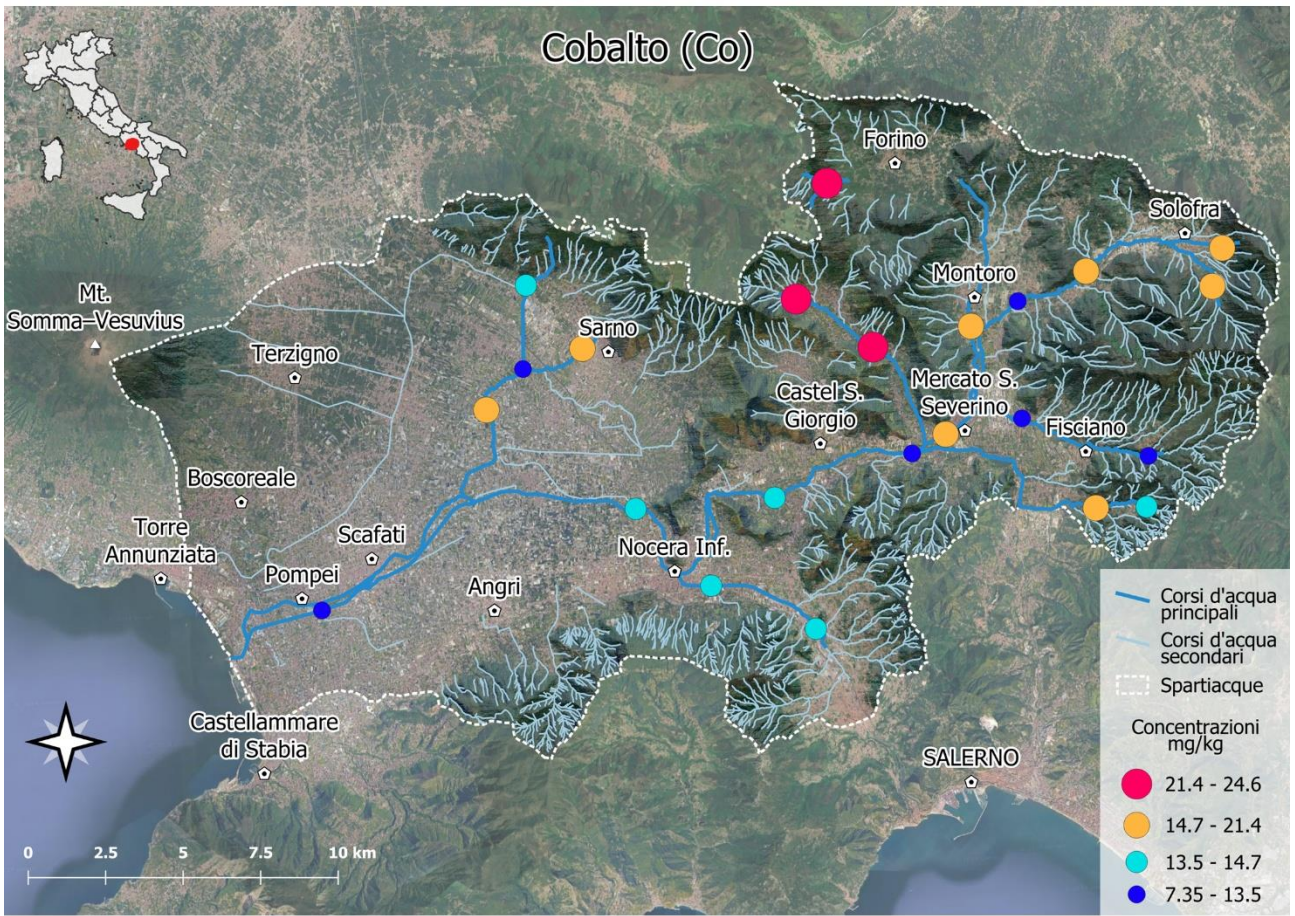
Mappa delle concentrazioni di Metalli nei sedimenti fluviali dell'area di studio. I punti colorati rappresentano i siti di campionamento, classificati in base ai livelli di metallo (mg/kg). Sono riportati i corsi d'acqua principali e secondari, oltre ai limiti idrografici del bacino. In basso, la curva di probabilità cumulativa e il boxplot descrivono la distribuzione statistica delle concentrazioni misurate nei sedimenti fluviali.

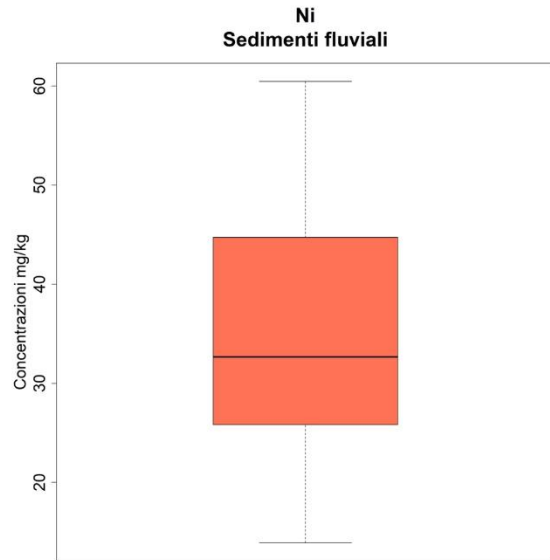
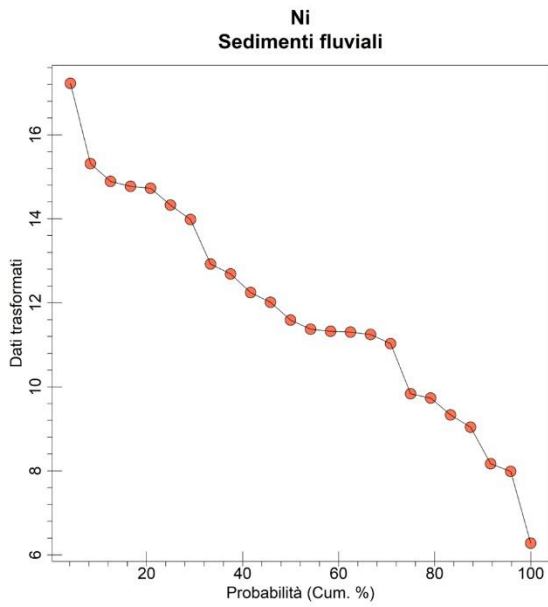
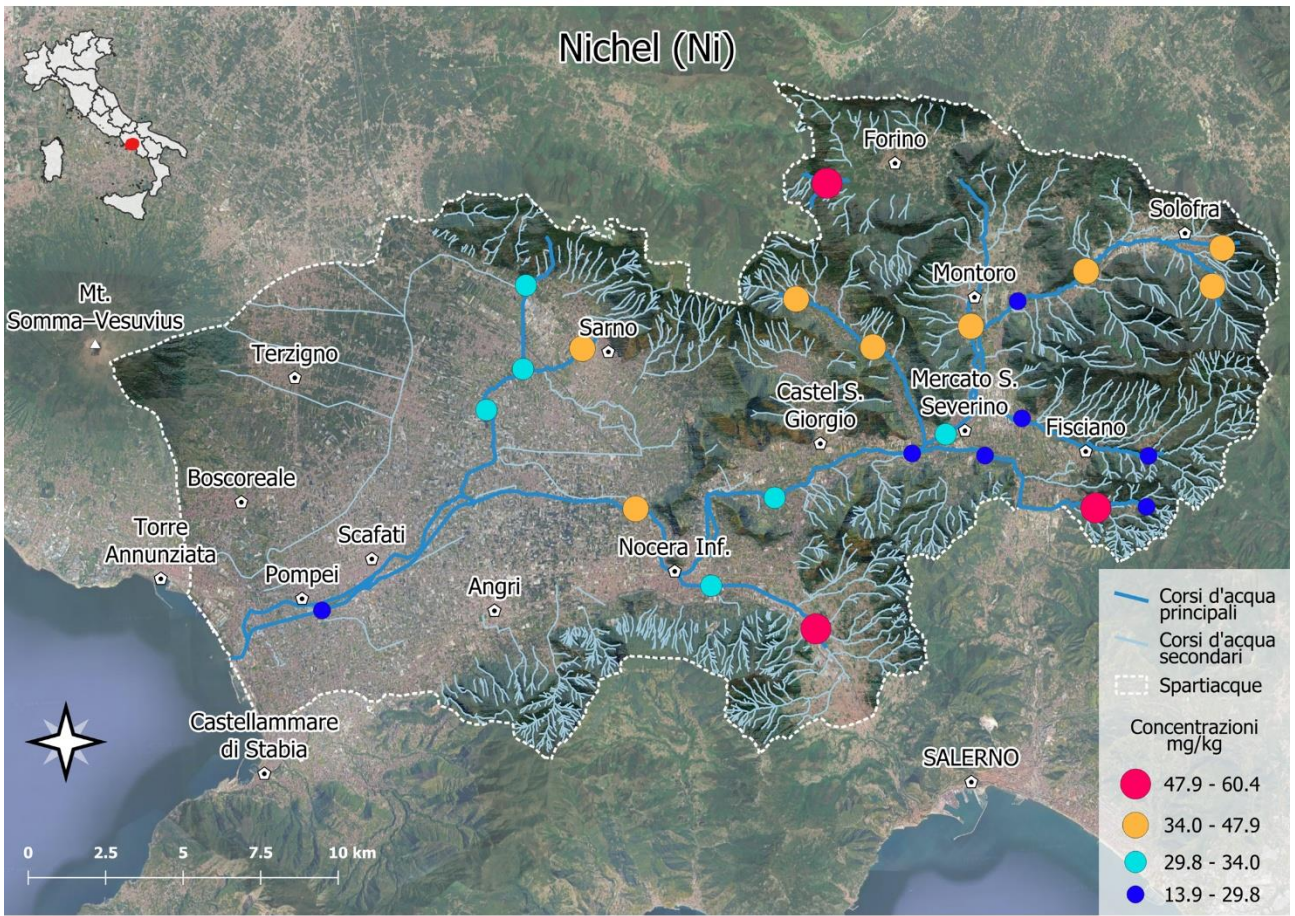
- A1. Berillio
- A2. Vanadio
- A3. Cromo
- A4. Cobalto
- A5. Nichel
- A6. Rame
- A7. Zinco
- A8. Arsenico
- A9. Cadmio
- A10. Piombo
- A11. Uranio
- A12. Mercurio
- A13. Manganese
- A14. Ferro

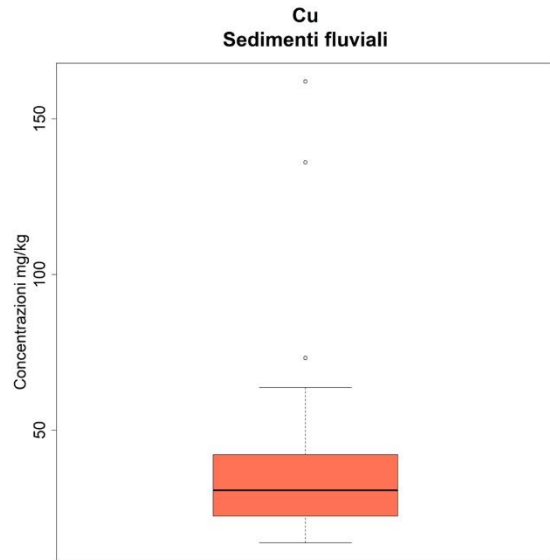
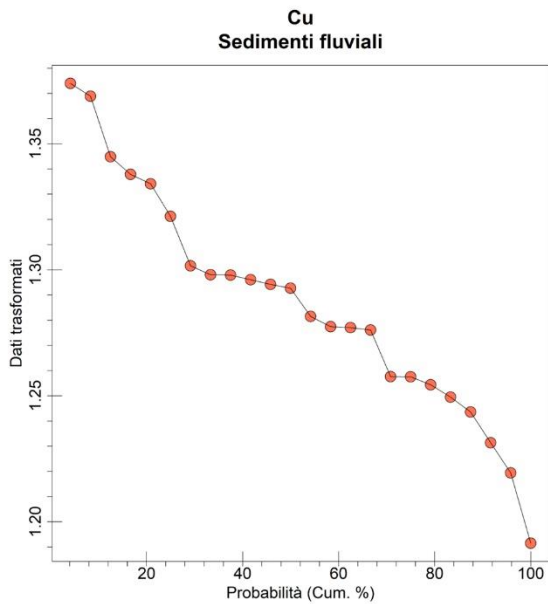
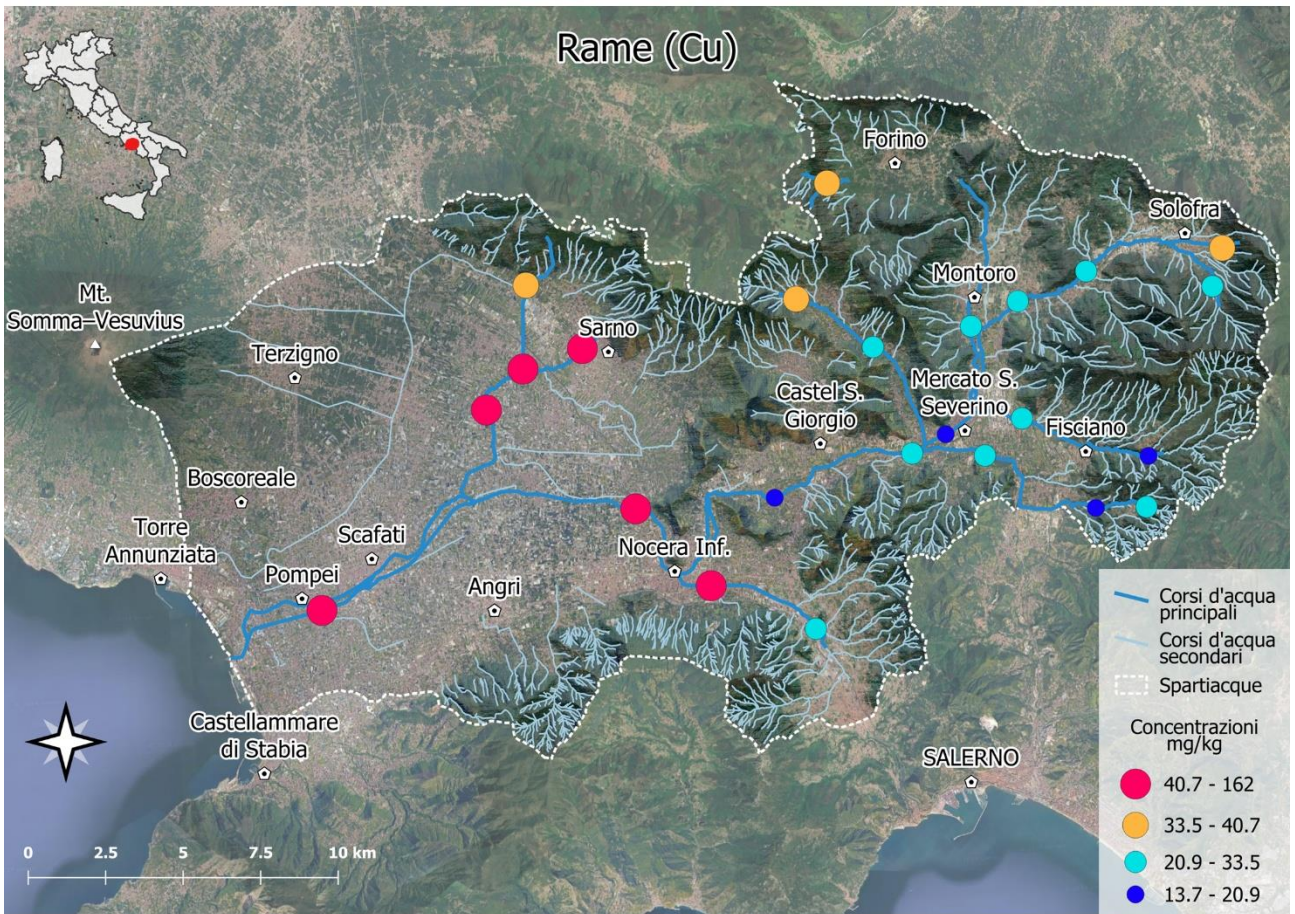


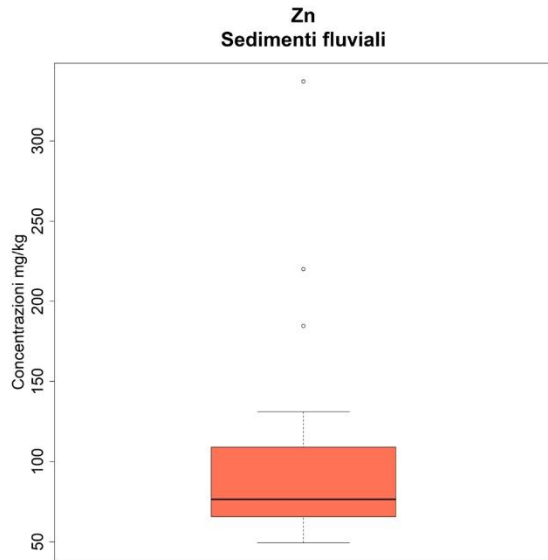
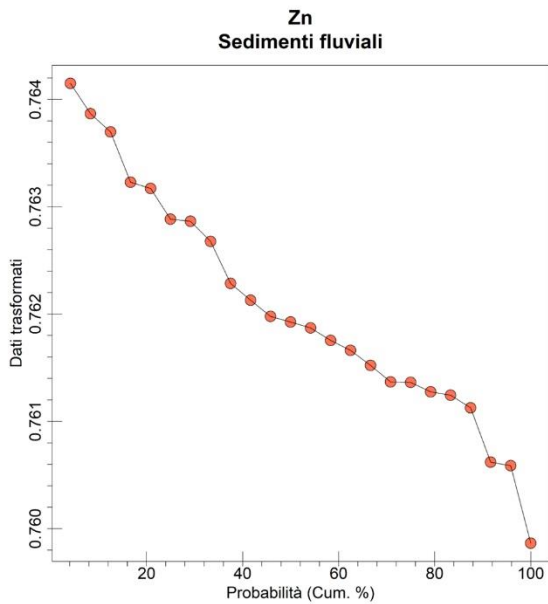
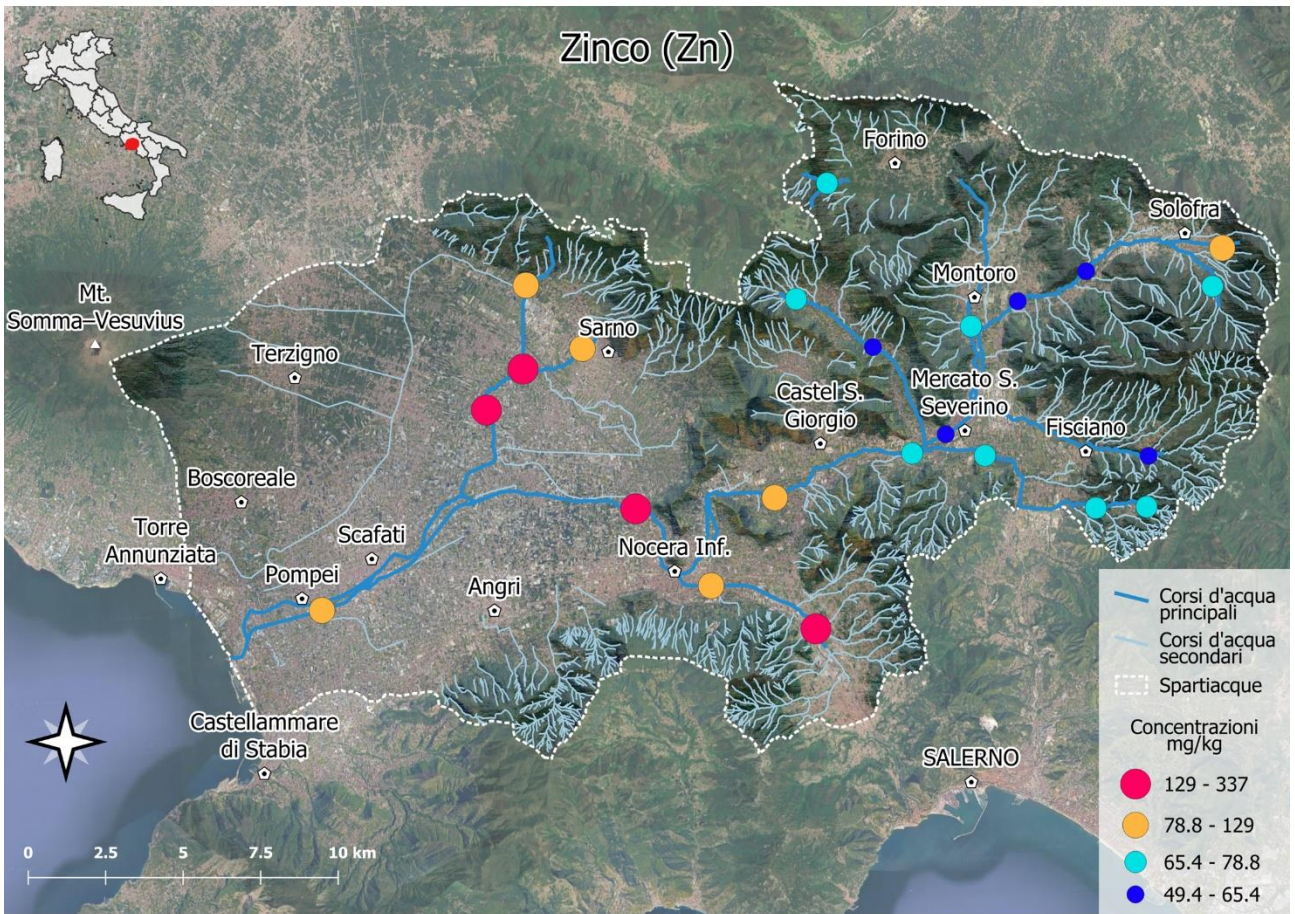


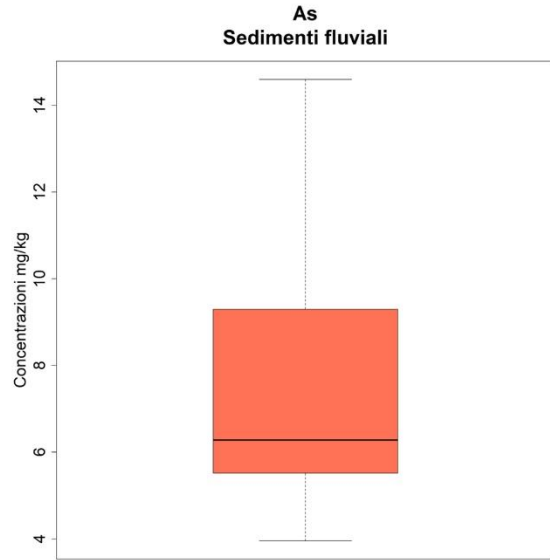
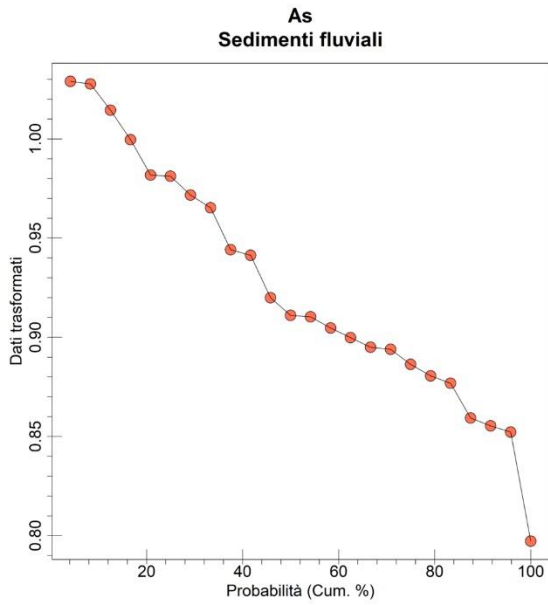
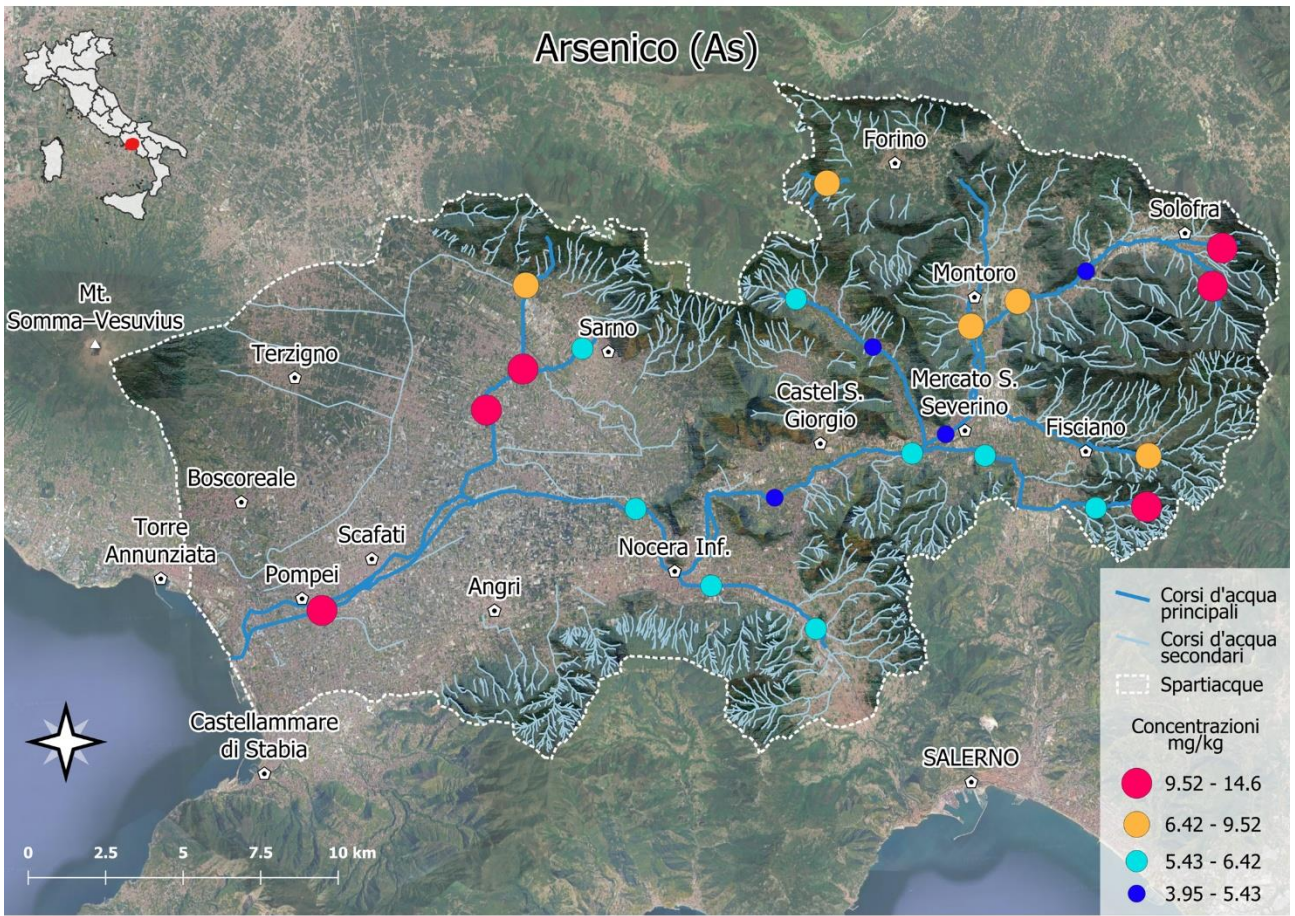


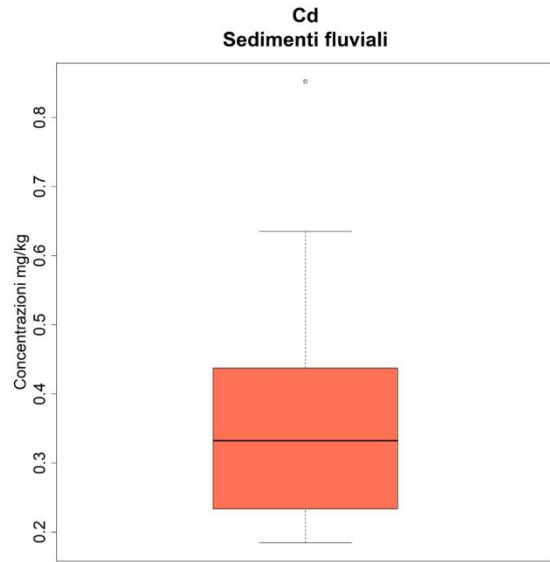
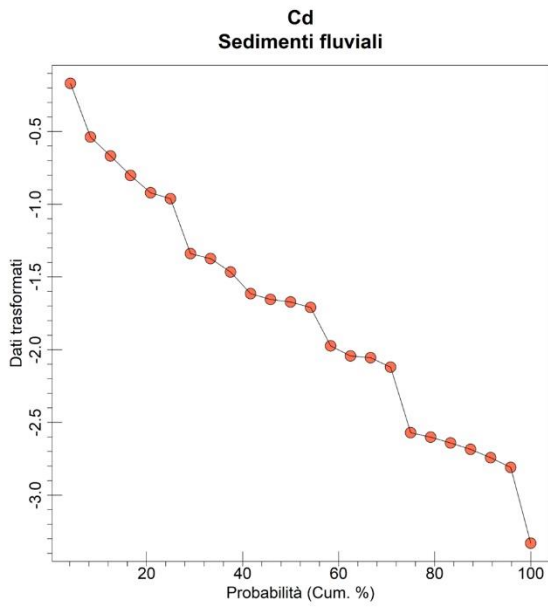
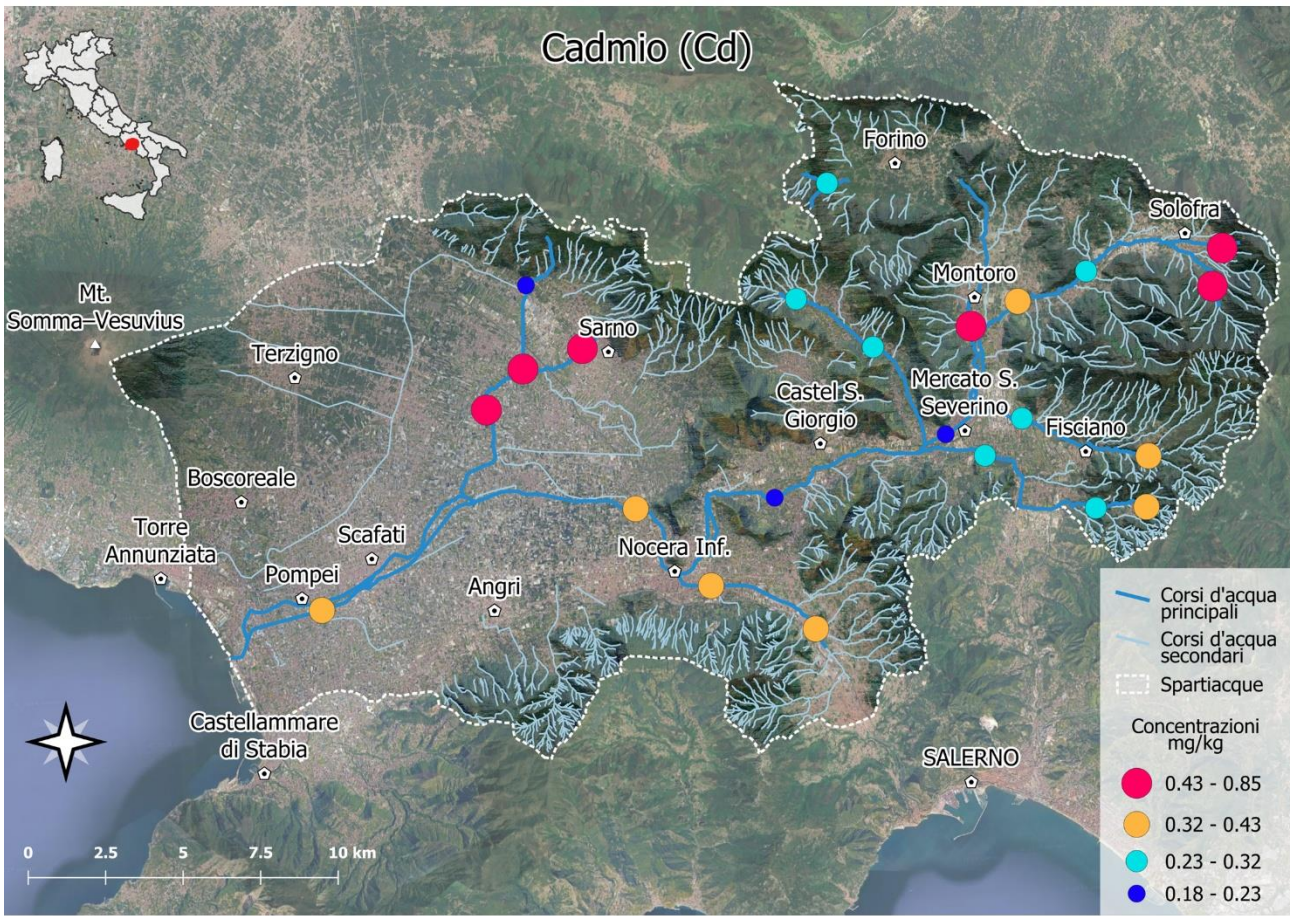


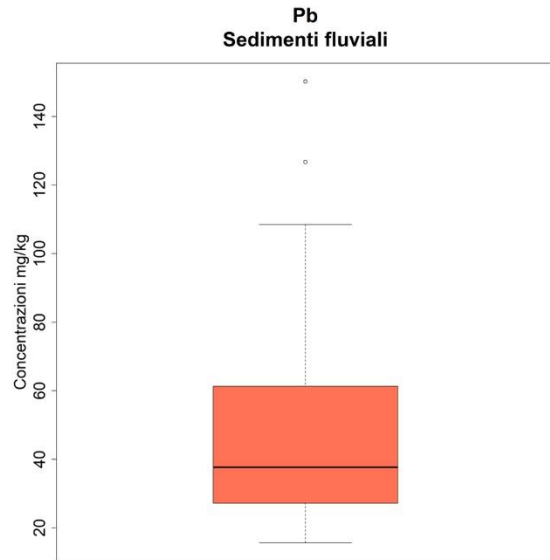
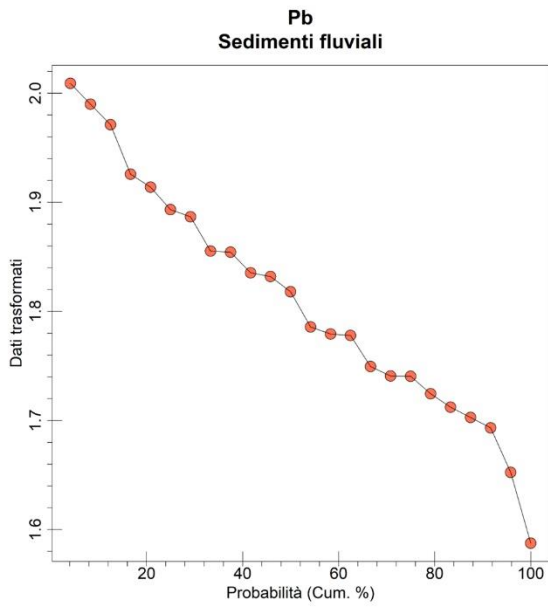
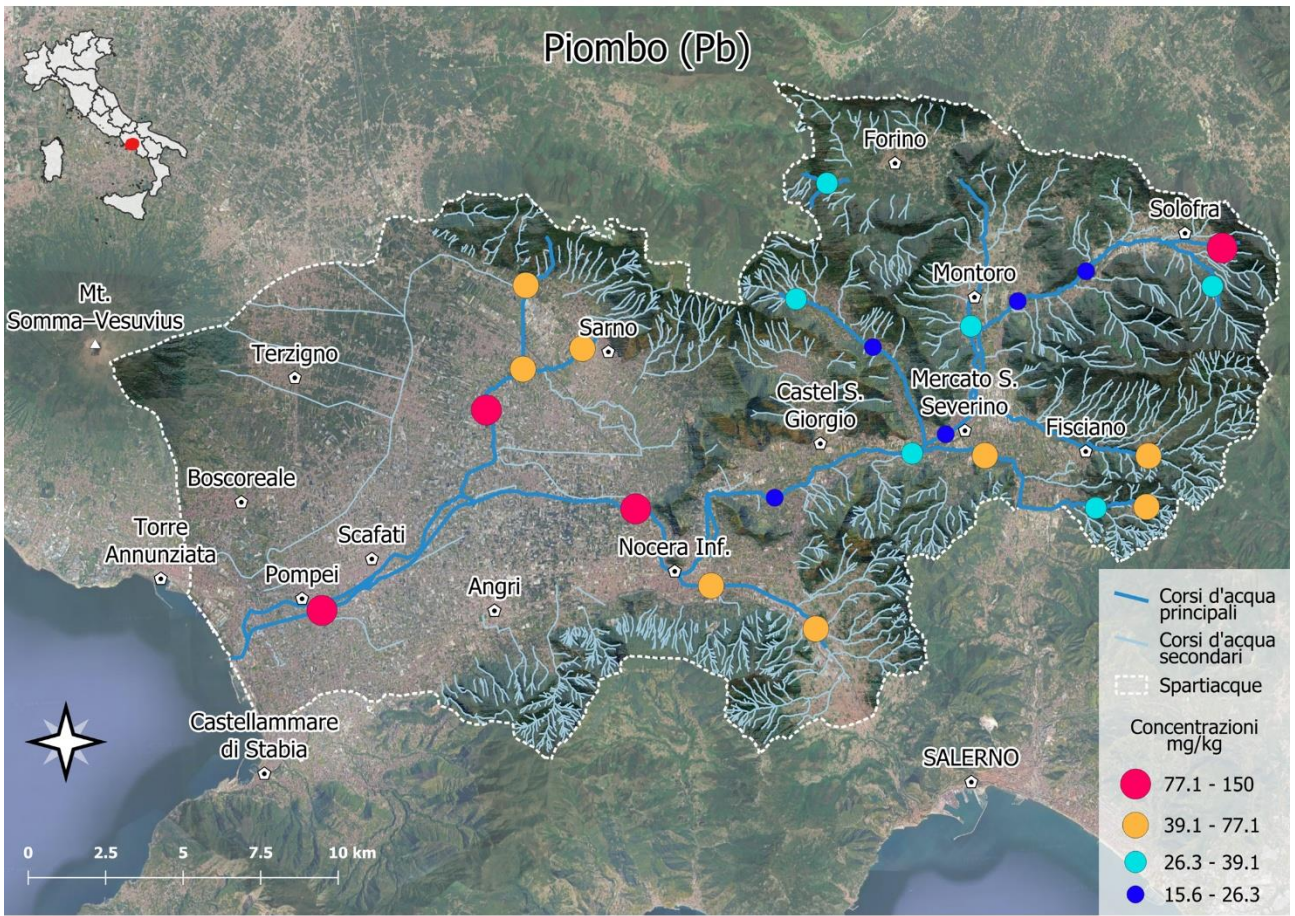


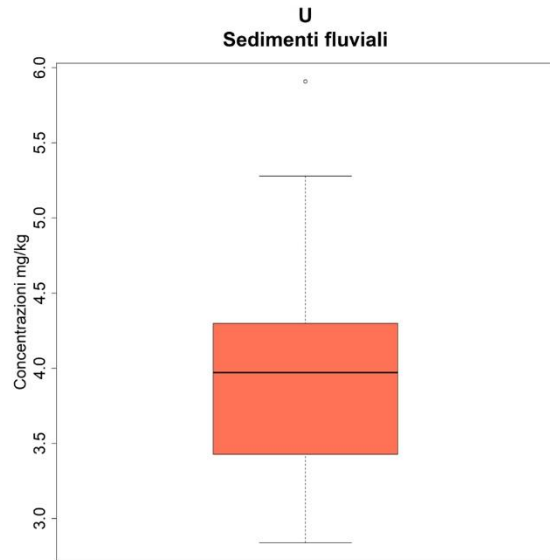
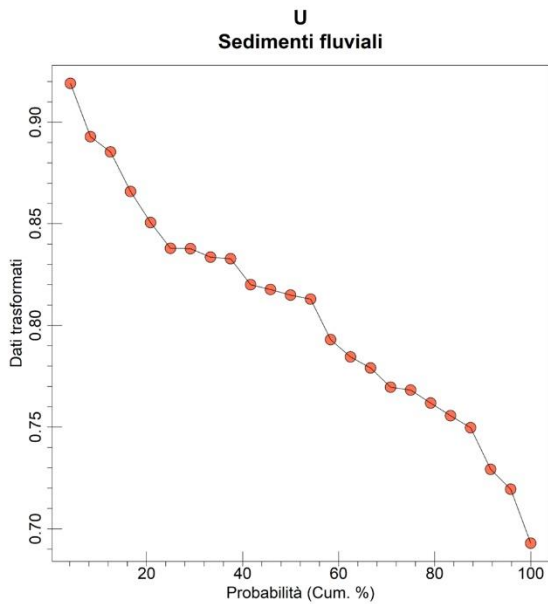
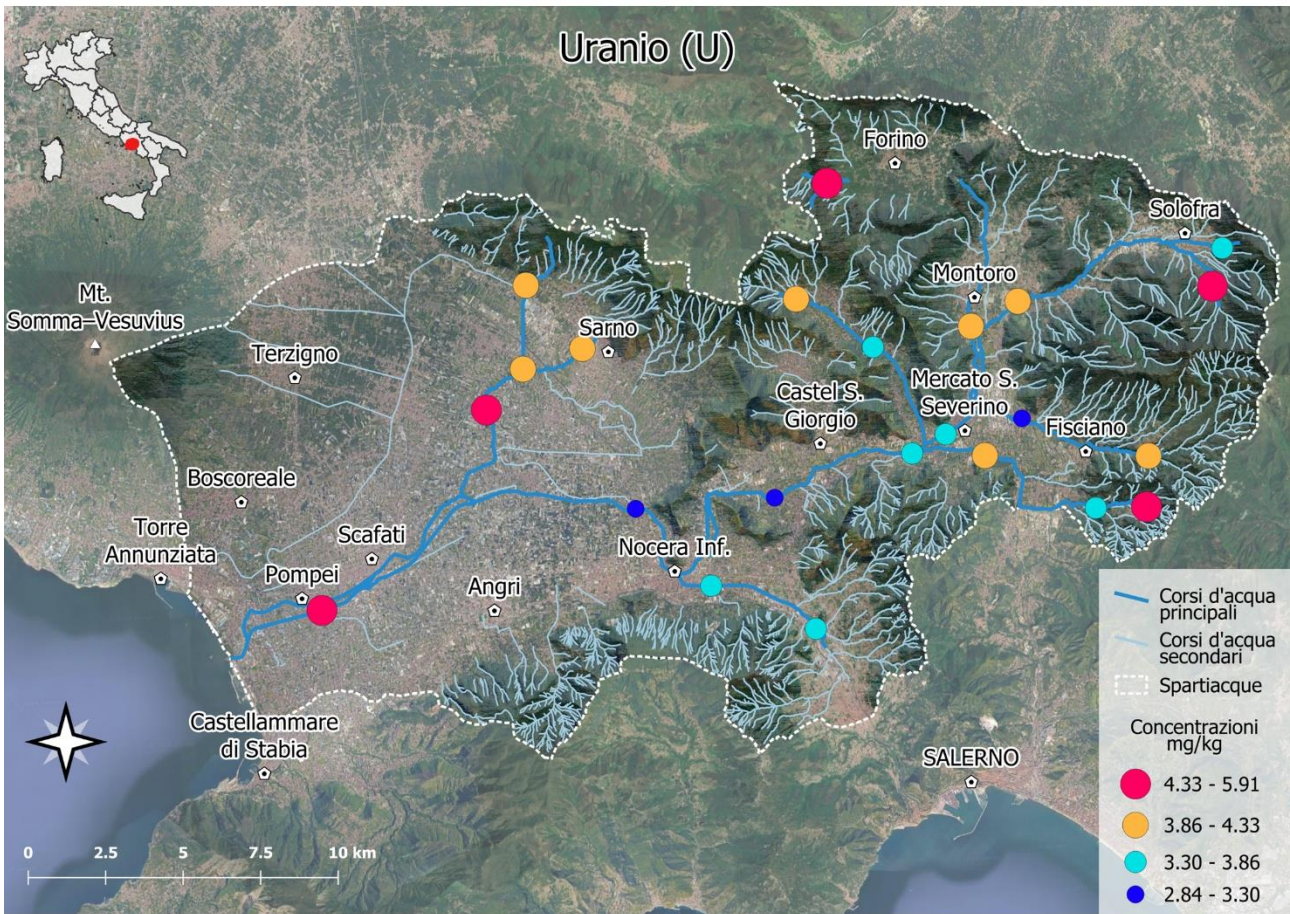


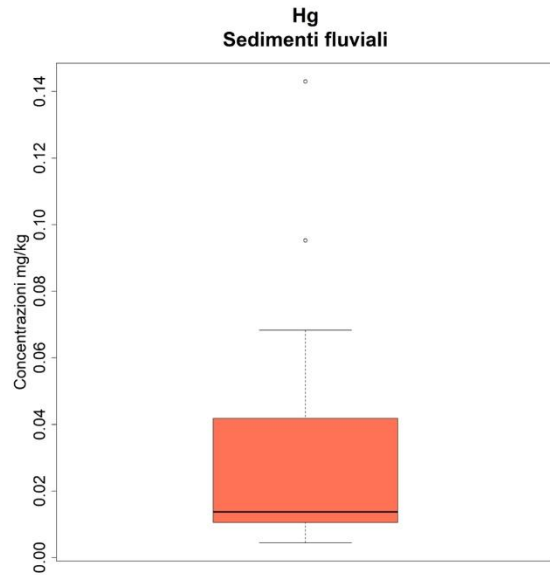
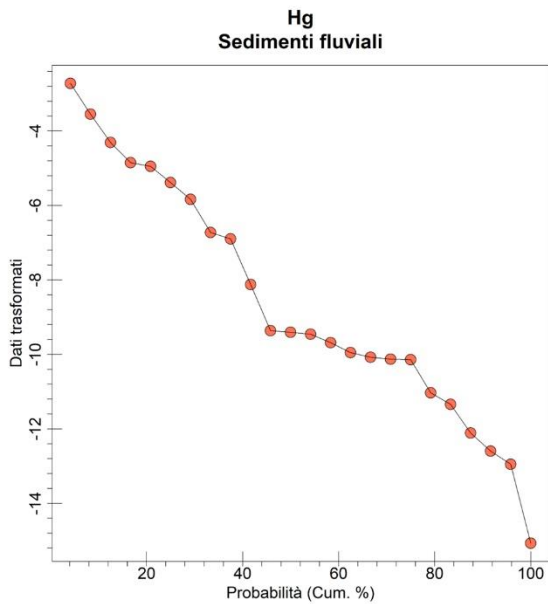
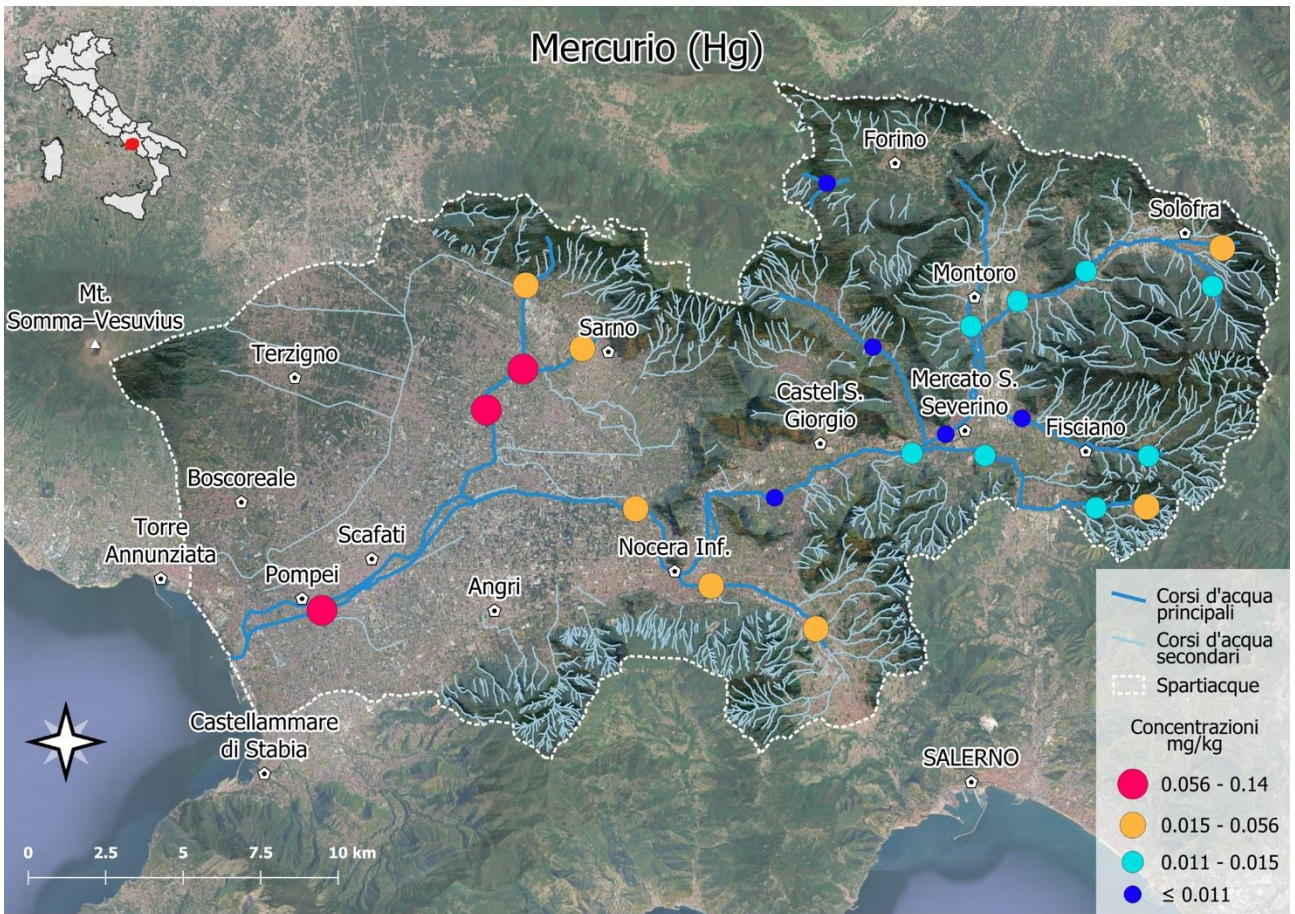


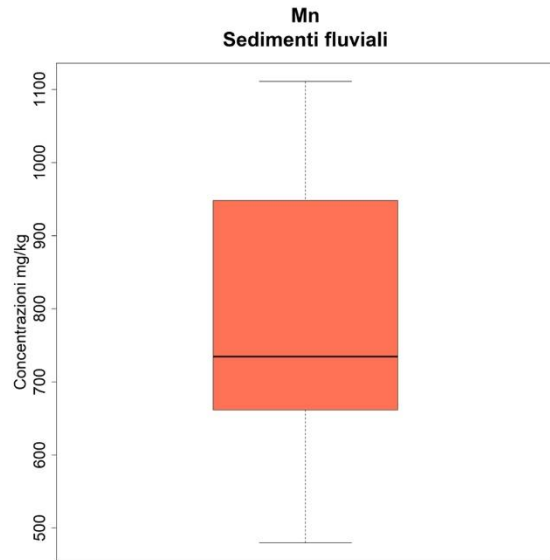
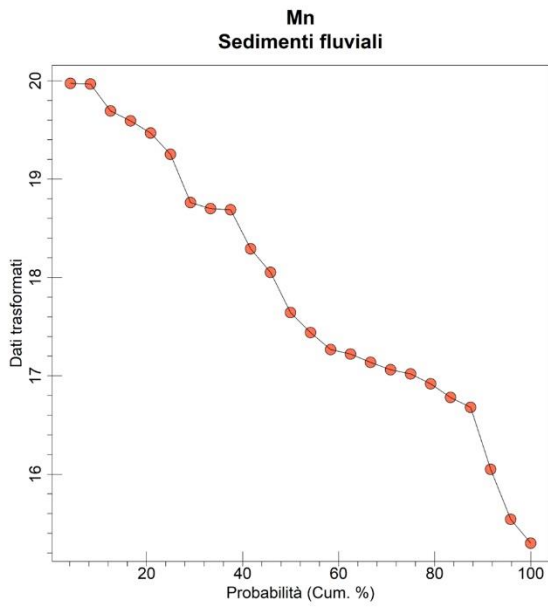
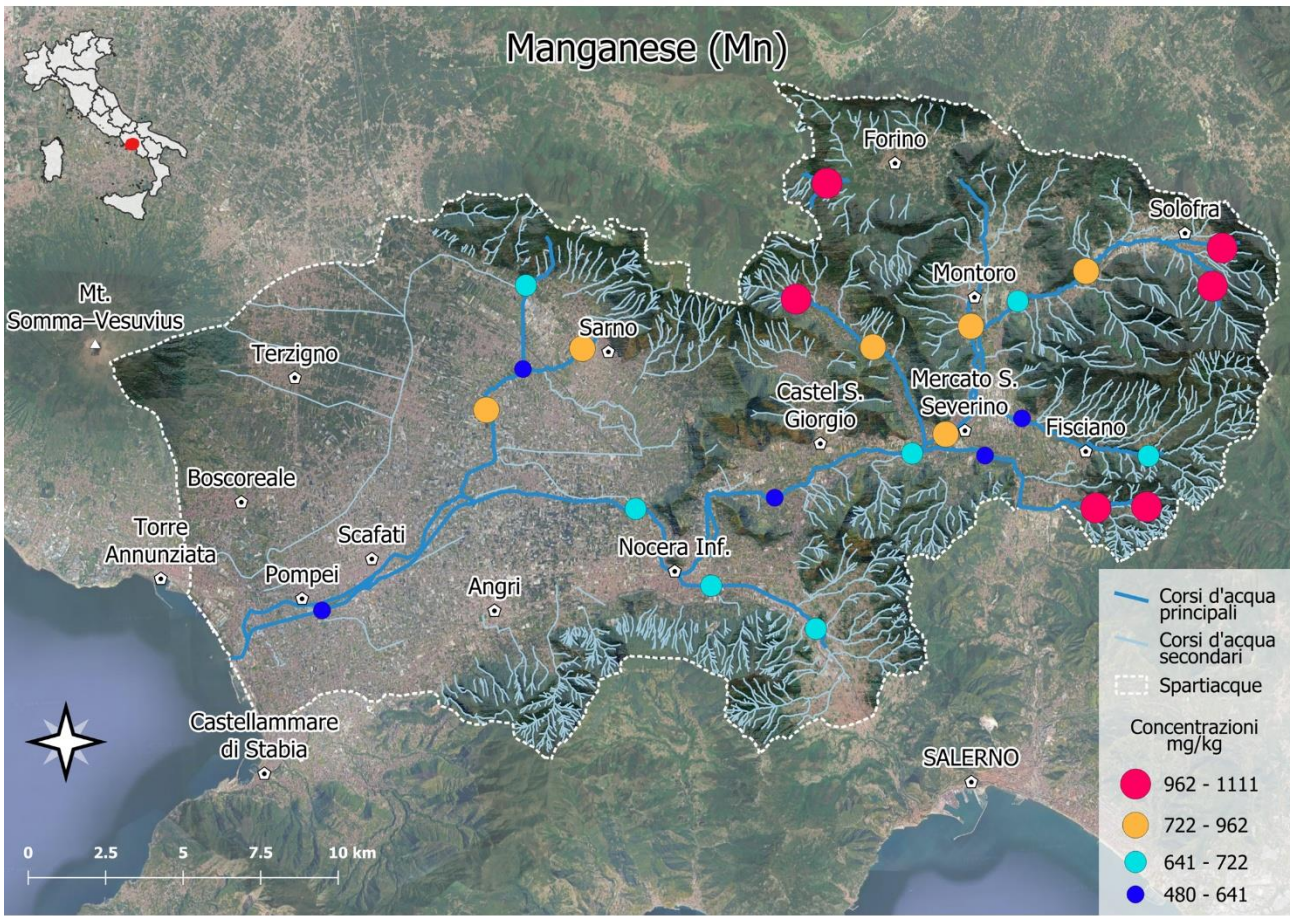


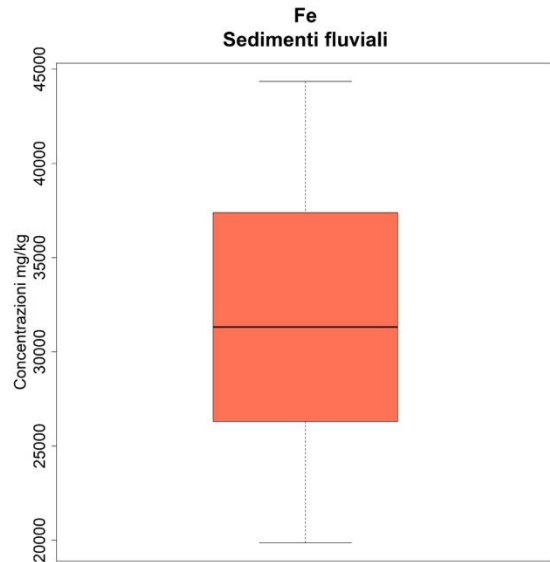
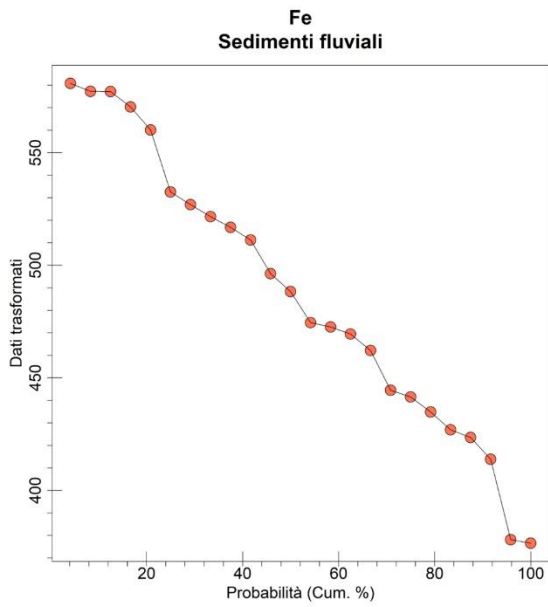
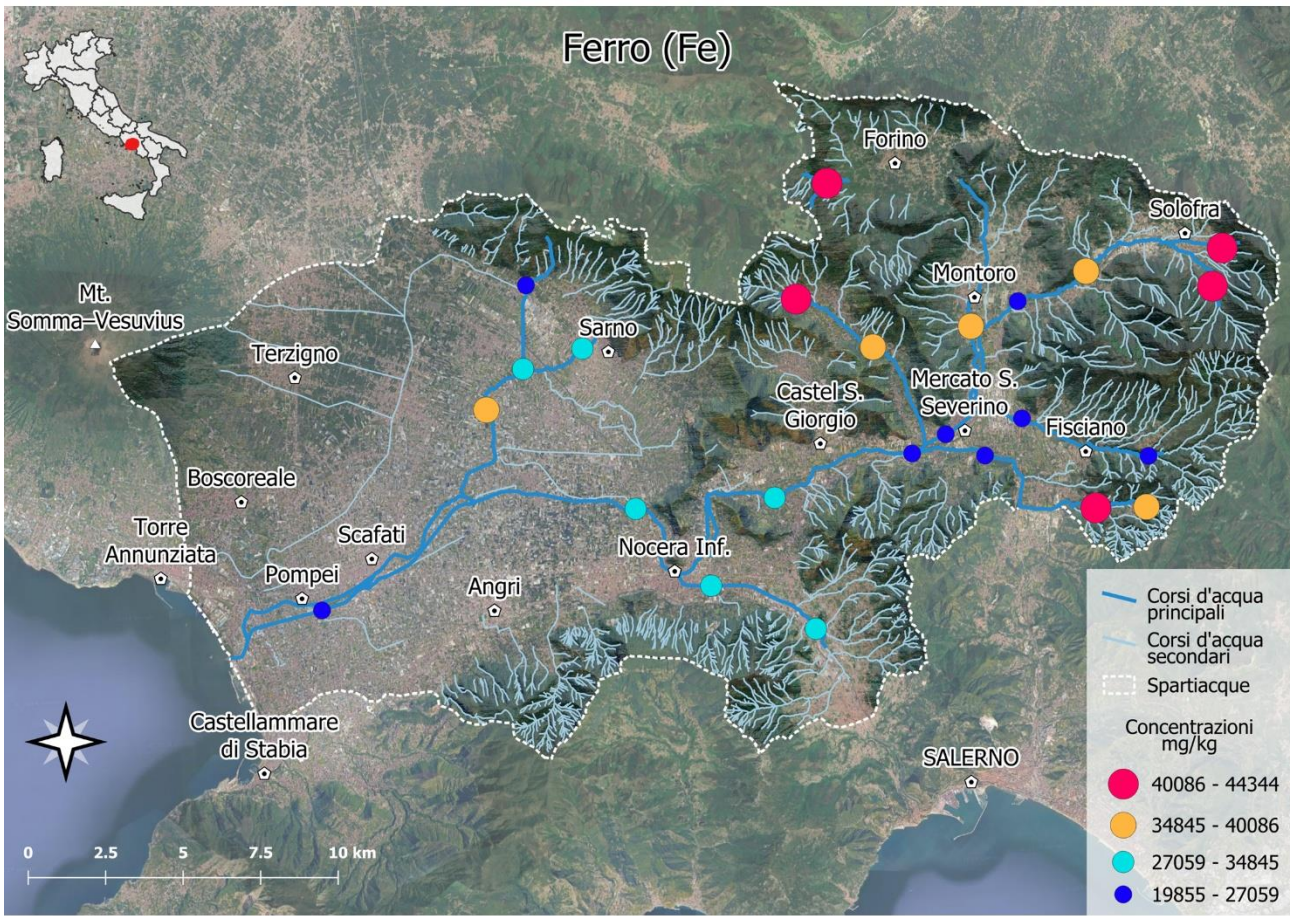








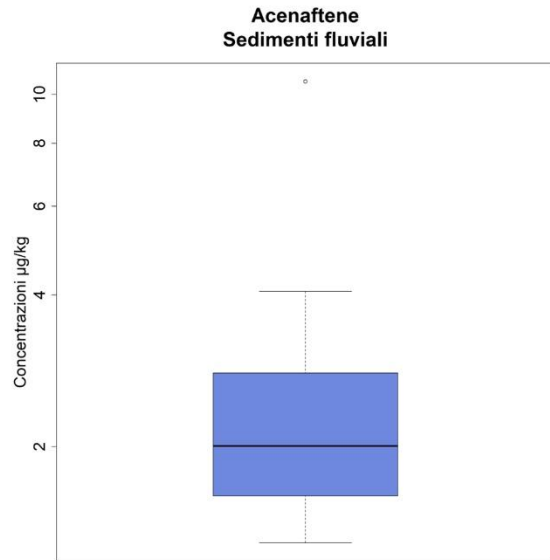
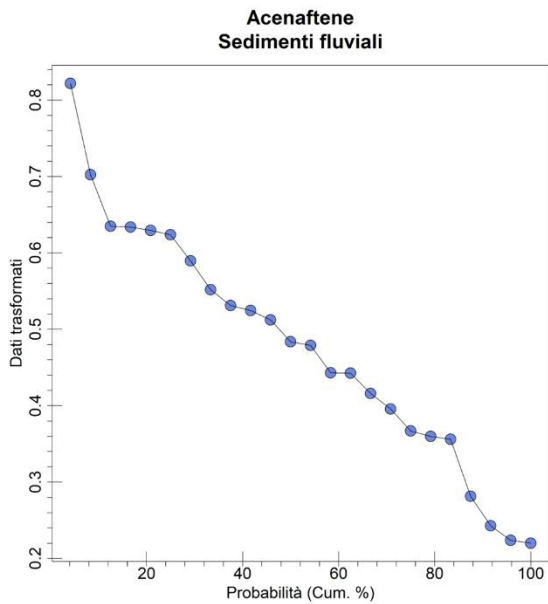
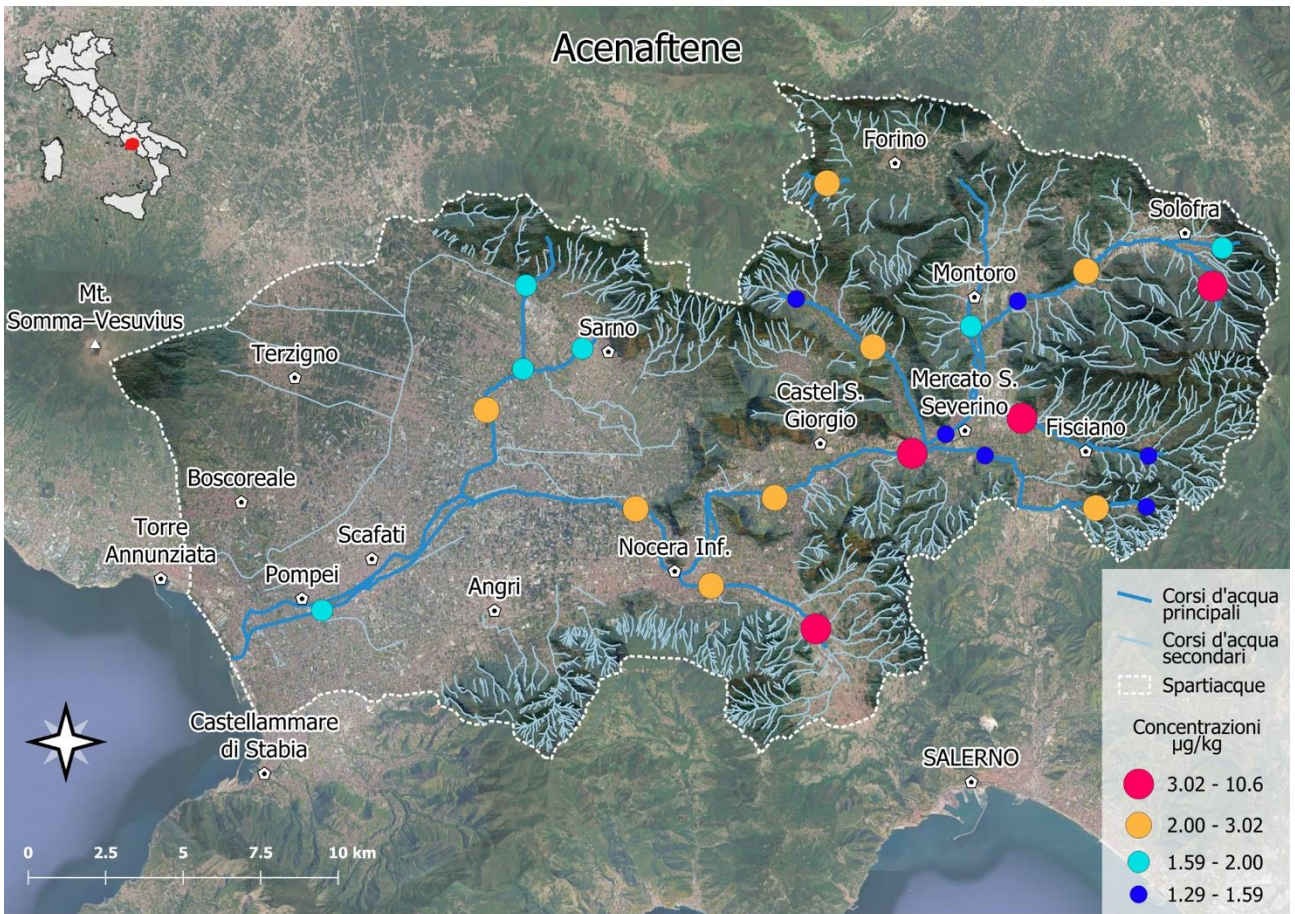


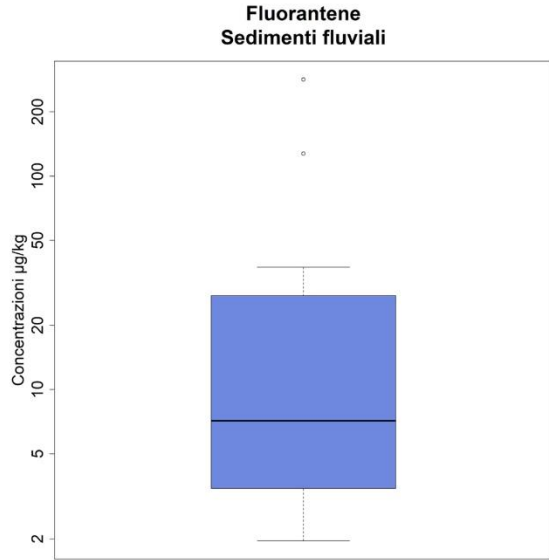
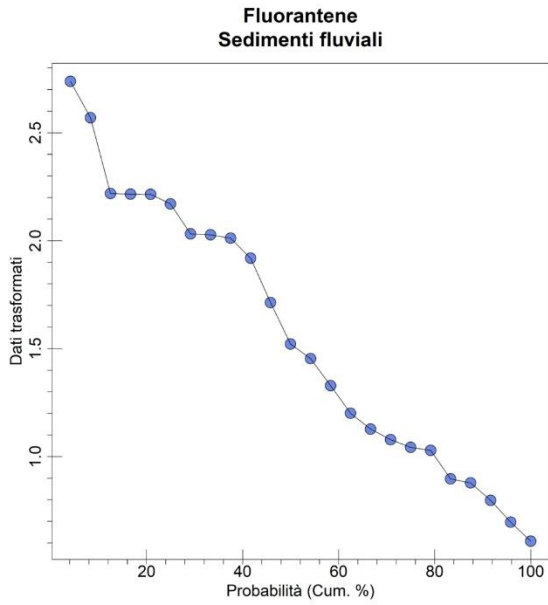
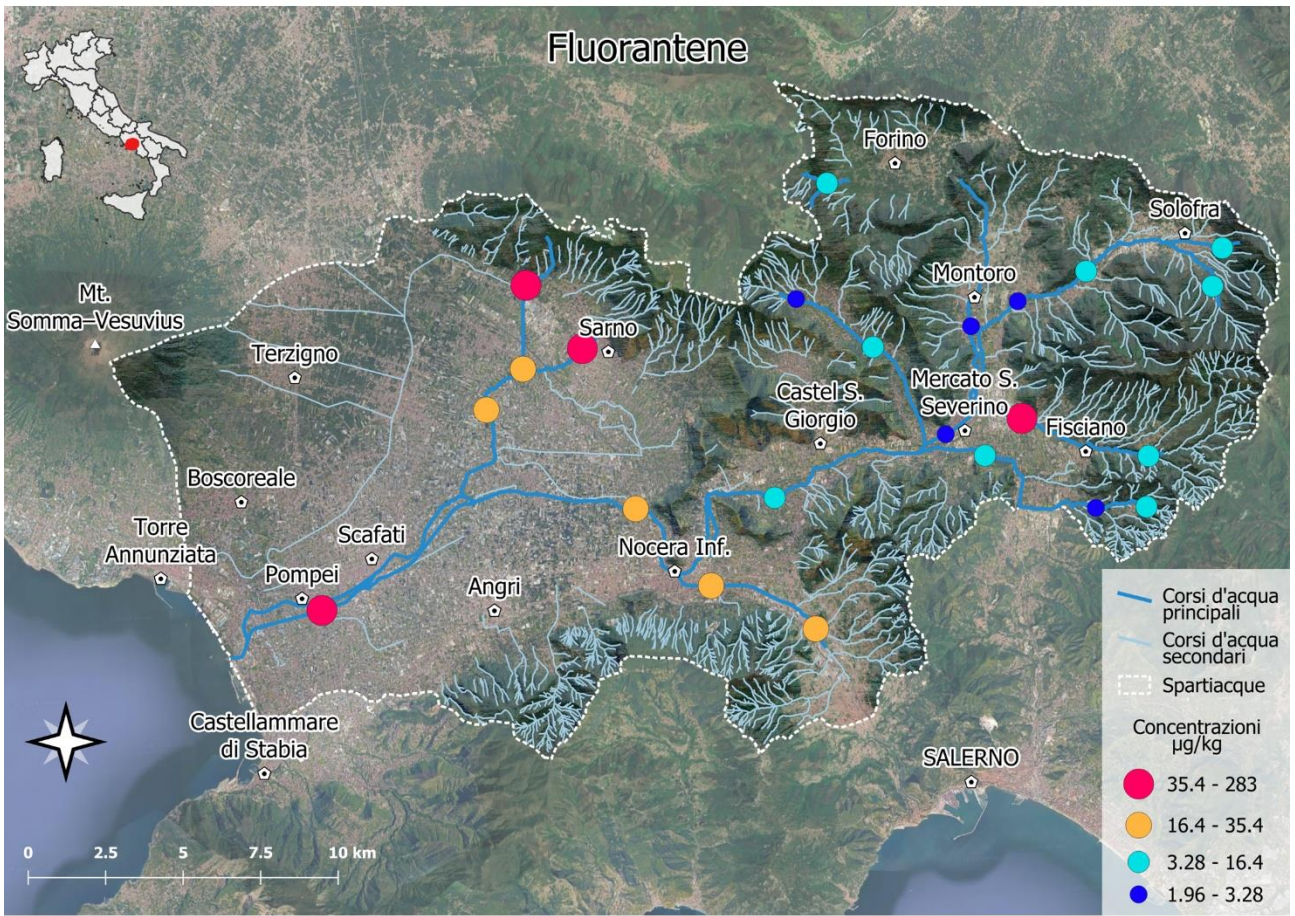


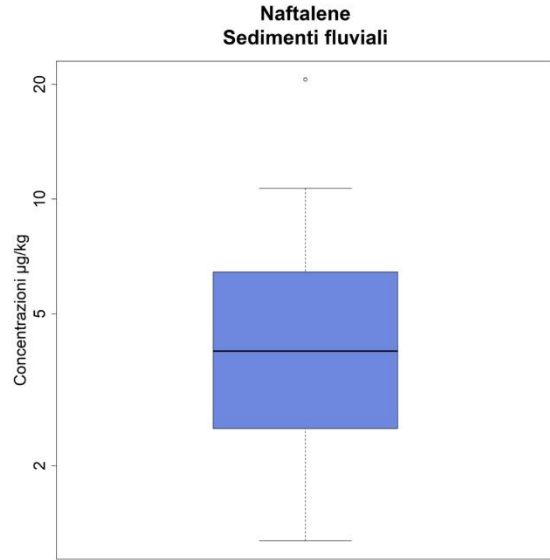
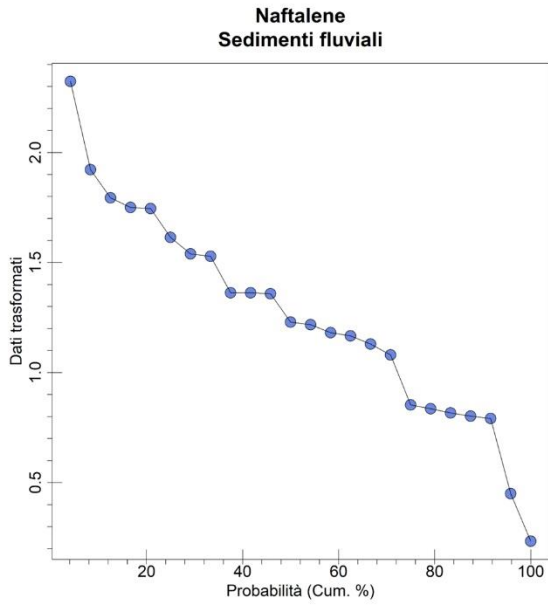
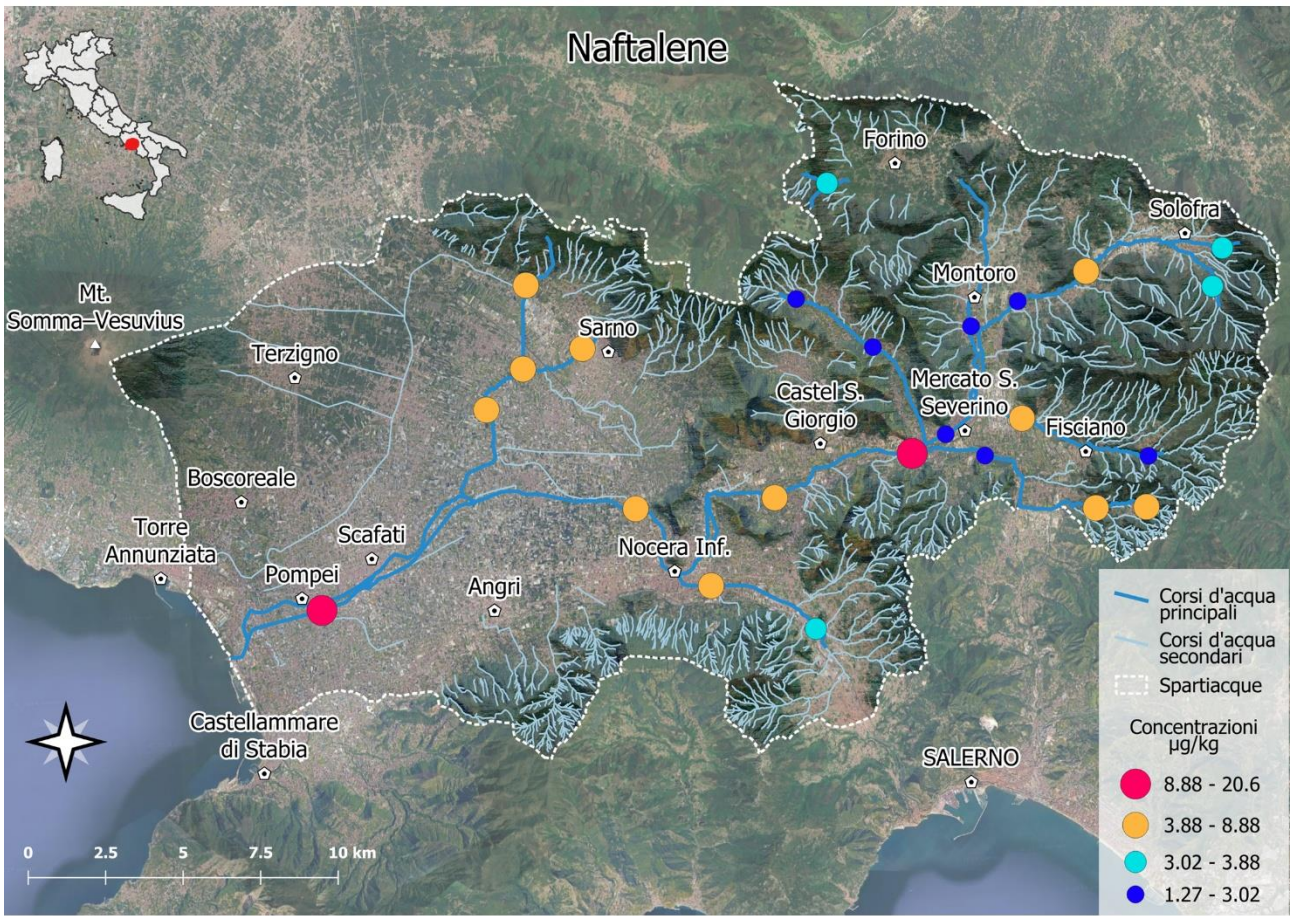
Appendice B – IPA - mappe di Distribuzione

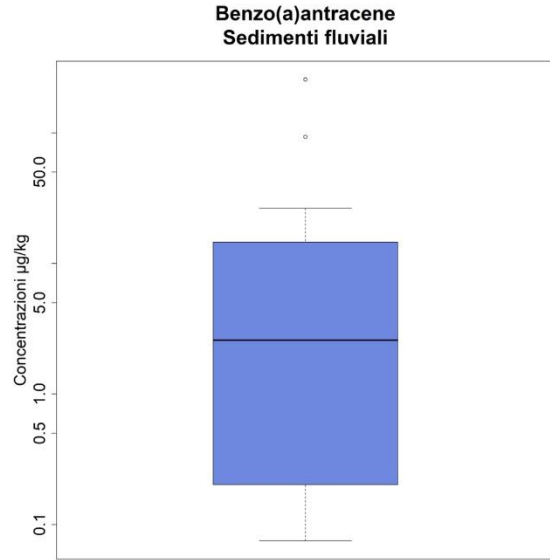
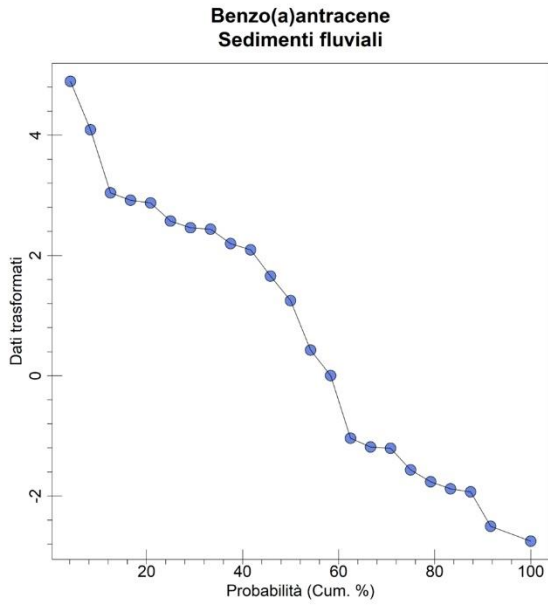
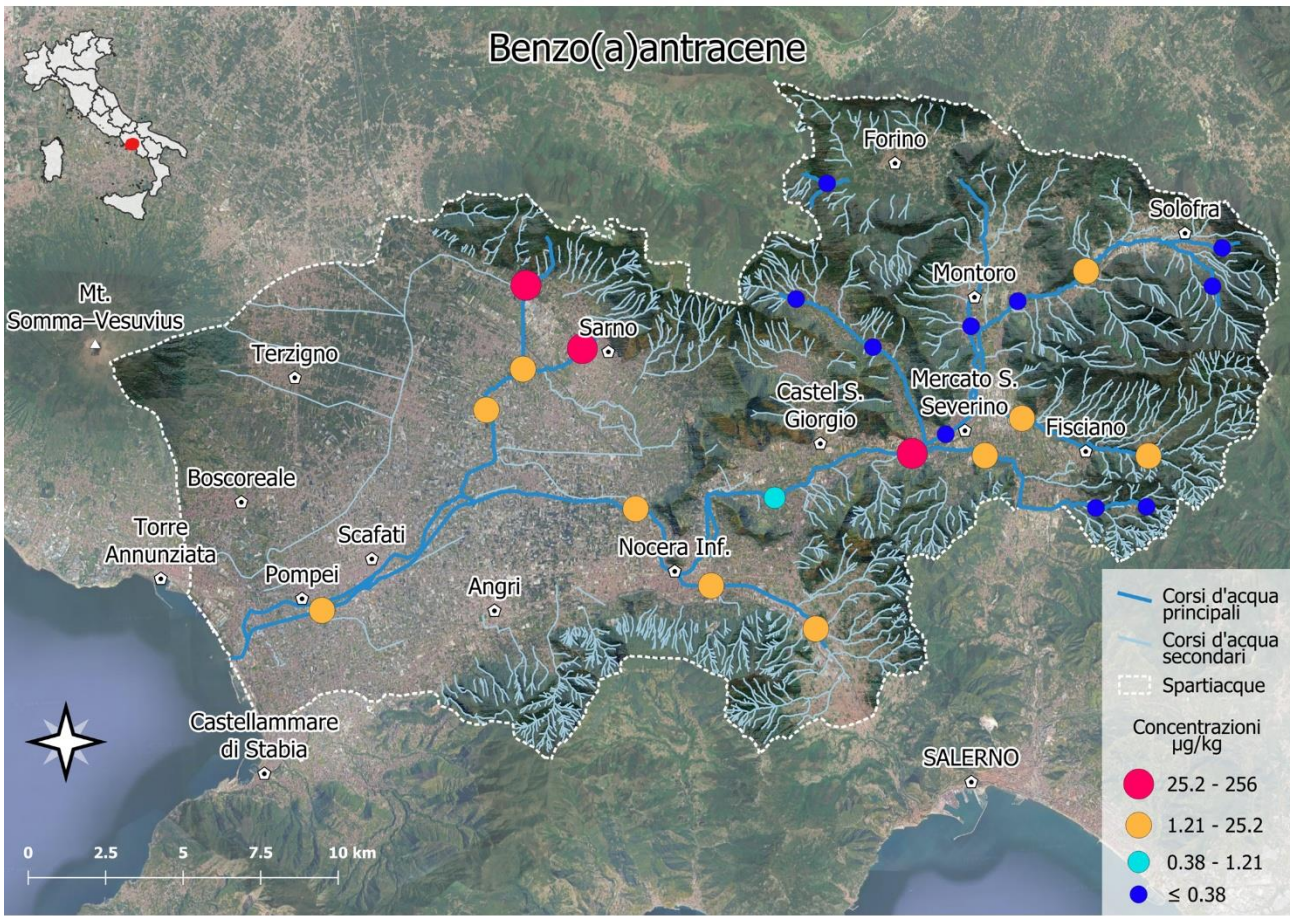
Mappa delle concentrazioni di IPA nei sedimenti fluviali dell'area di studio. I punti colorati rappresentano i siti di campionamento, classificati in base ai livelli di IPA ($\mu\text{g}/\text{kg}$). Sono riportati i corsi d'acqua principali e secondari, oltre ai limiti idrografici del bacino. In basso, la curva di probabilità cumulativa e il boxplot descrivono la distribuzione statistica delle concentrazioni misurate nei sedimenti fluviali.

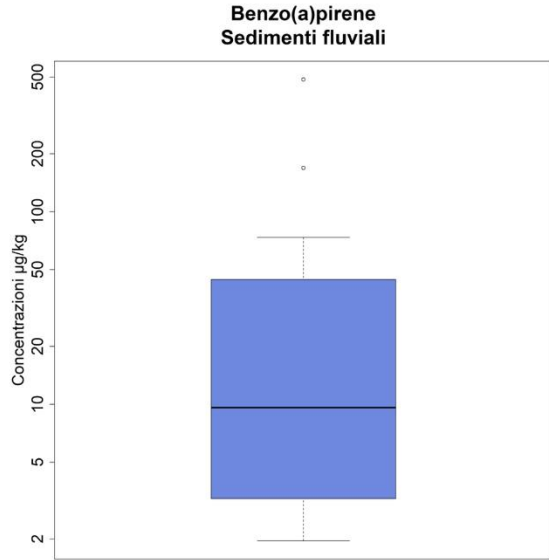
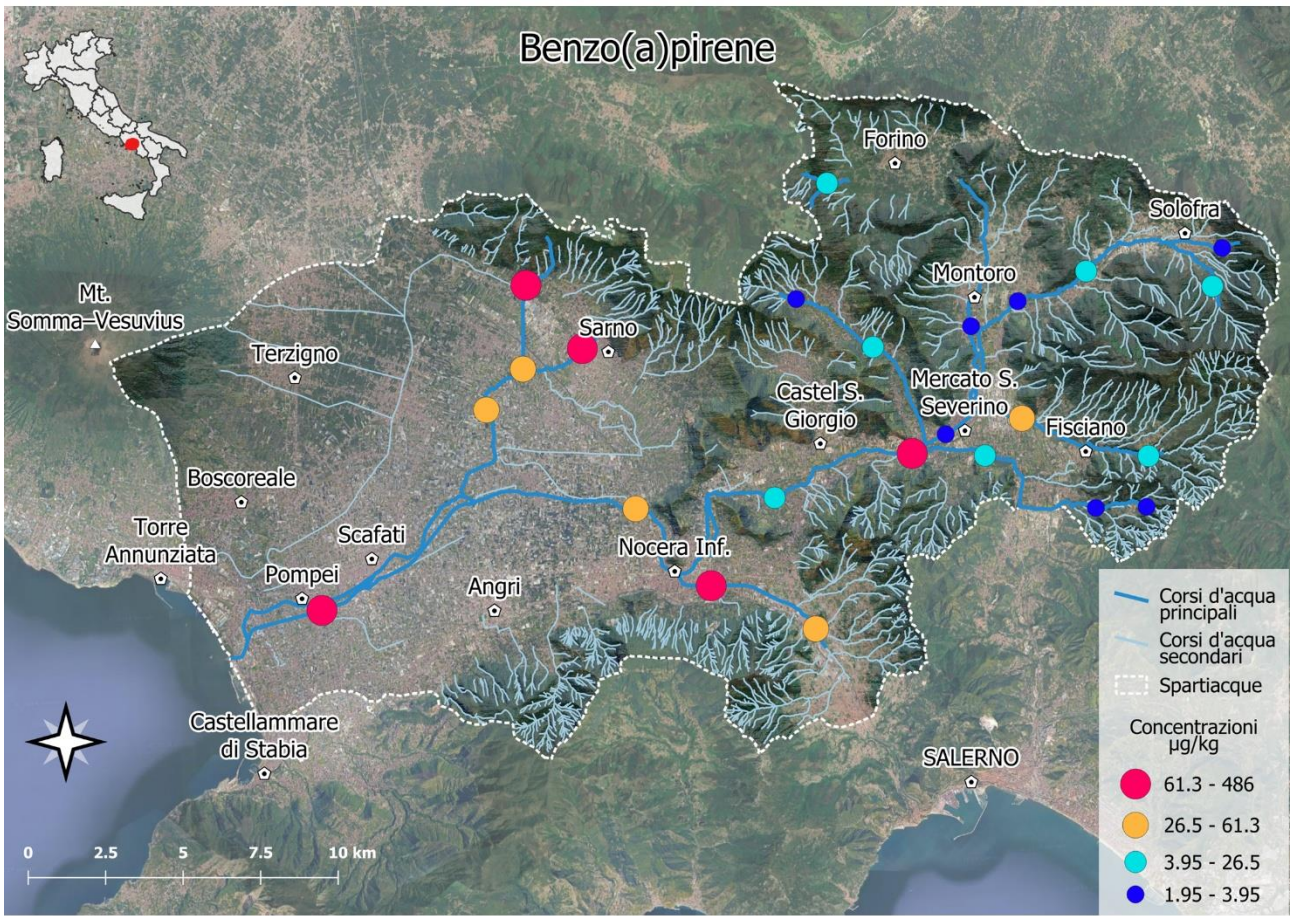
- B1. Acenaftene
- B2. Fluorantene
- B3. Naftalene
- B4. Benzo(a)antracene
- B5. Benzo(a)pirene
- B6. Benzo(b+j)fluorantene
- B7. Benzo(k)fluorantene
- B8. Crisene
- B9. Acenaftilene
- B10. Antracene
- B11. Benzo(ghi)perilene
- B12. Fluorene
- B13. Fenantrene
- B14. Dibenzo(a,h)antracene
- B15. Indeno(1,2,3-cd)pirene
- B16. Pirene
- B17. Bifenile
- B18. Dibenzotiofene
- B19. Ciclopenta(cd)pirene
- B20. Benzo(ghi)fluorantene
- B21. Benzo(a)fluorantene
- B22. Benzo(e)pirene
- B23. Perilene
- B24. Dibenzo(a,c)antracene
- B25. Antantrene
- B26. Dibenzo(b,k)fluorantene
- B27. Coronene
- B28. Dibenzo(a,e)pirene

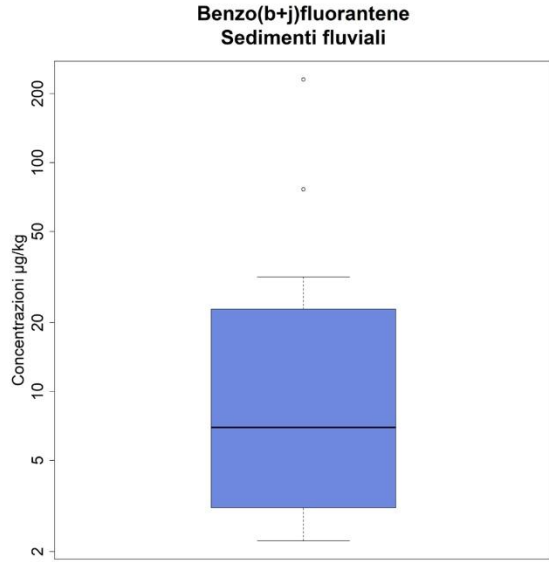
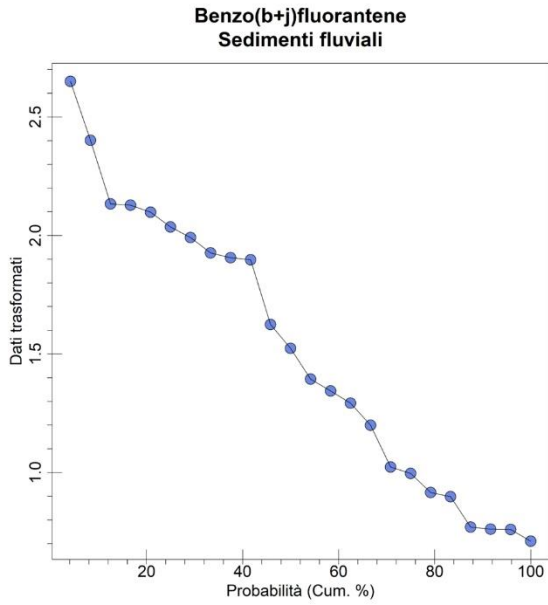
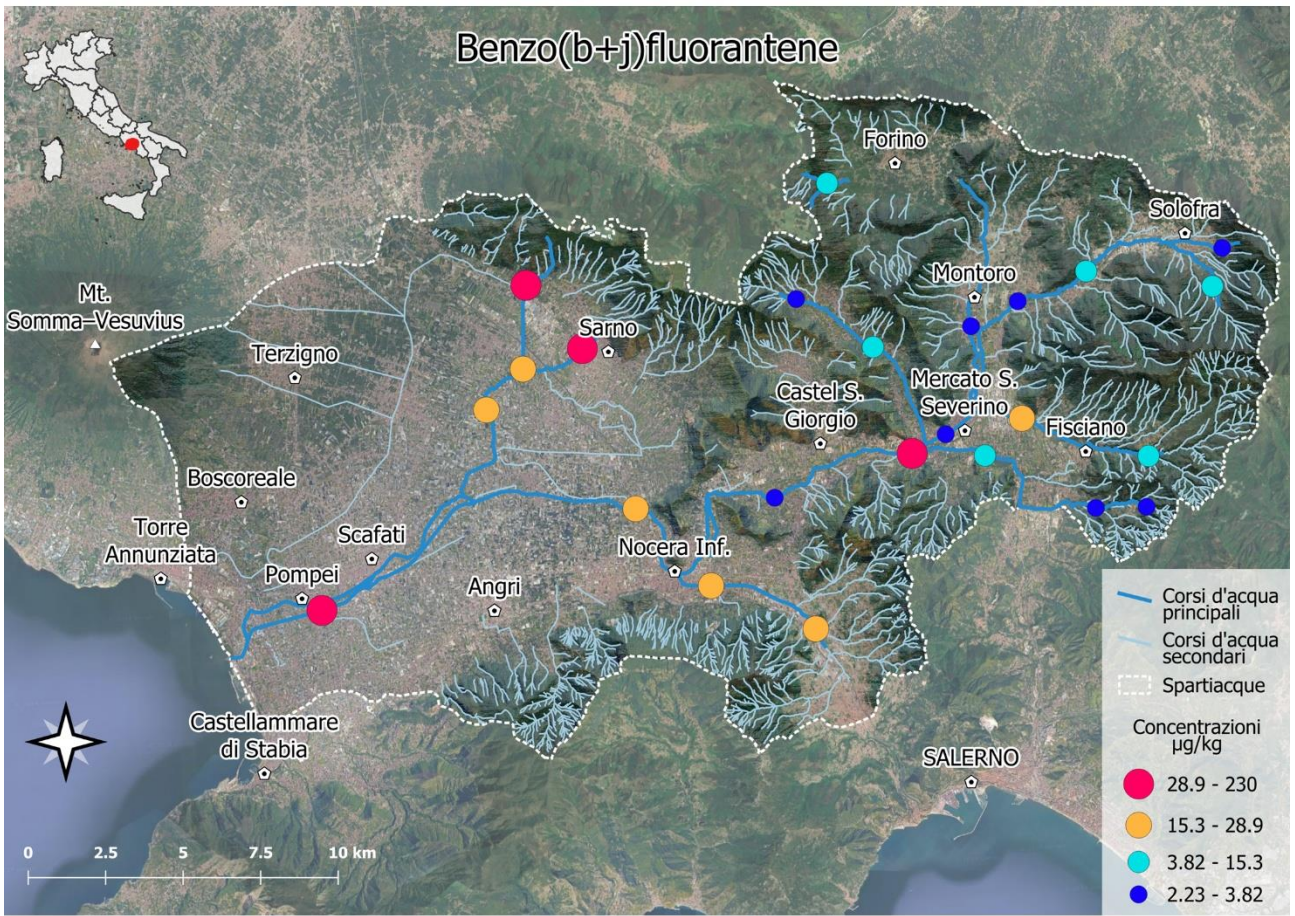


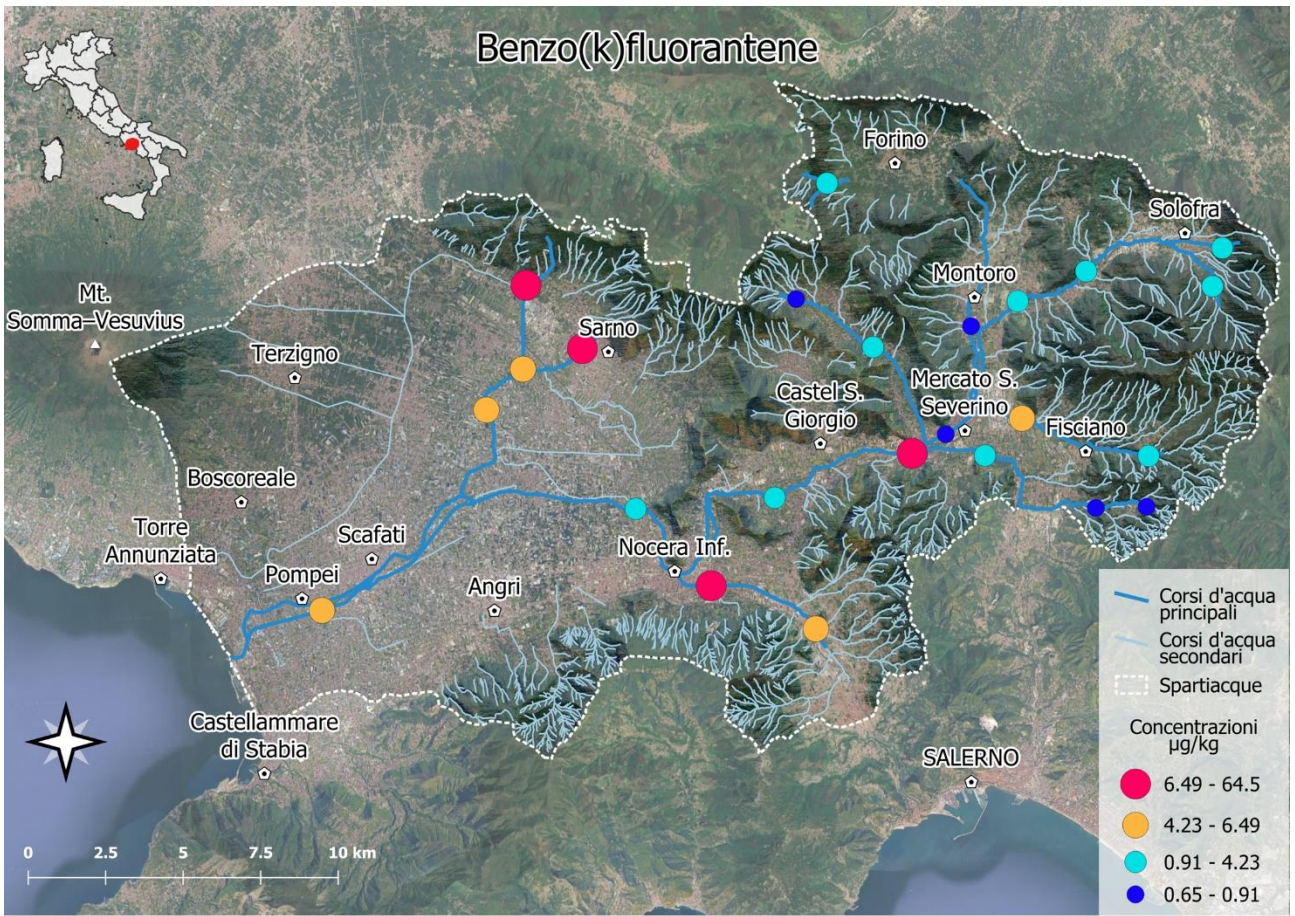




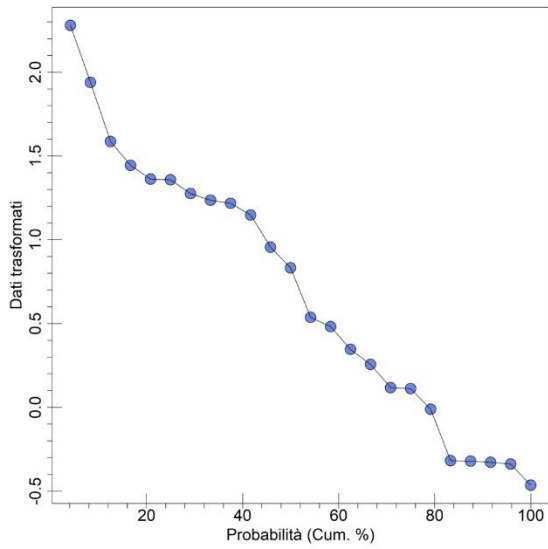




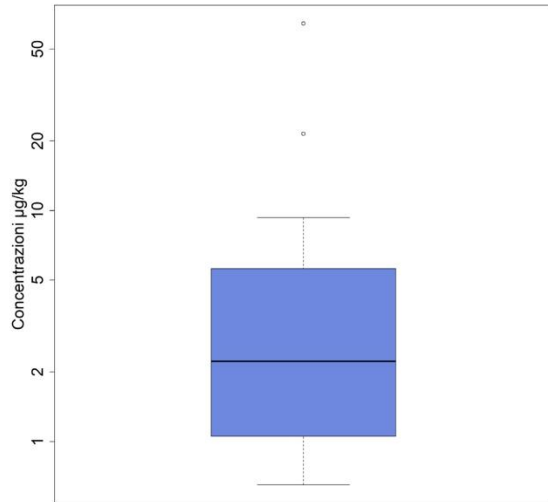


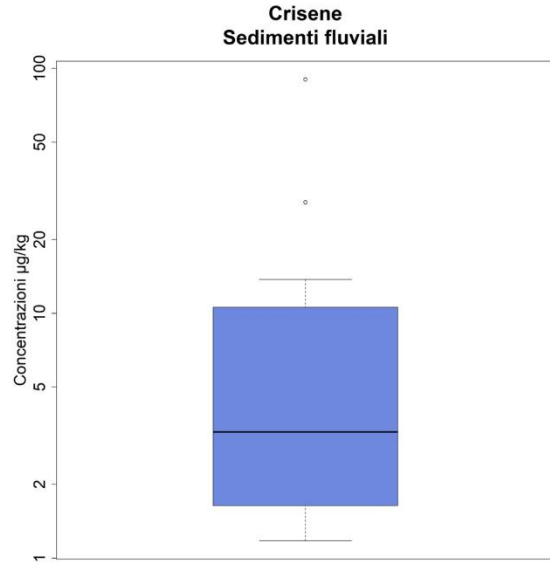
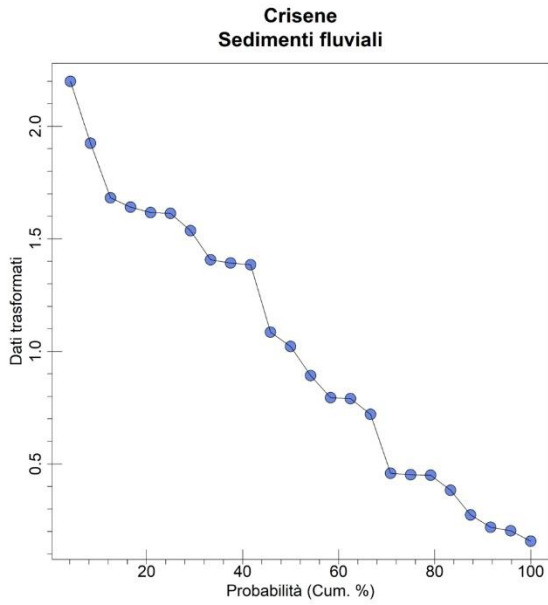
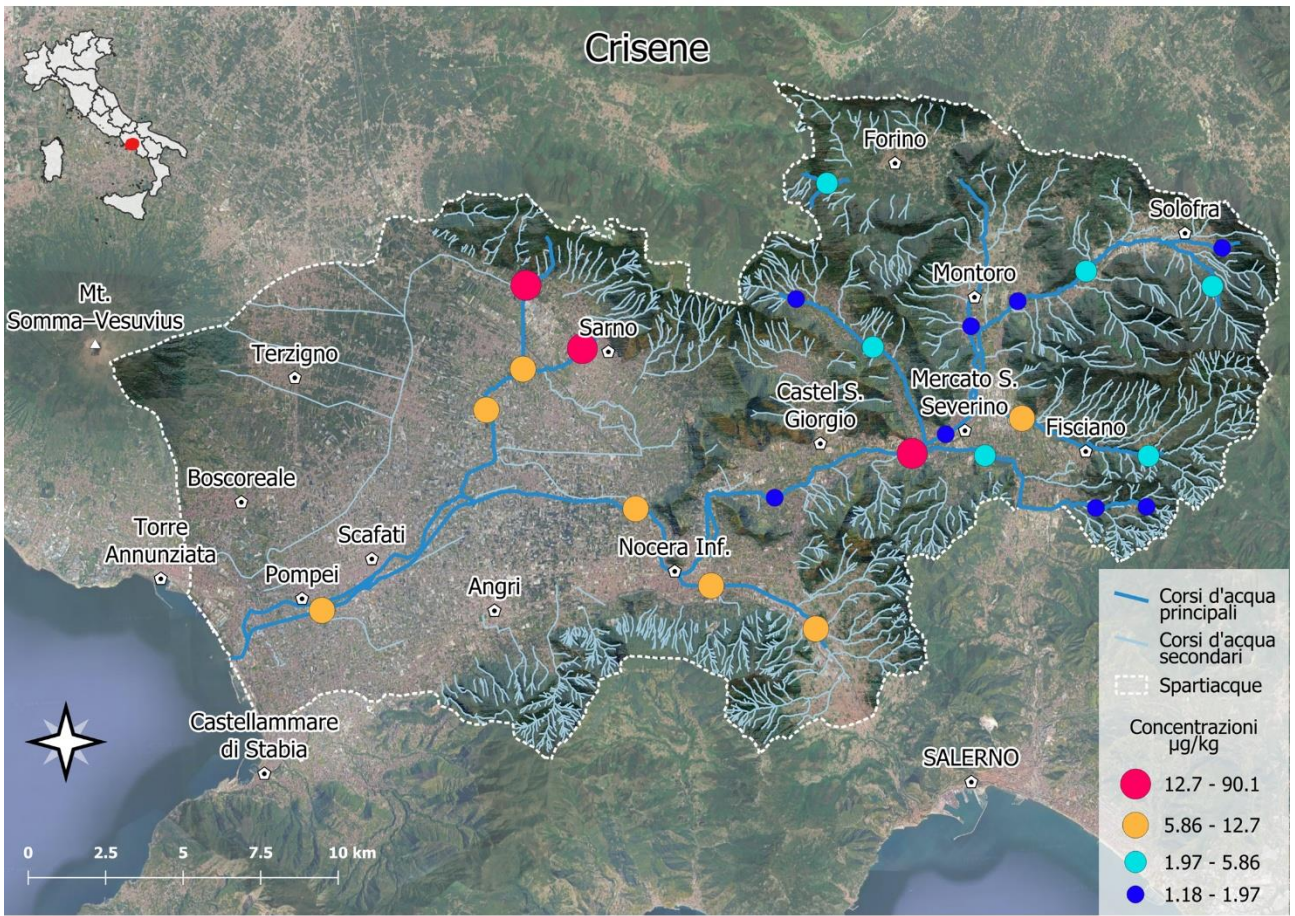


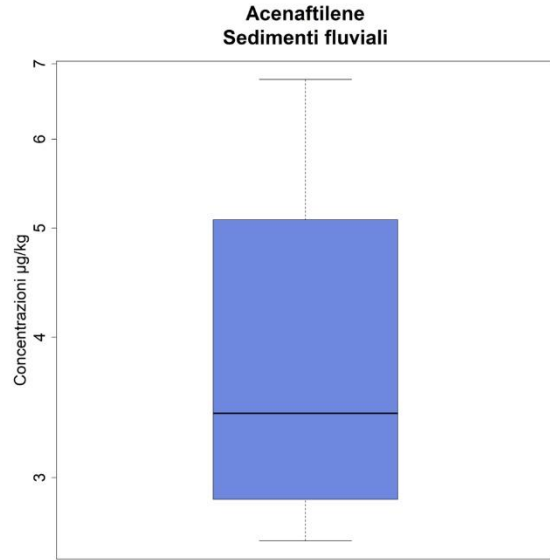
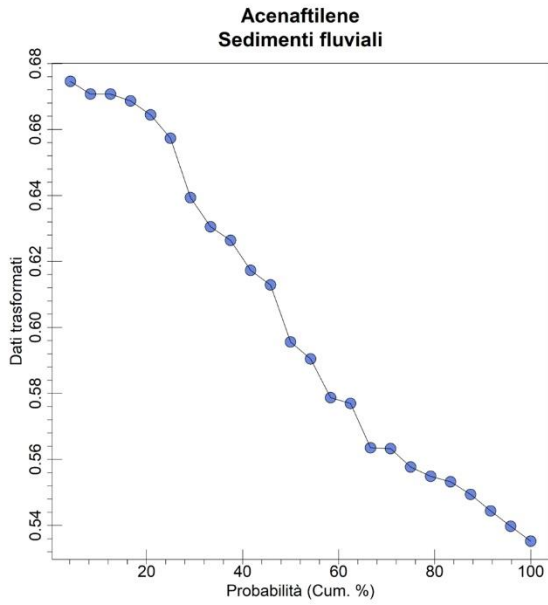
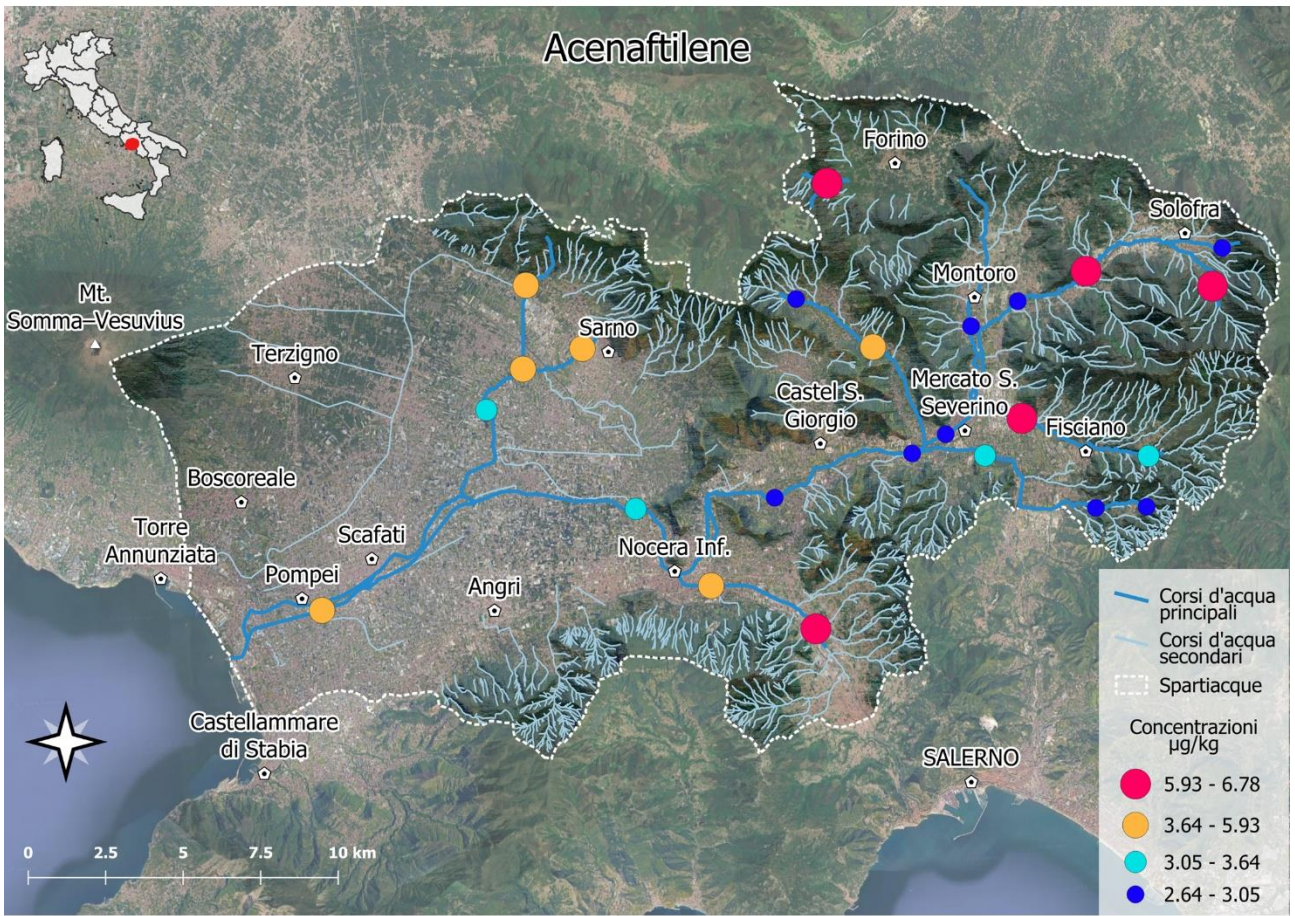
**Benzo(k)fluorantene
Sedimenti fluviali**

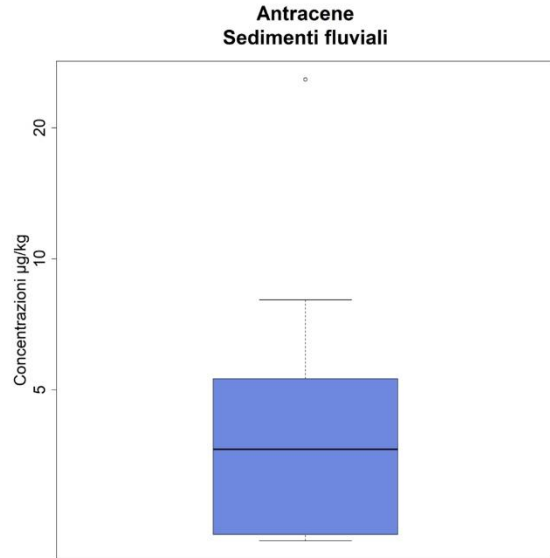
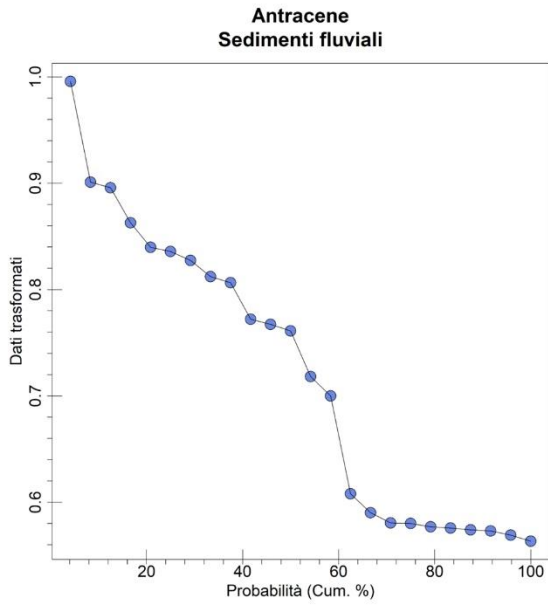
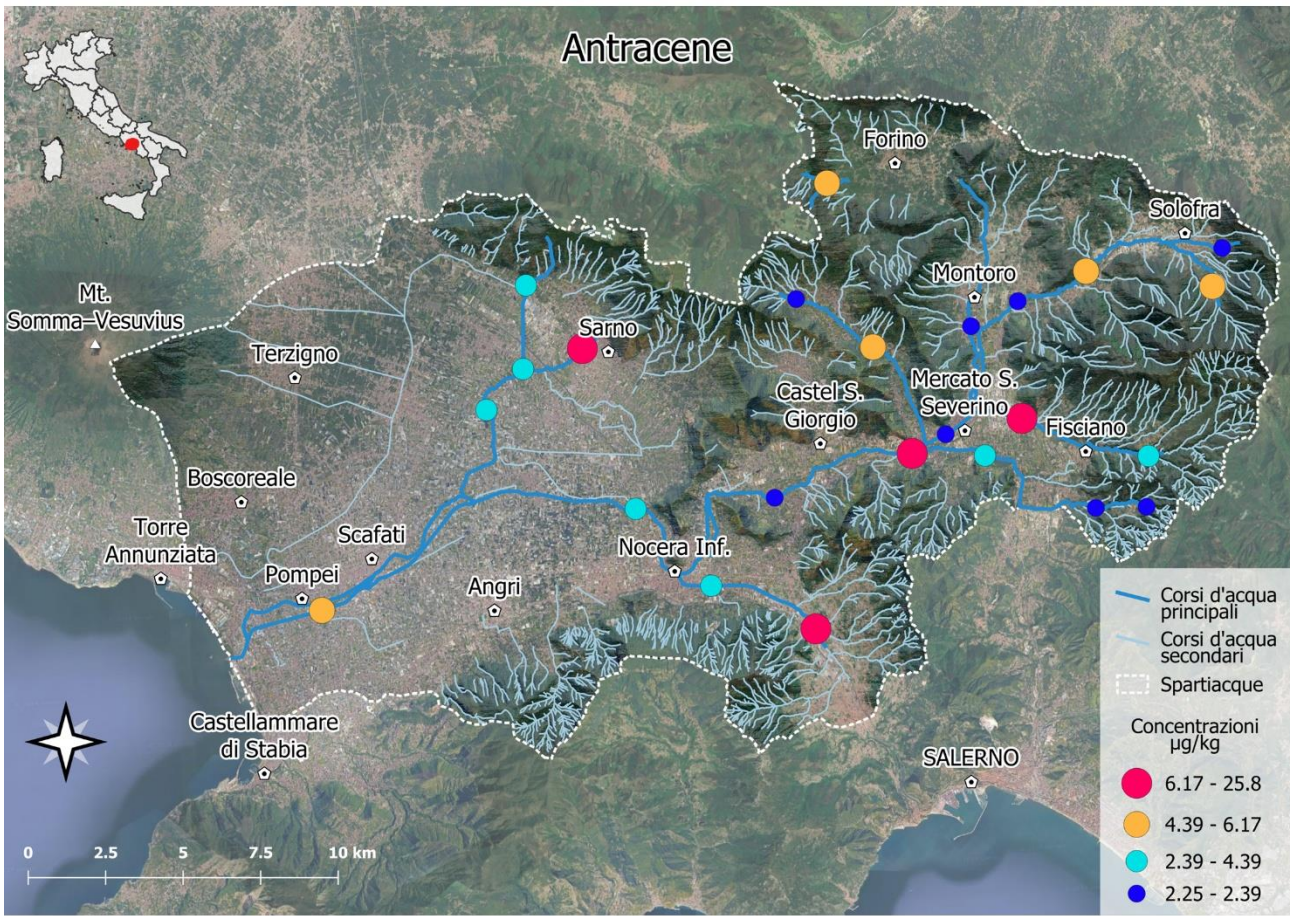


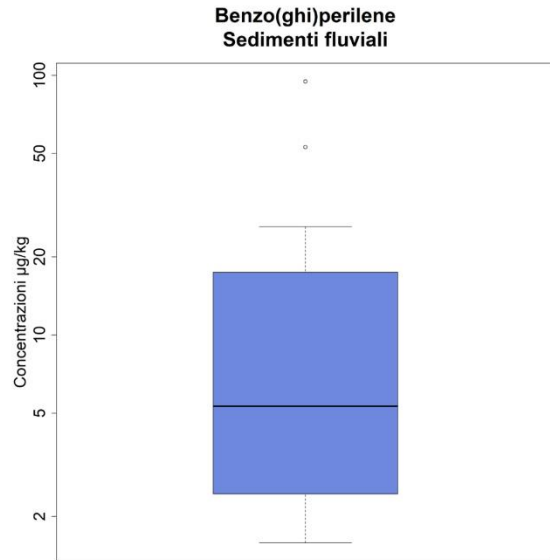
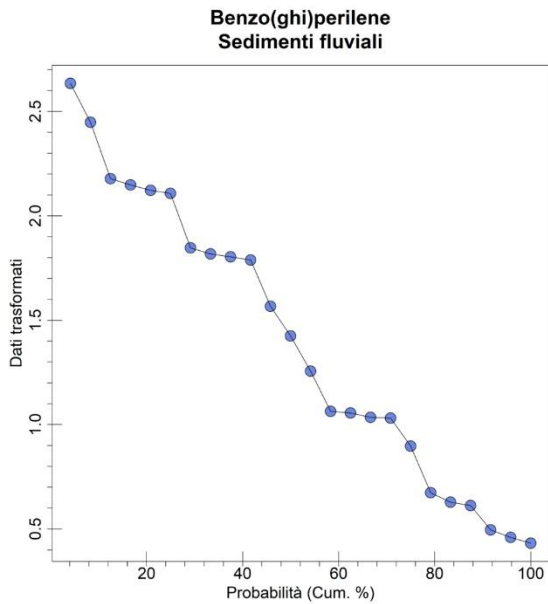
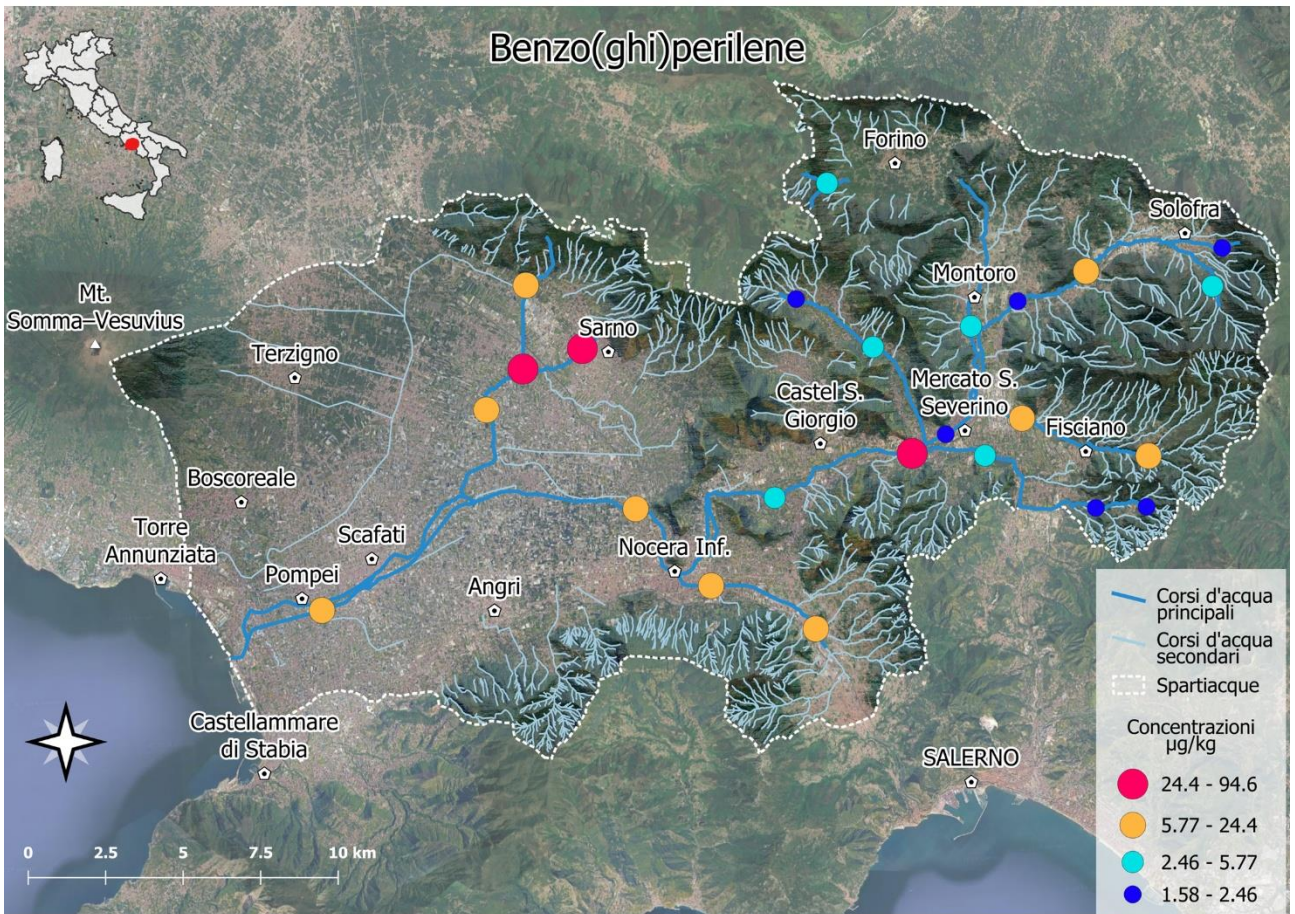
**Benzo(k)fluorantene
Sedimenti fluviali**

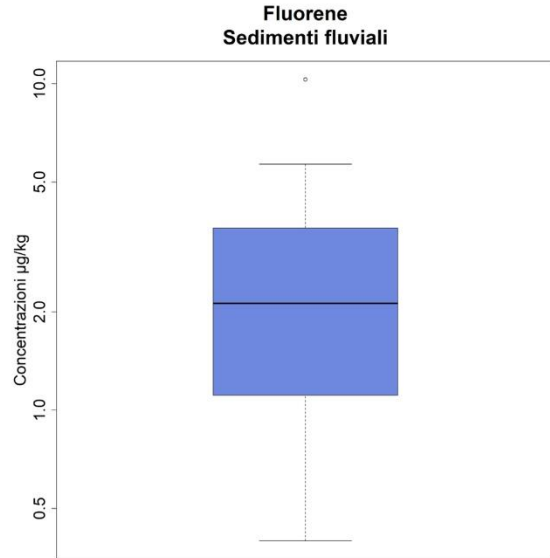
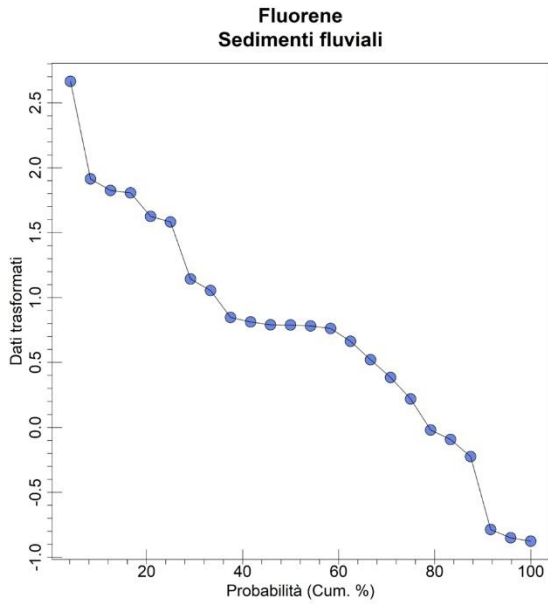
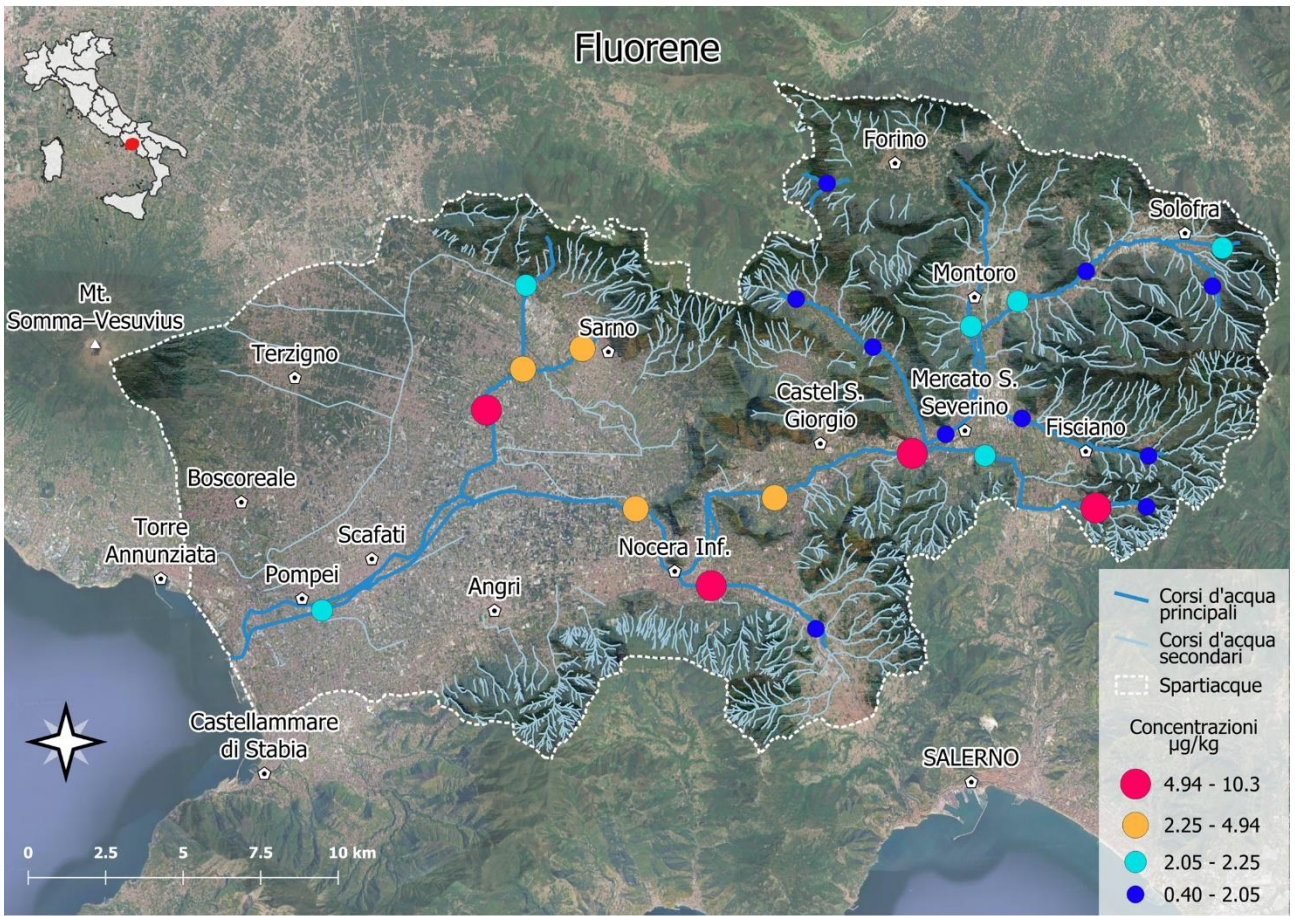


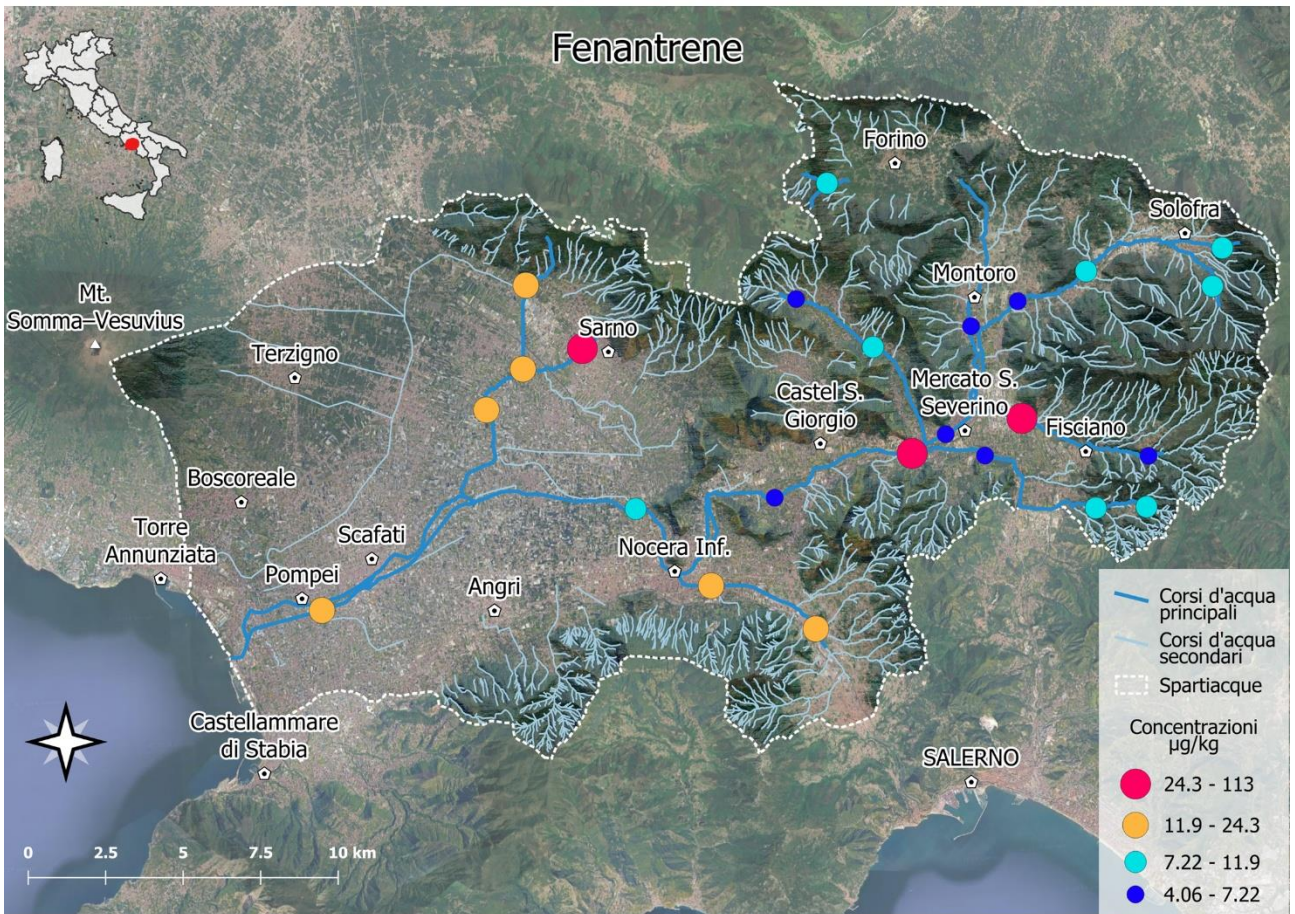




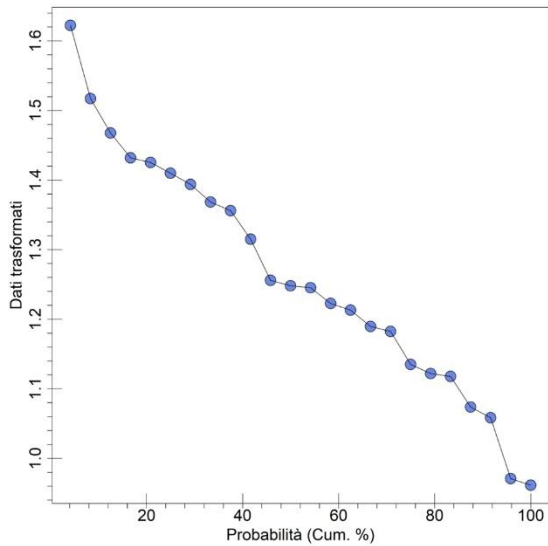




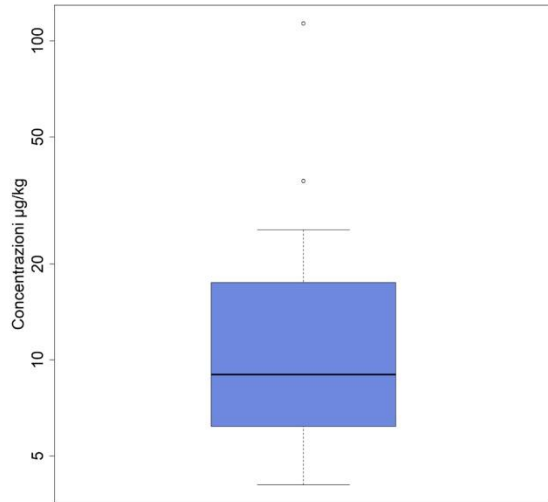


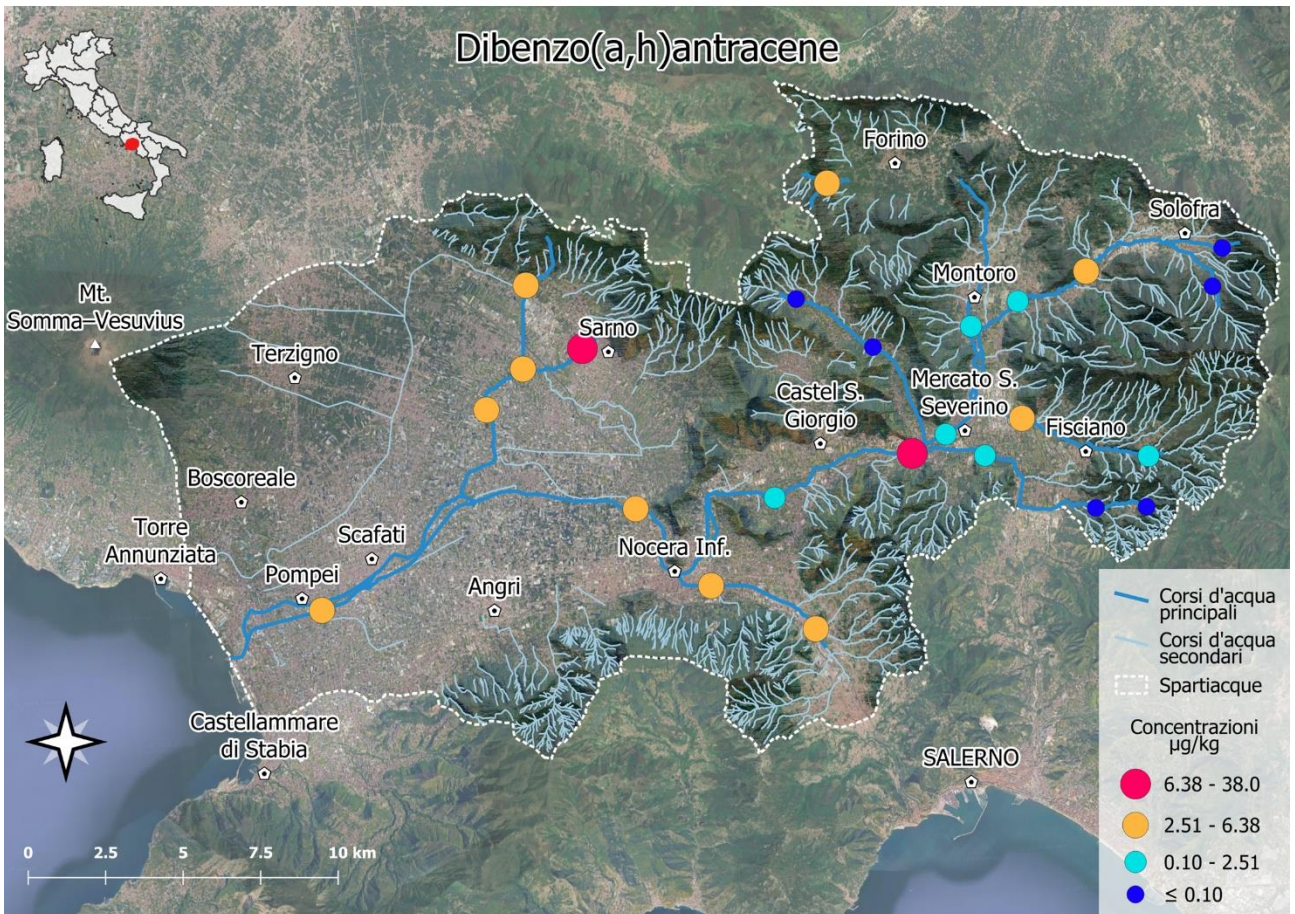


**Fenantrene
Sedimenti fluviali**

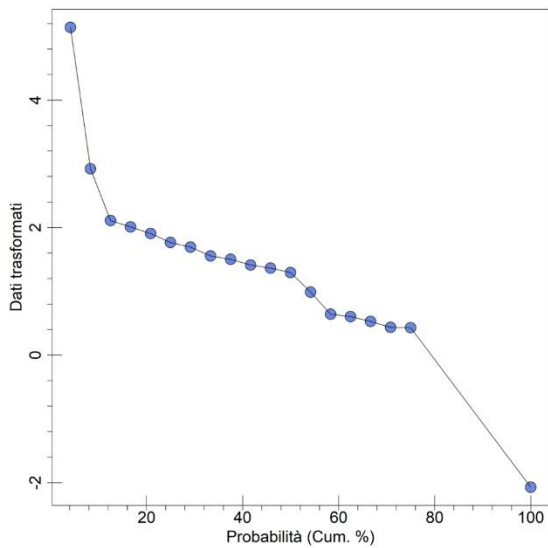


**Fenantrene
Sedimenti fluviali**

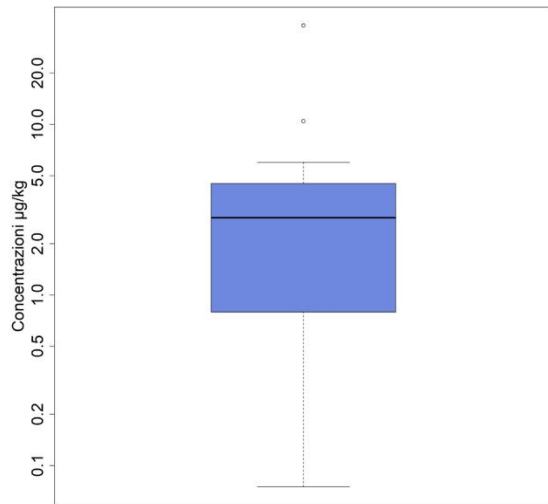


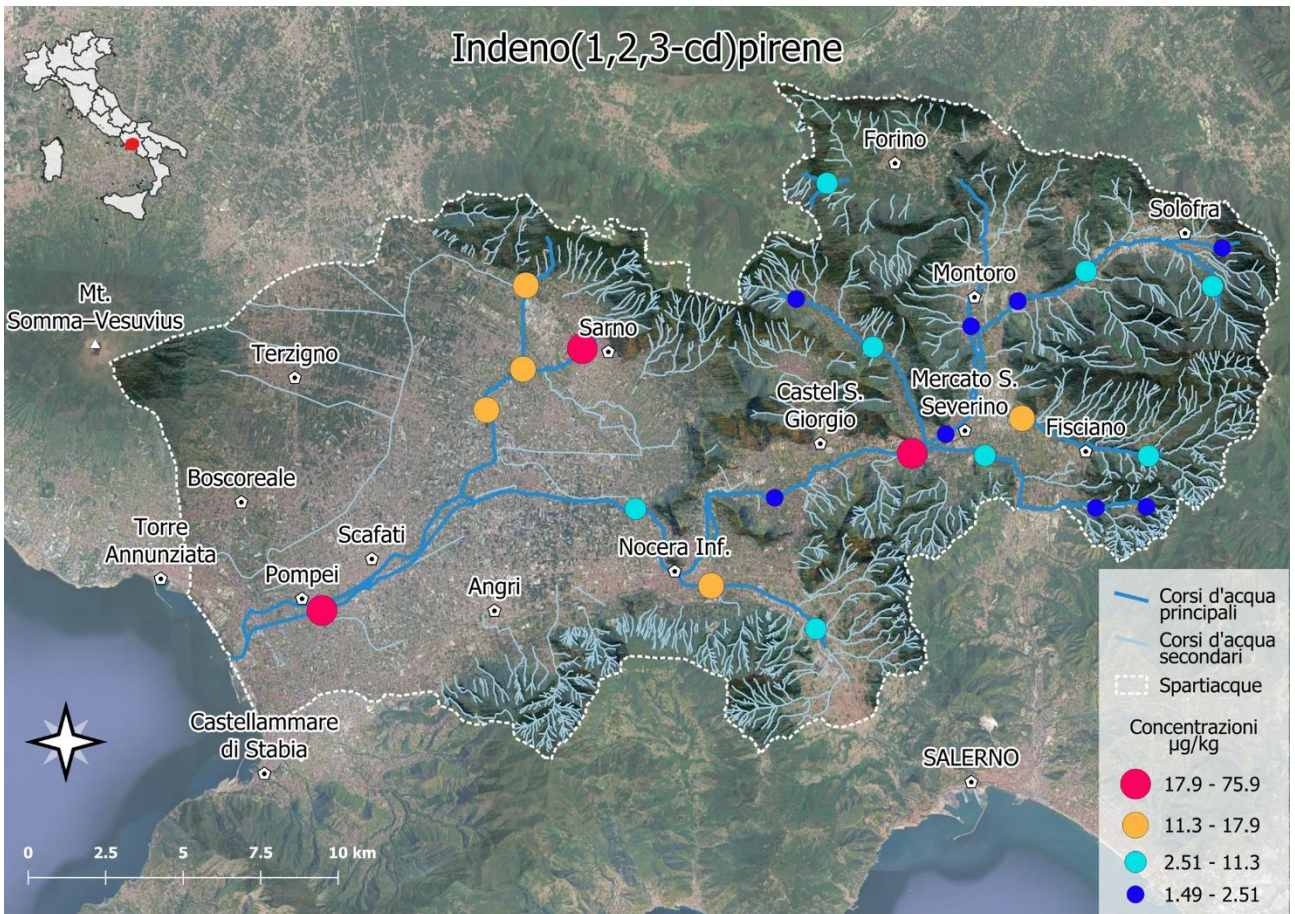


**Dibenzo(a,h)antracene
Sedimenti fluviali**

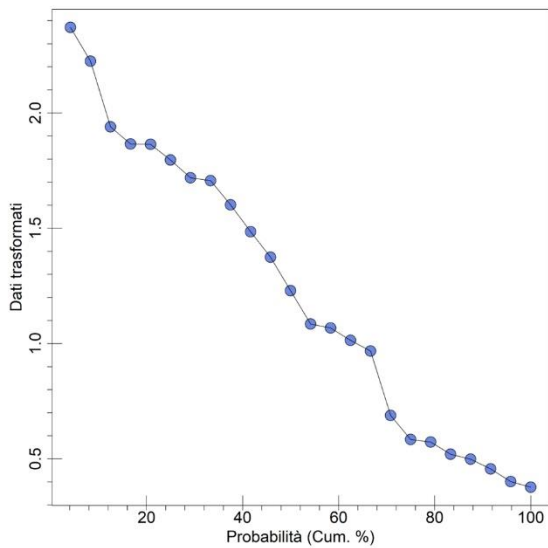


**Dibenzo(a,h)antracene
Sedimenti fluviali**

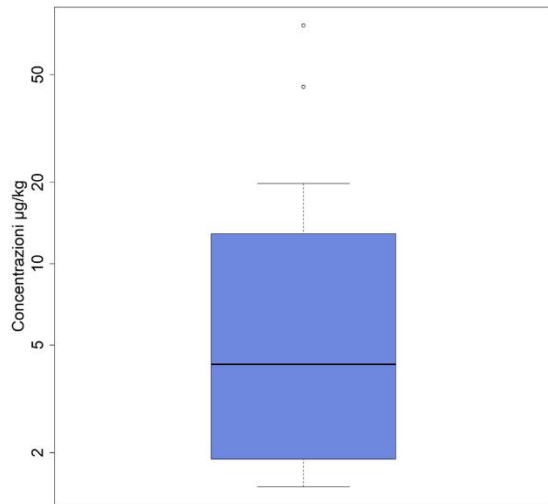


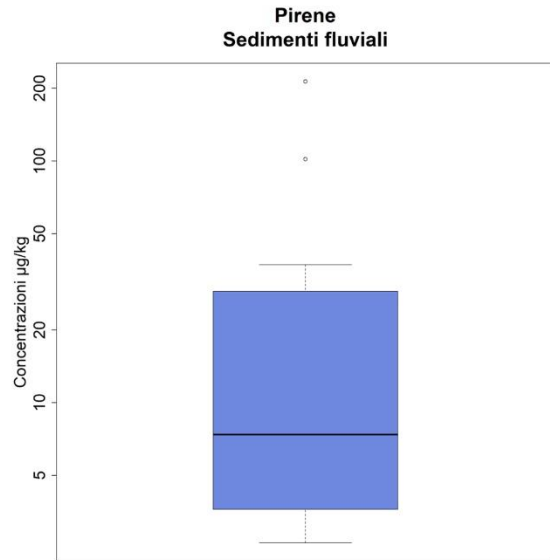
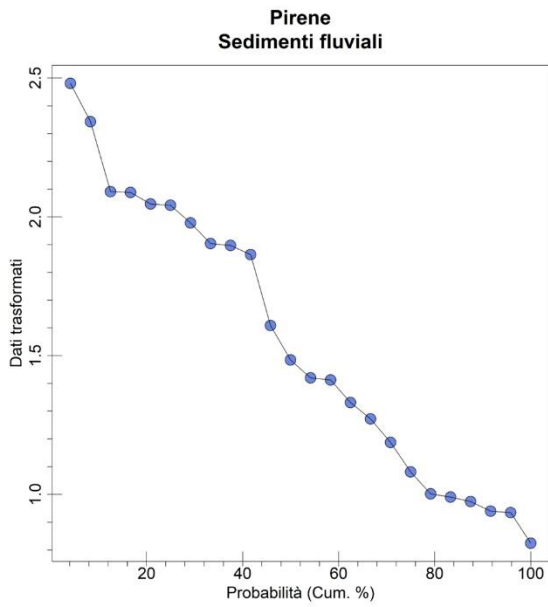
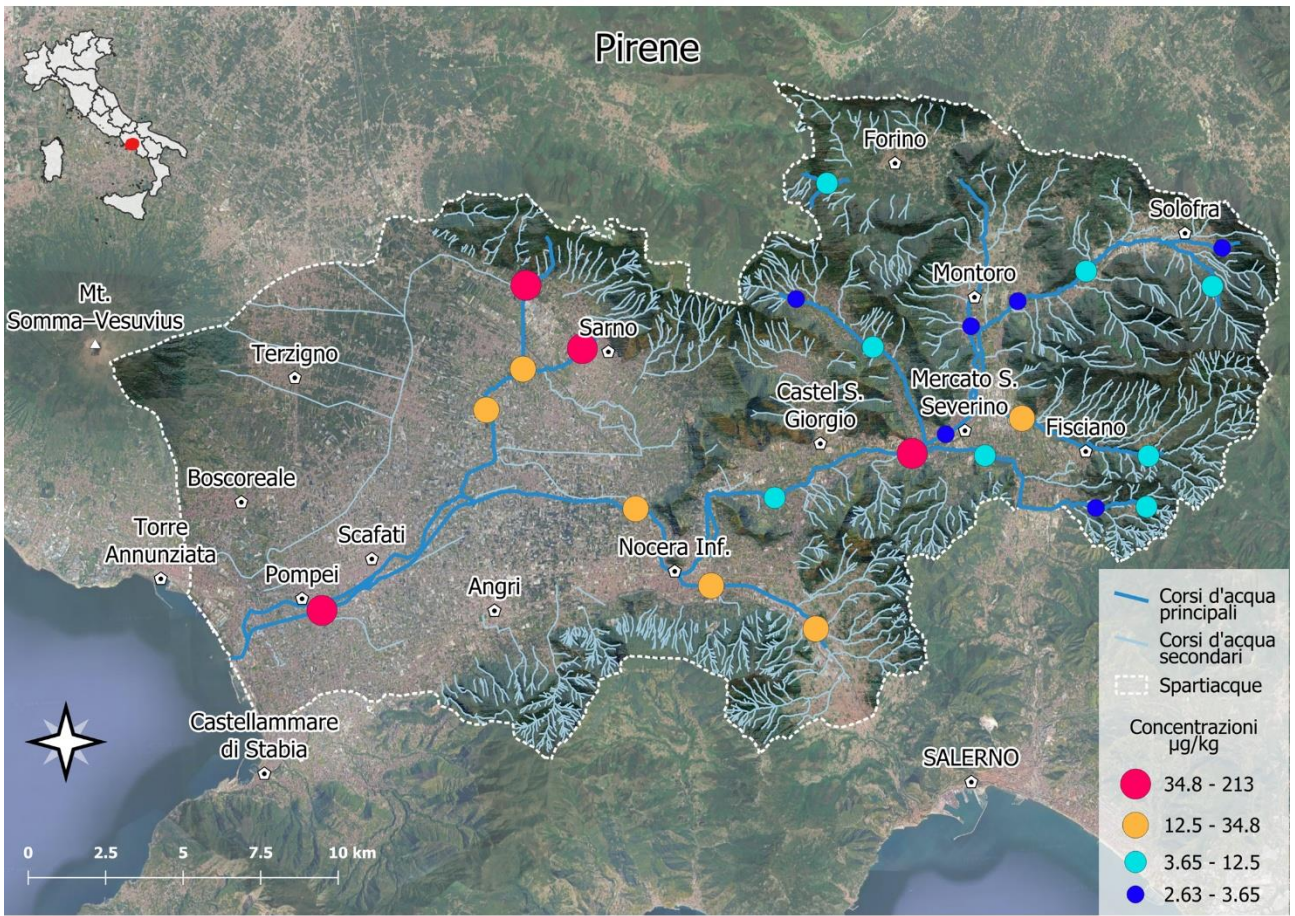


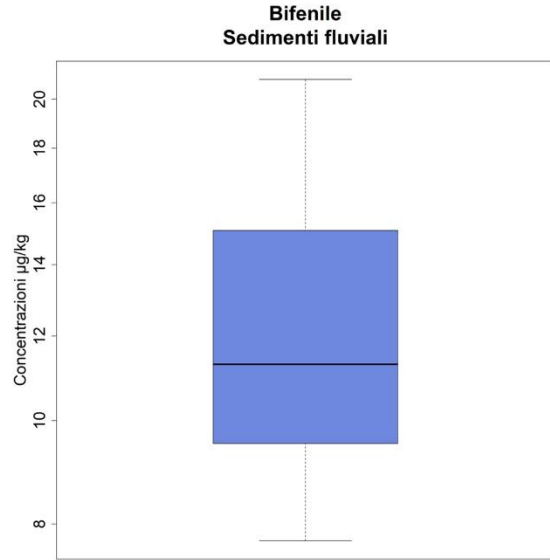
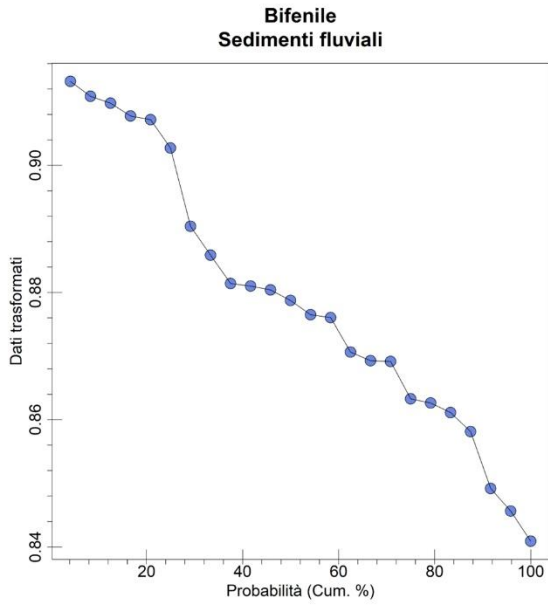
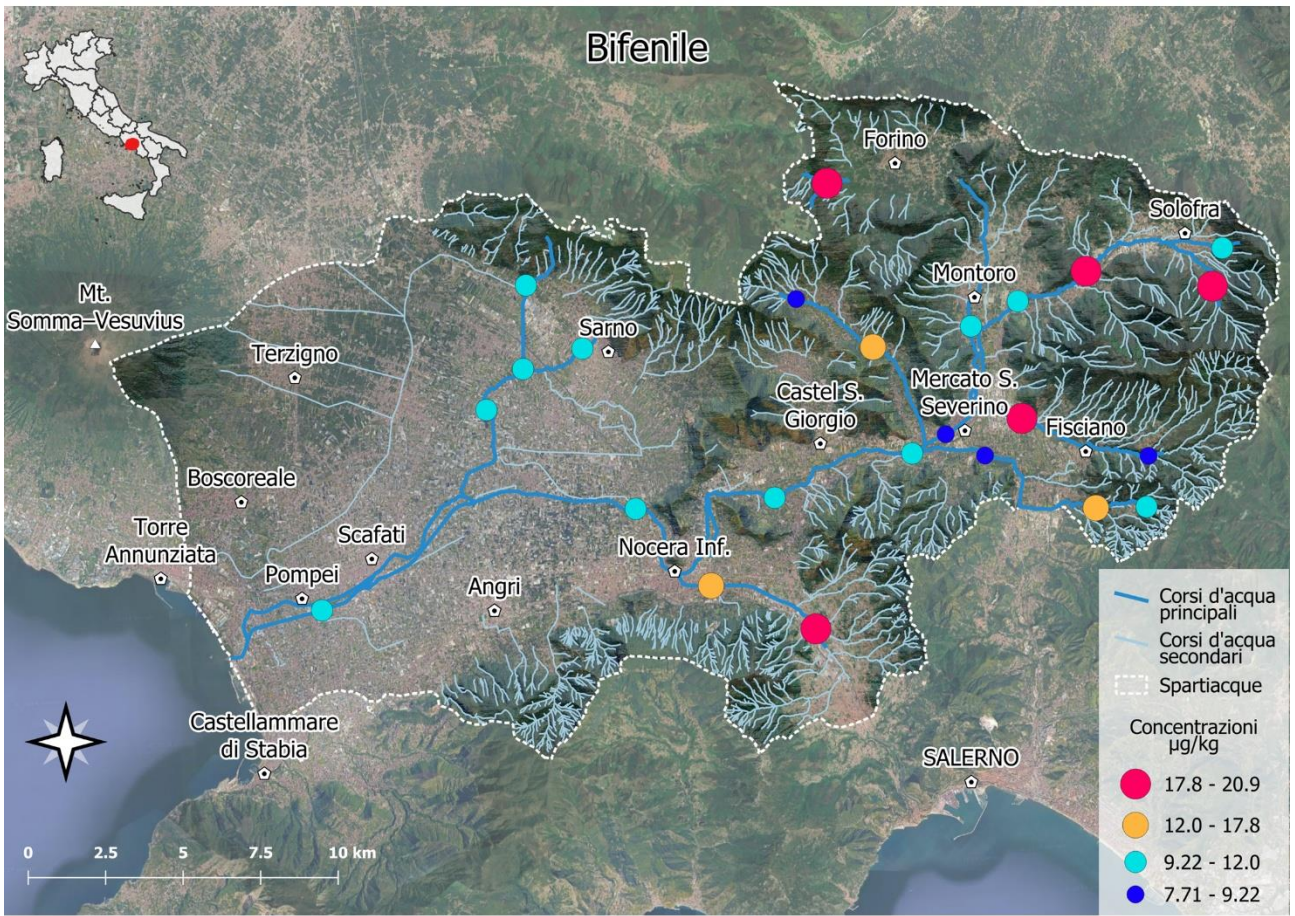
**Indeno(1,2,3-cd)pirene
Sedimenti fluviali**

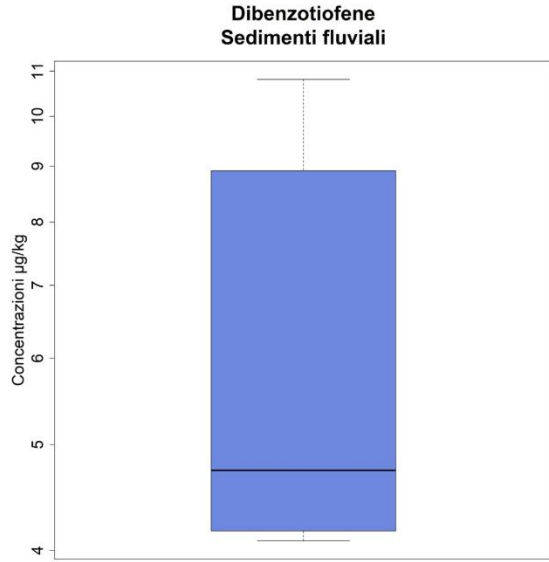
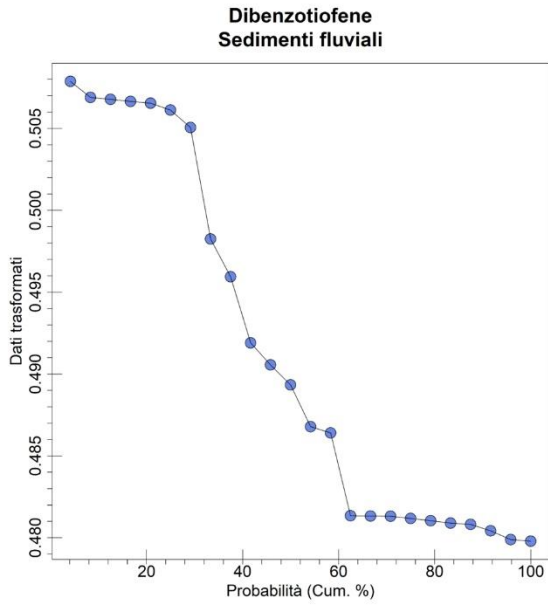
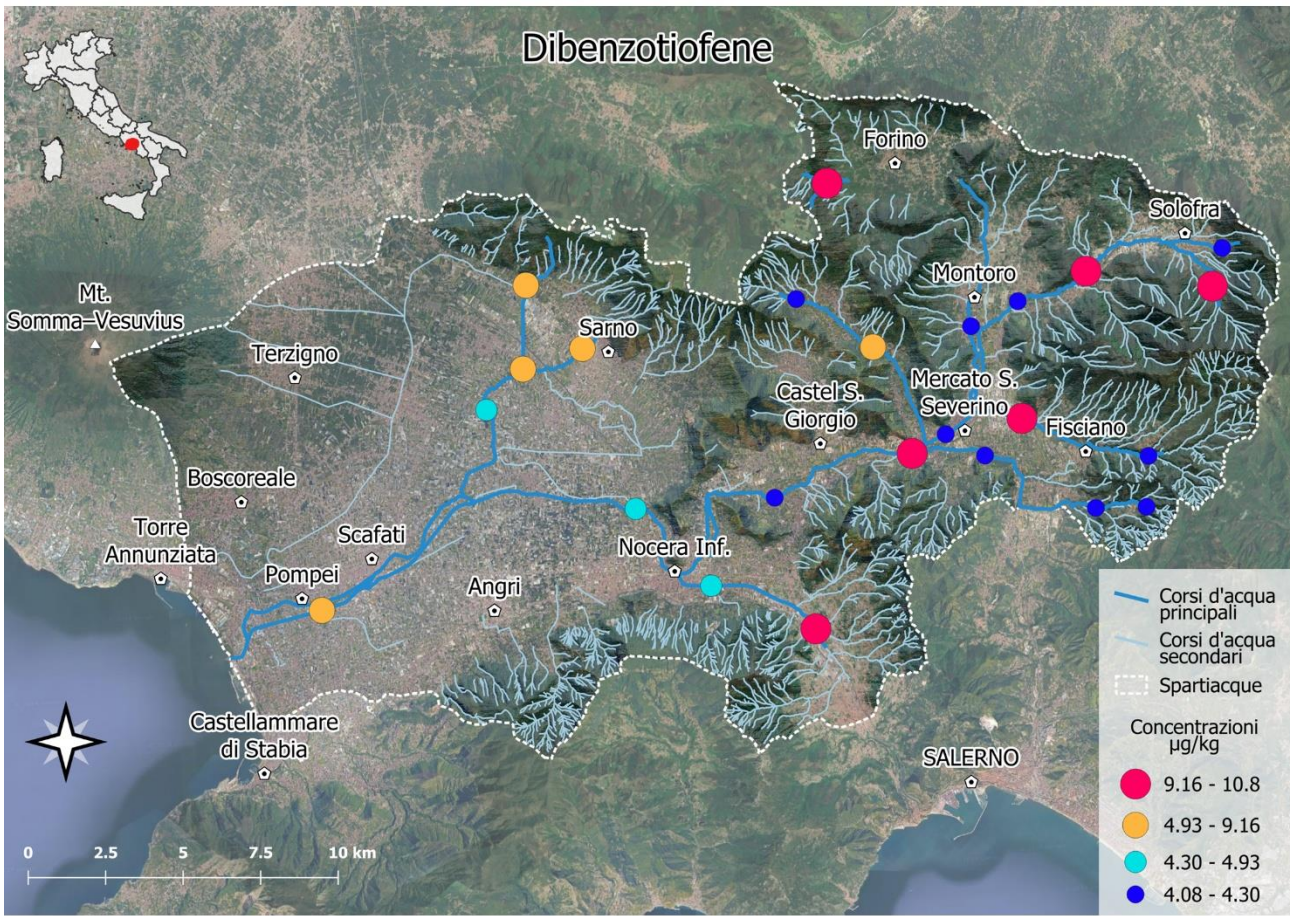


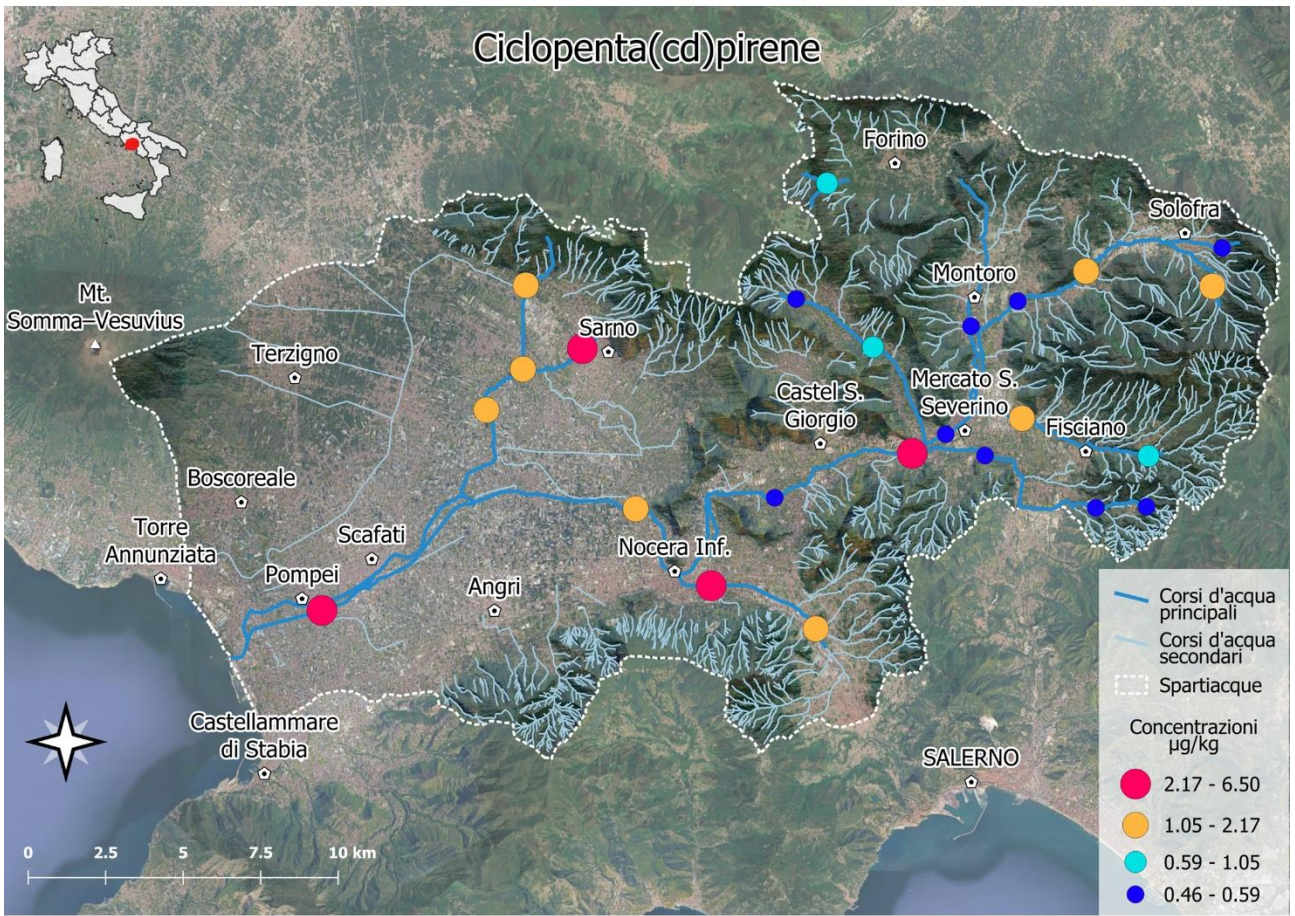
**Indeno(1,2,3-cd)pirene
Sedimenti fluviali**



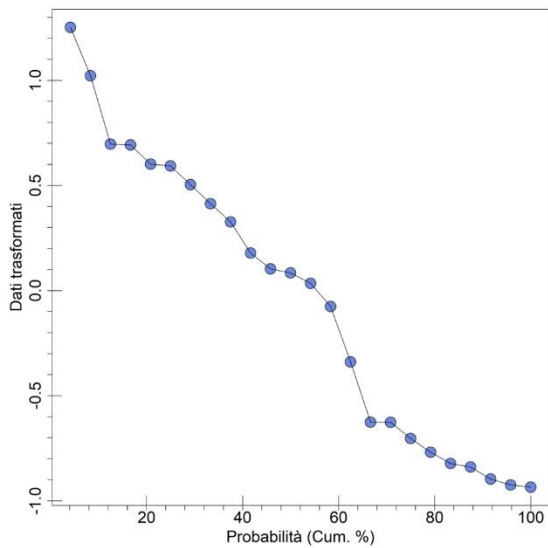




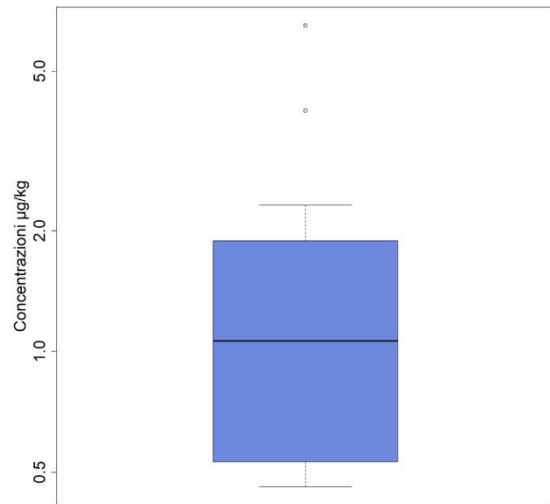




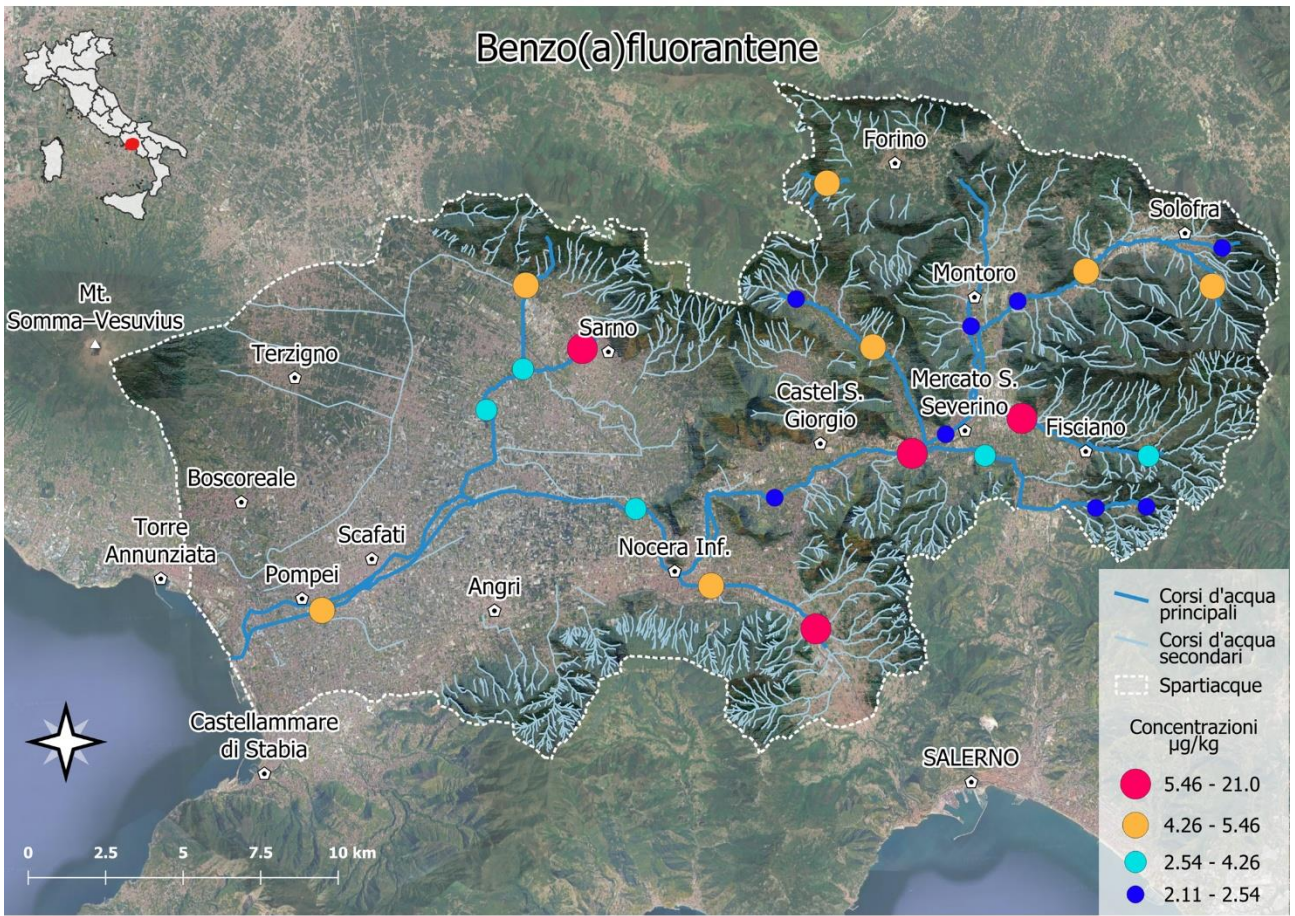
**Ciclopenta(cd)pirene
Sedimenti fluviali**



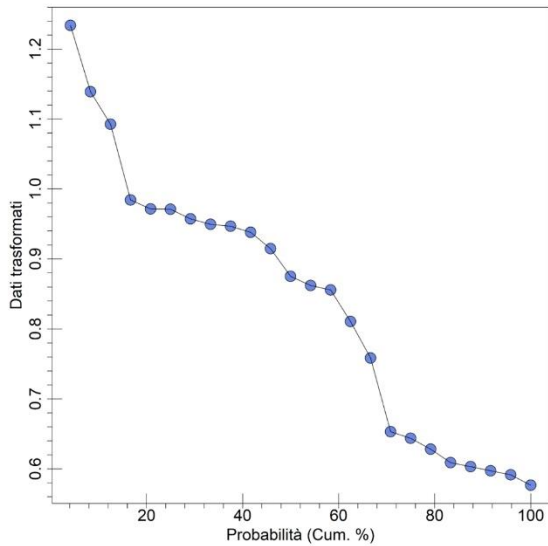
**Ciclopenta(cd)pirene
Sedimenti fluviali**



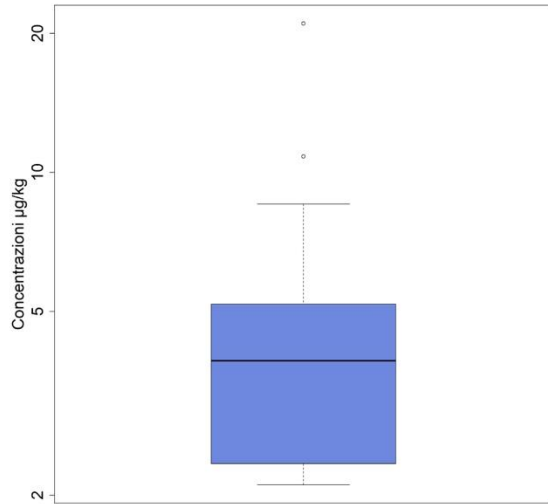


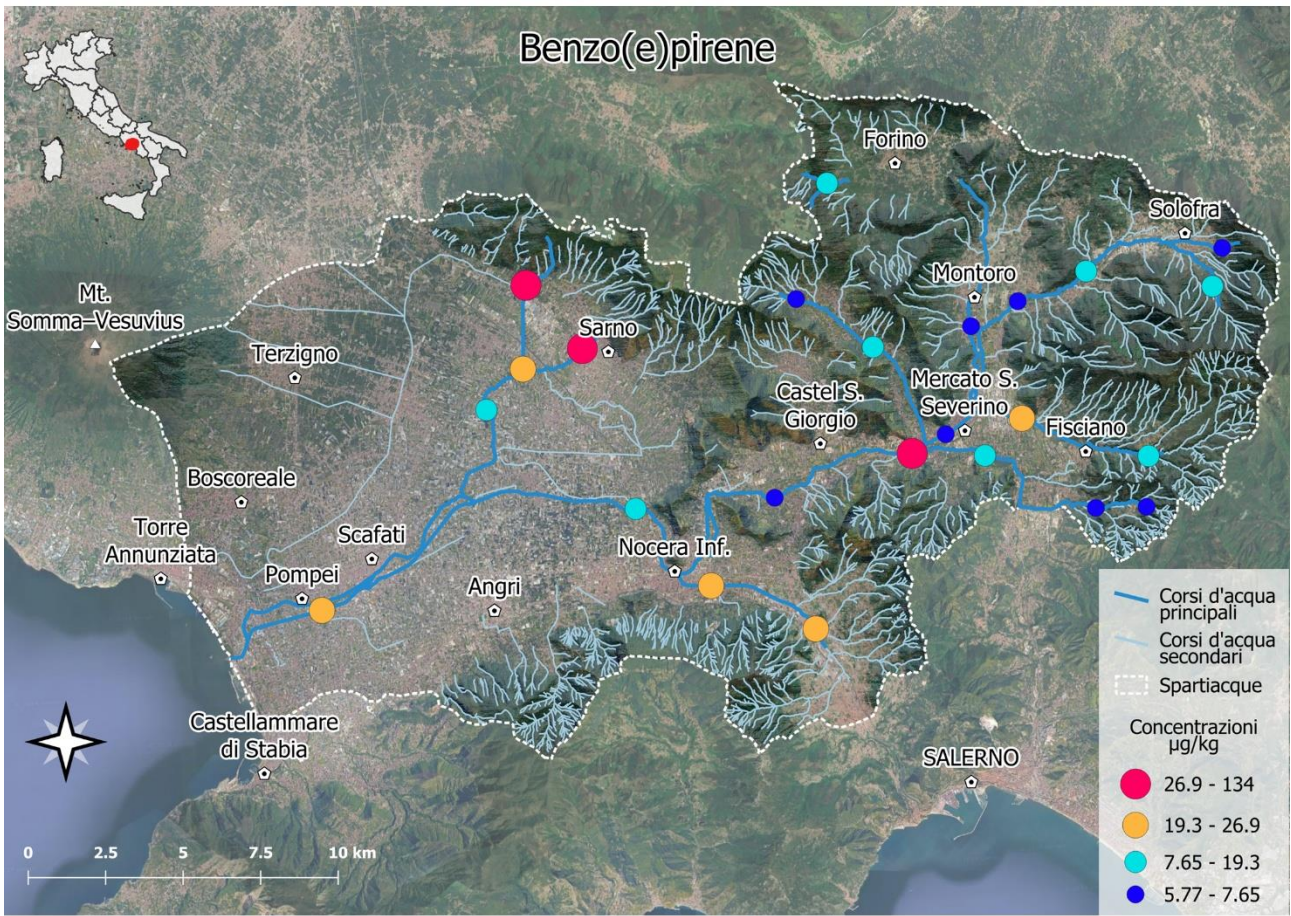


**Benzo(a)fluorantene
Sedimenti fluviali**

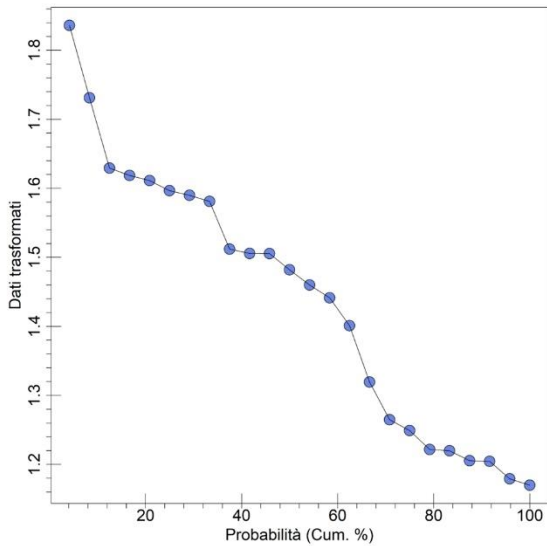


**Benzo(a)fluorantene
Sedimenti fluviali**

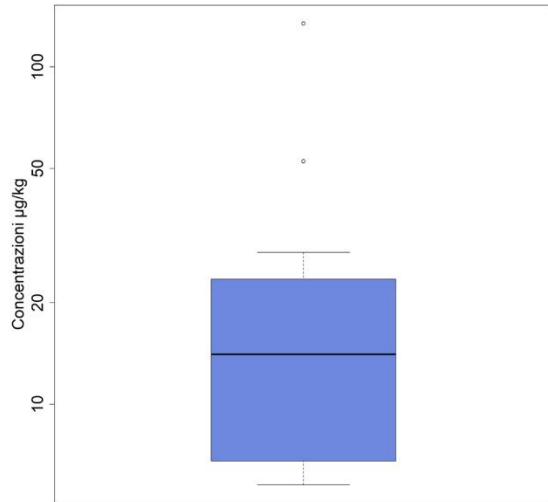


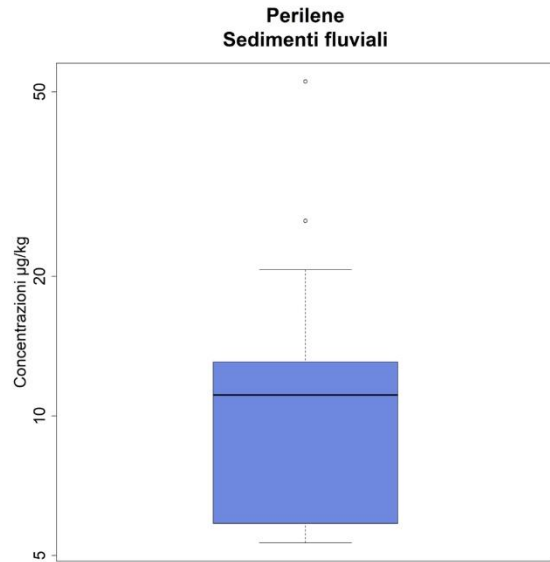
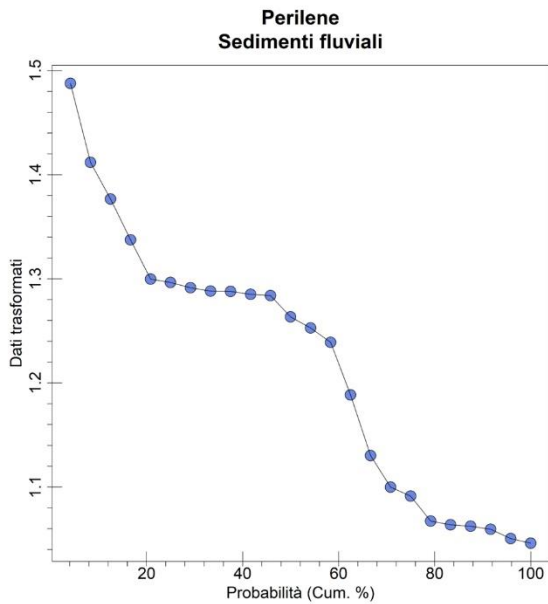
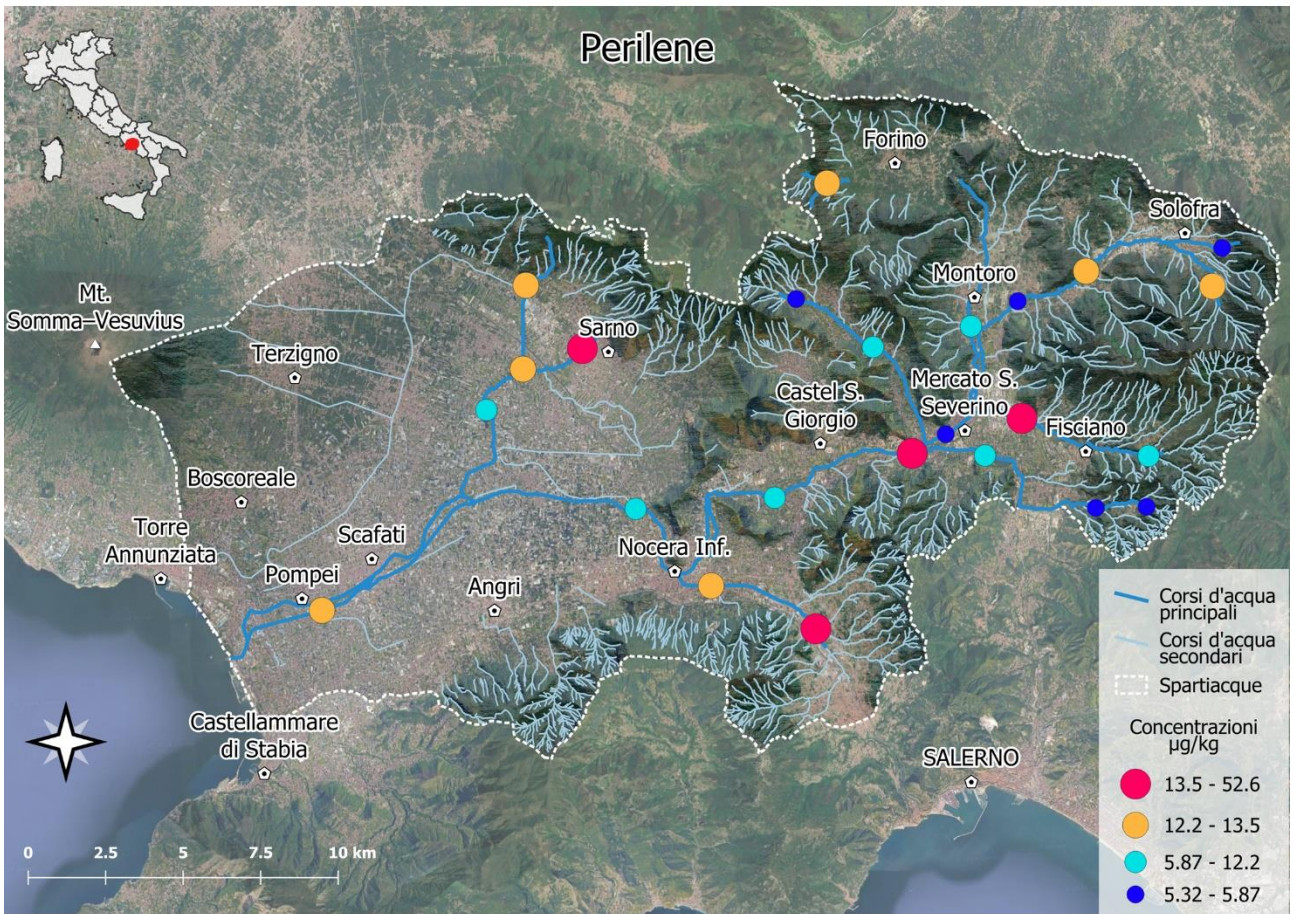


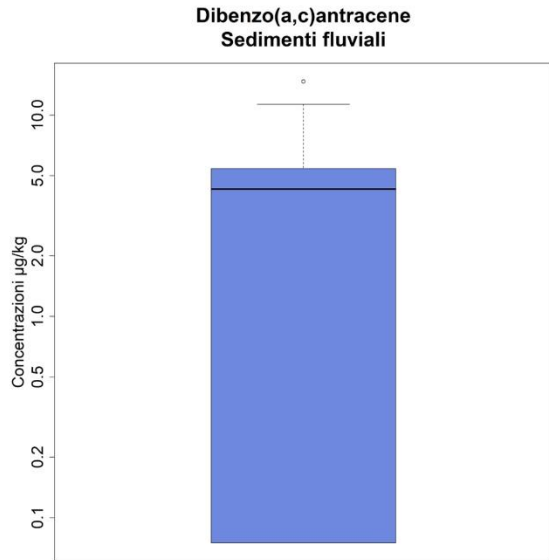
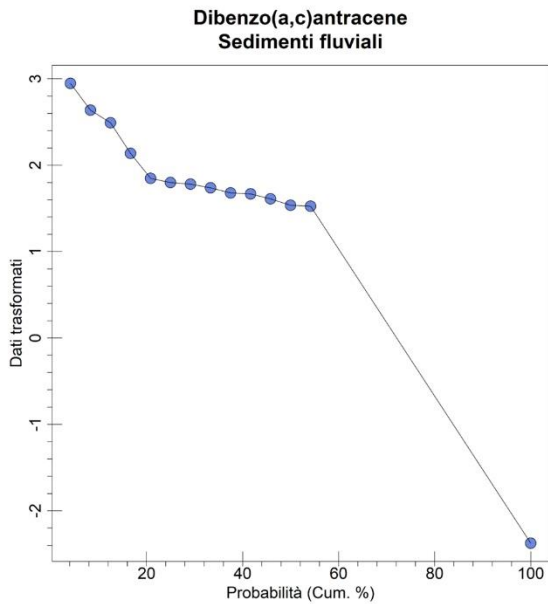
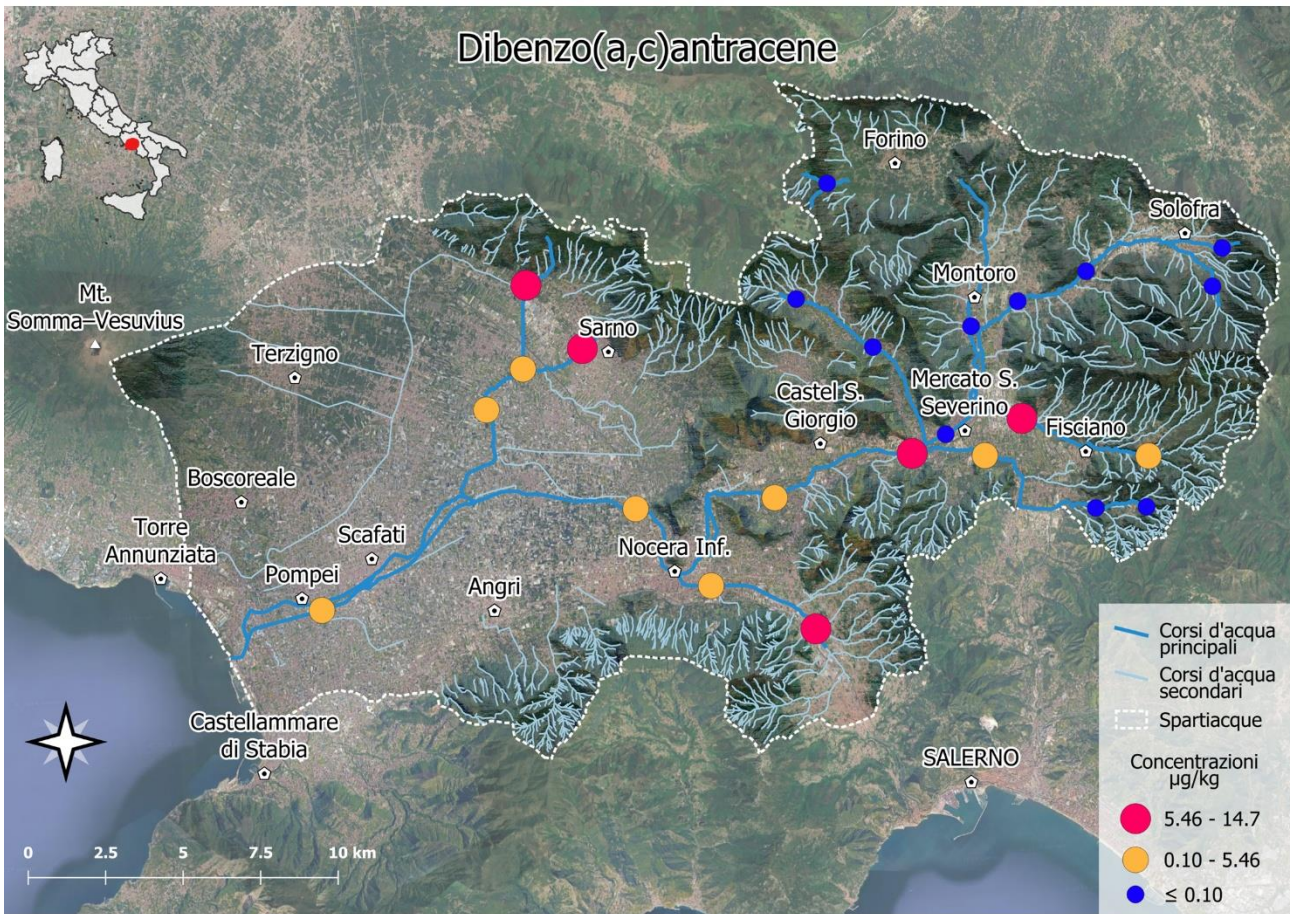
**Benzo(e)pirene
Sedimenti fluviali**

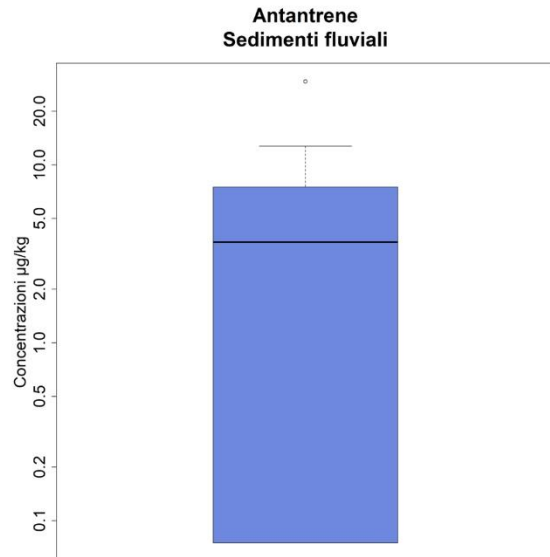
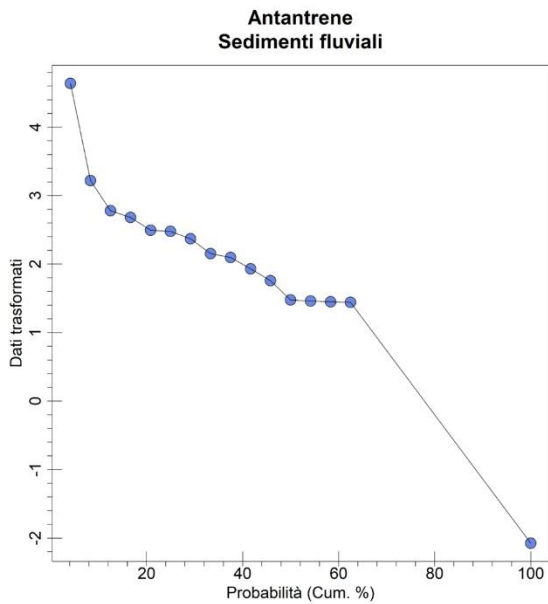
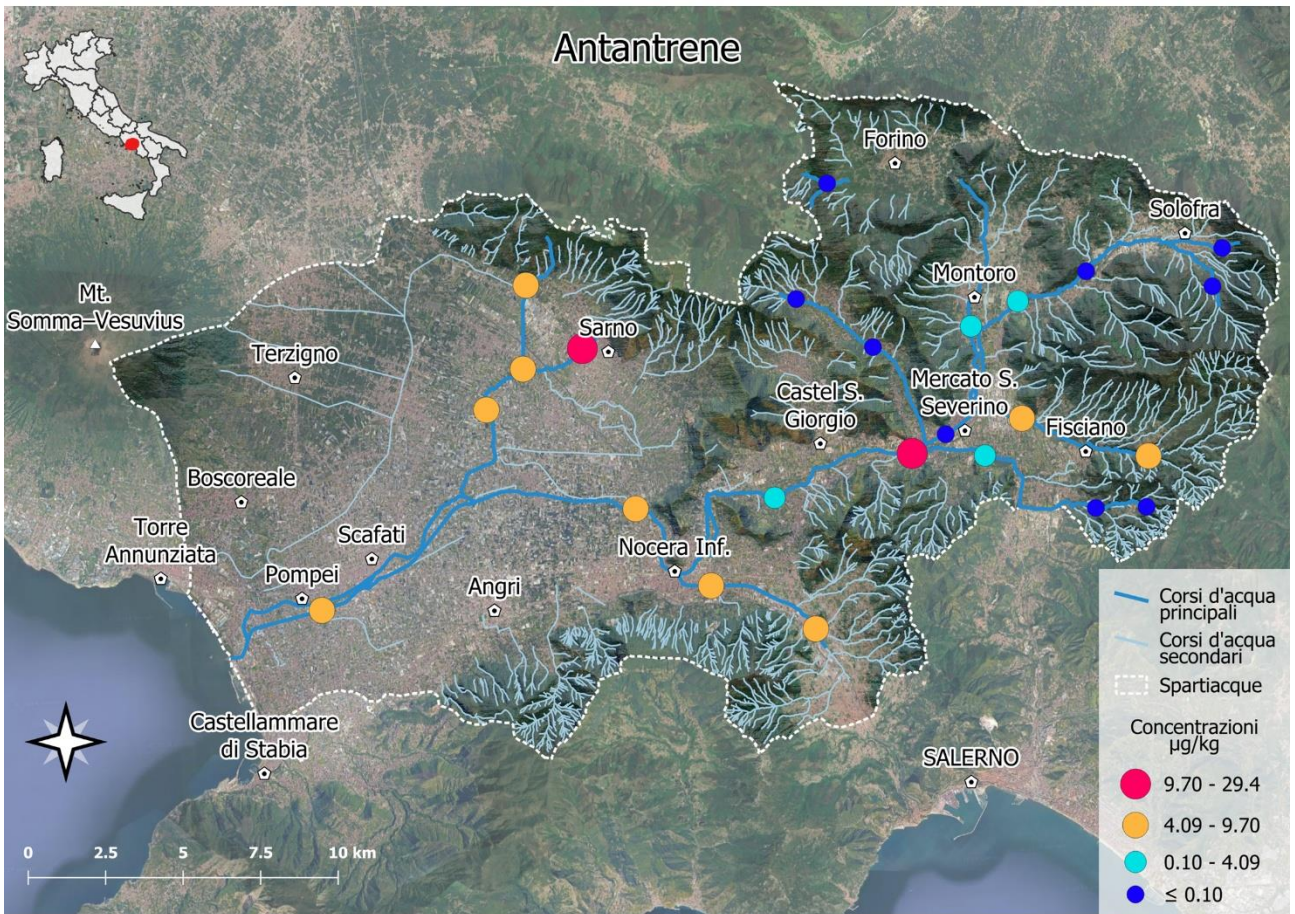


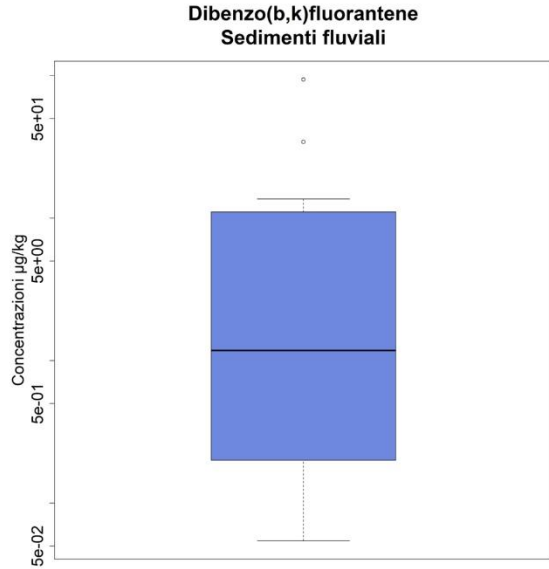
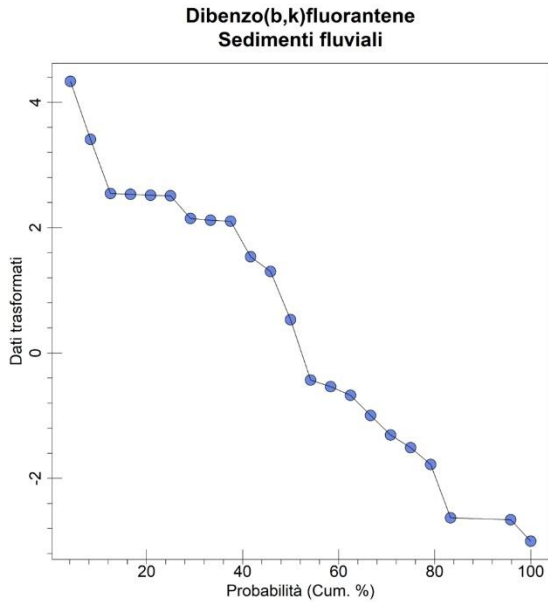
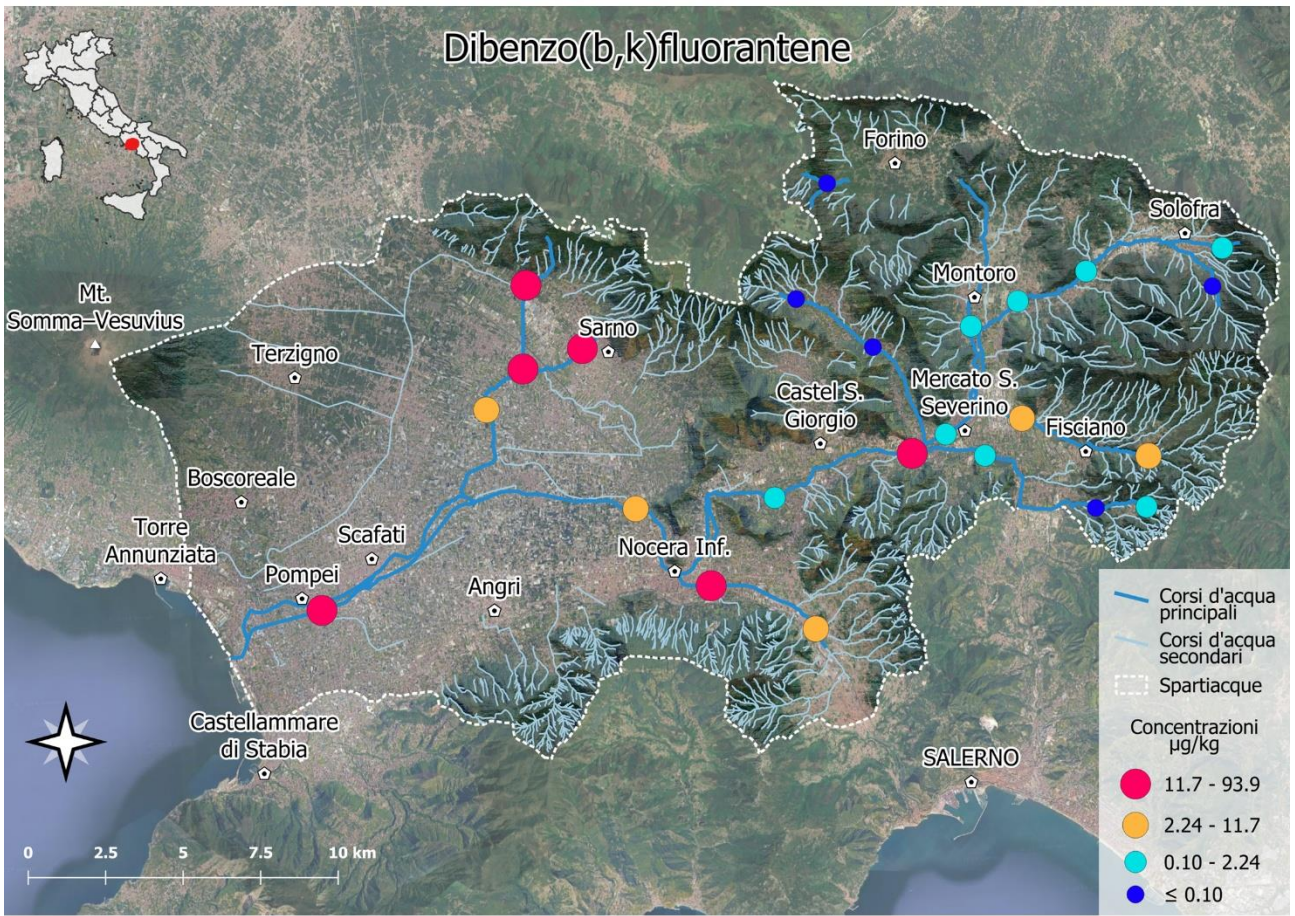
**Benzo(e)pirene
Sedimenti fluviali**

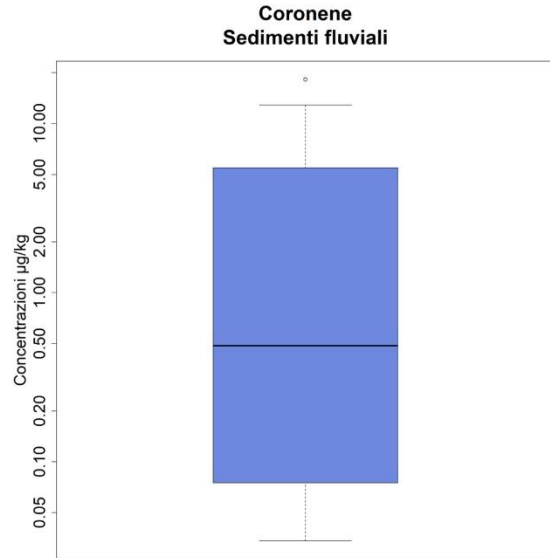
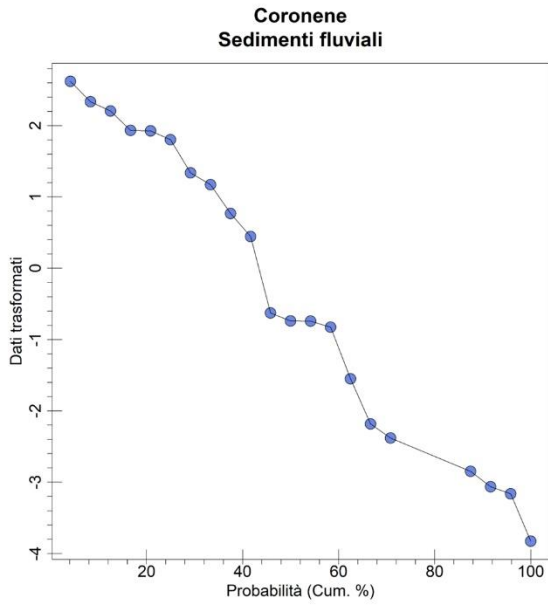
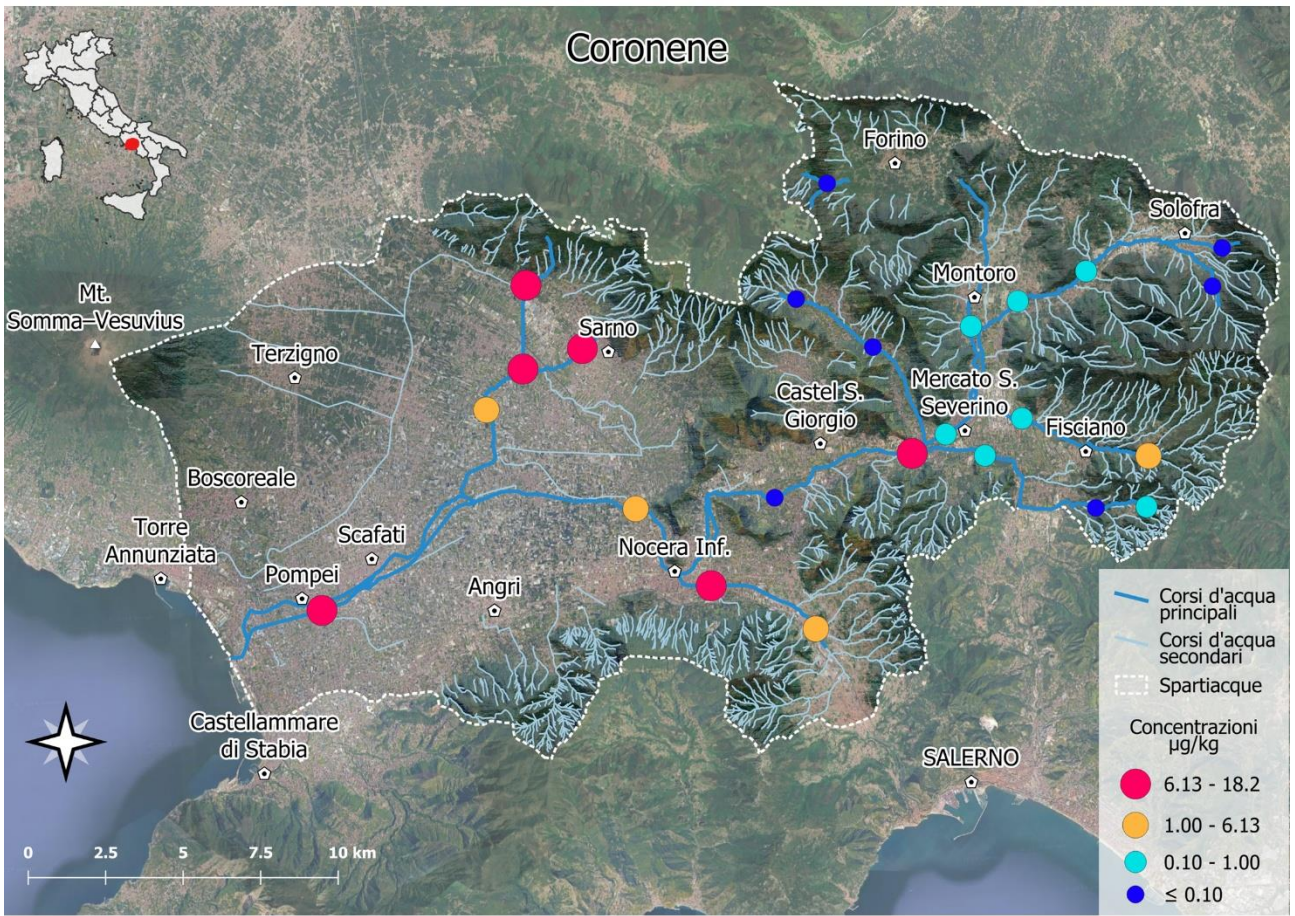










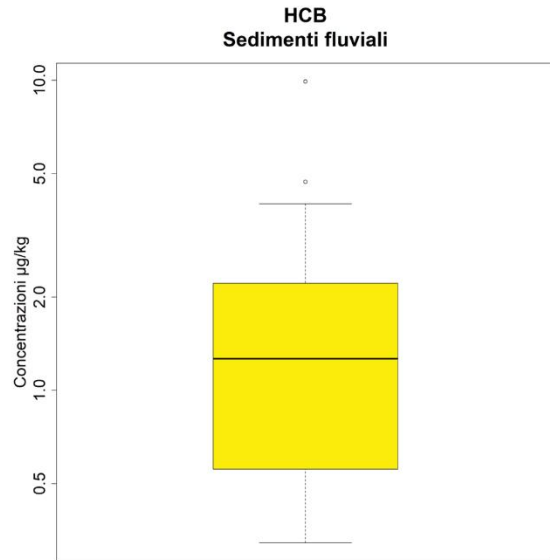
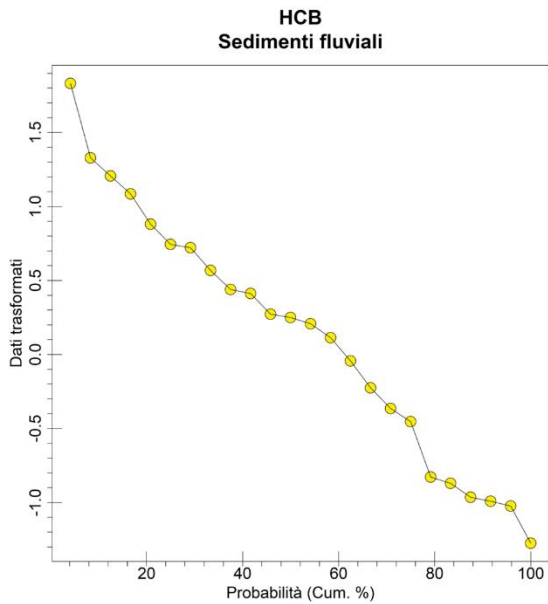
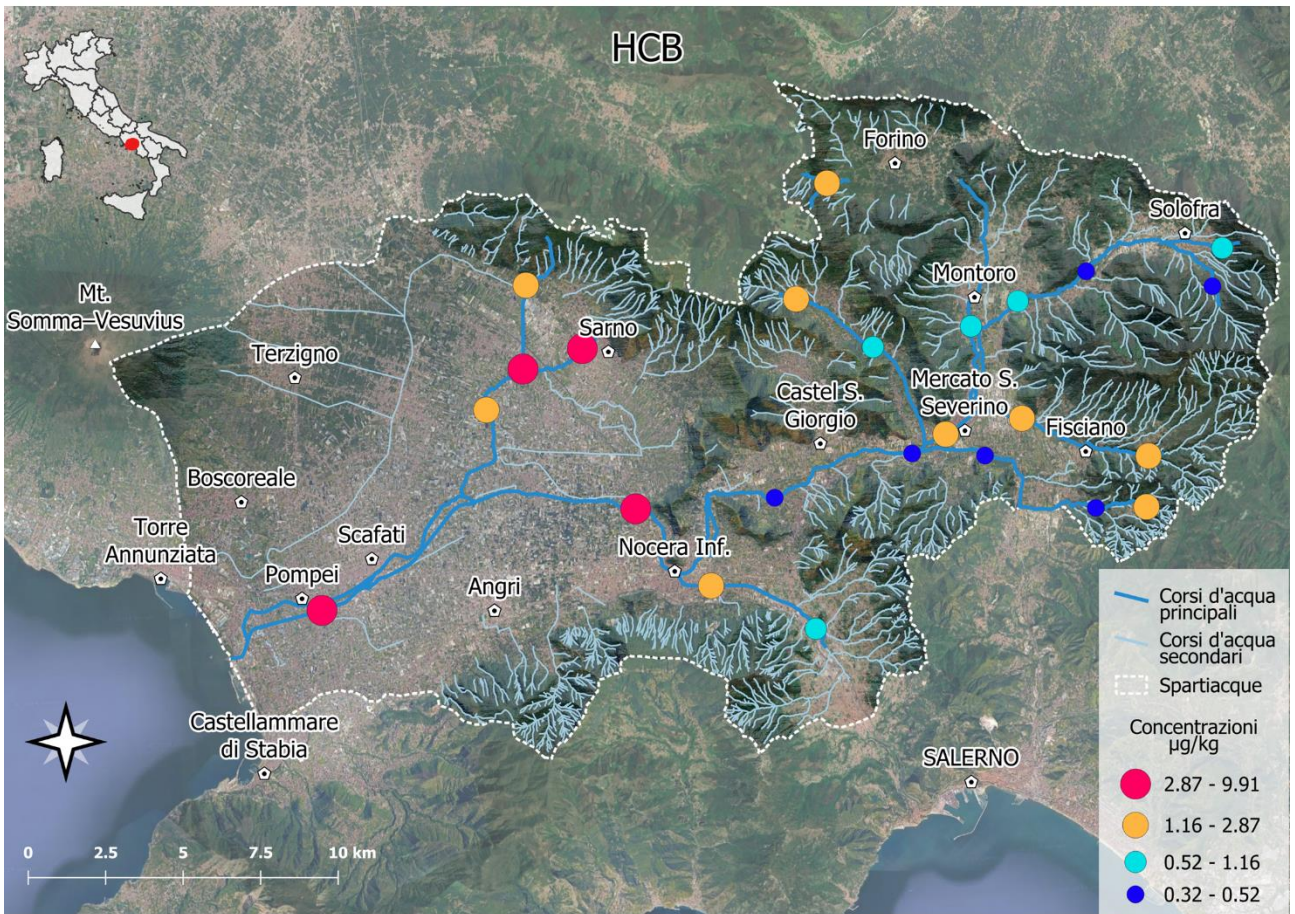


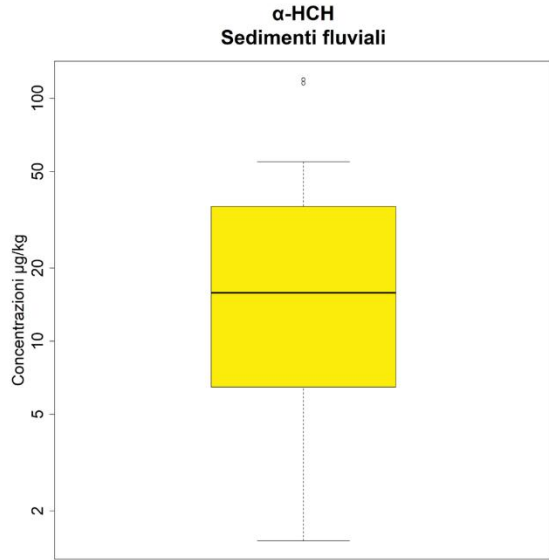
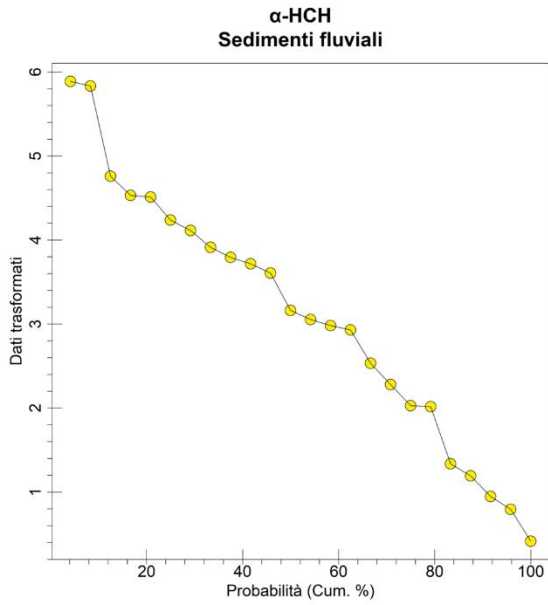
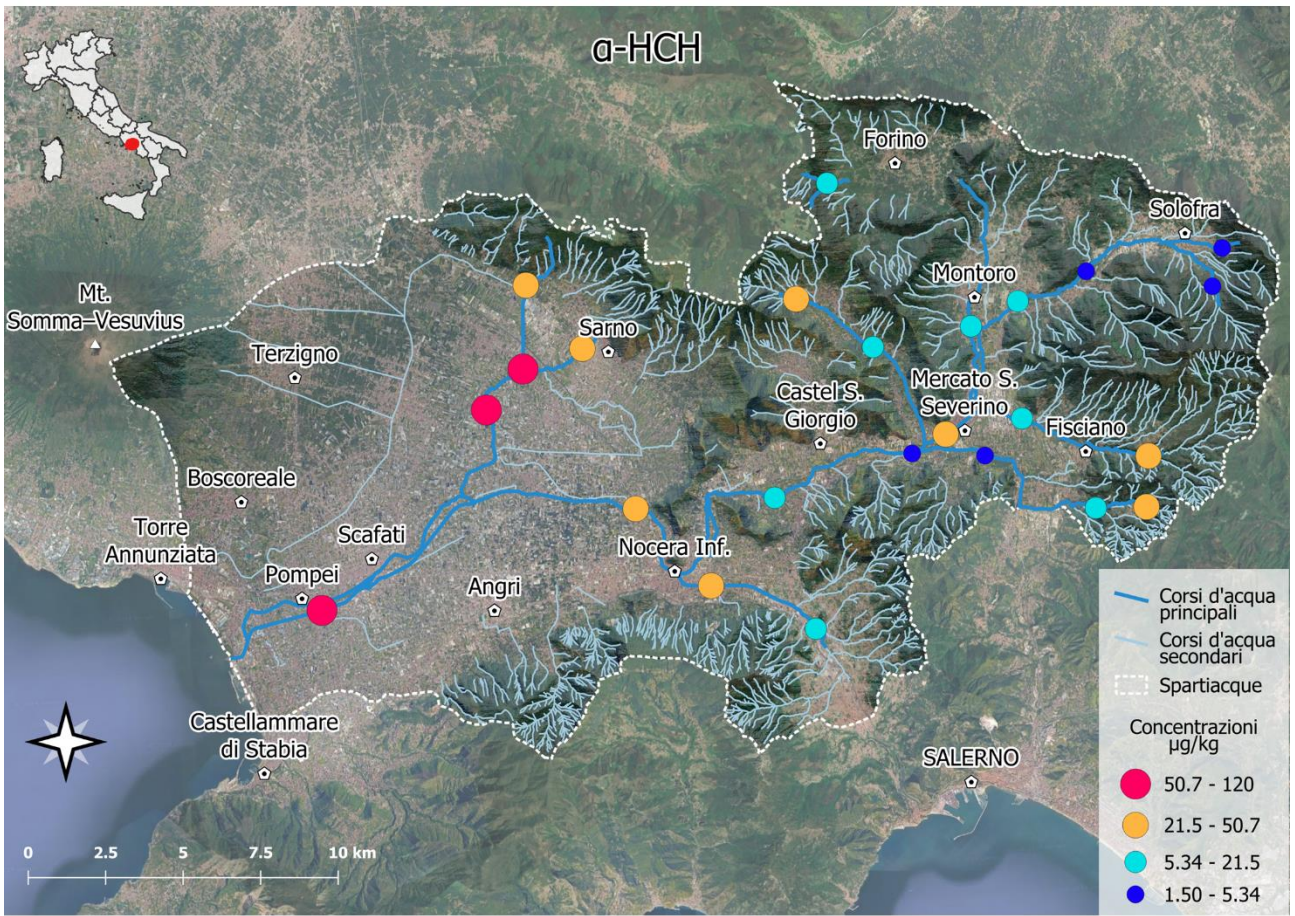


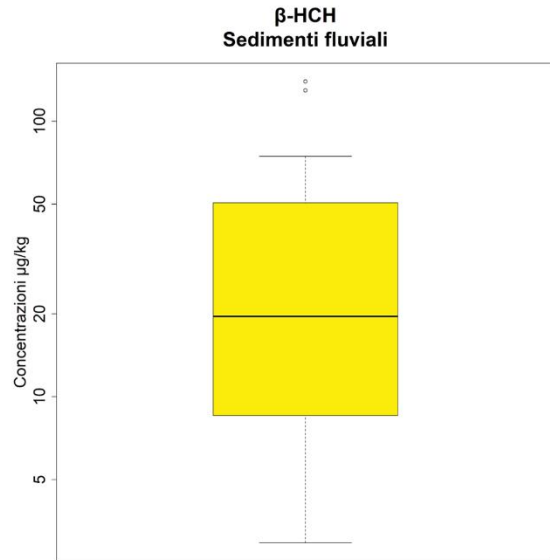
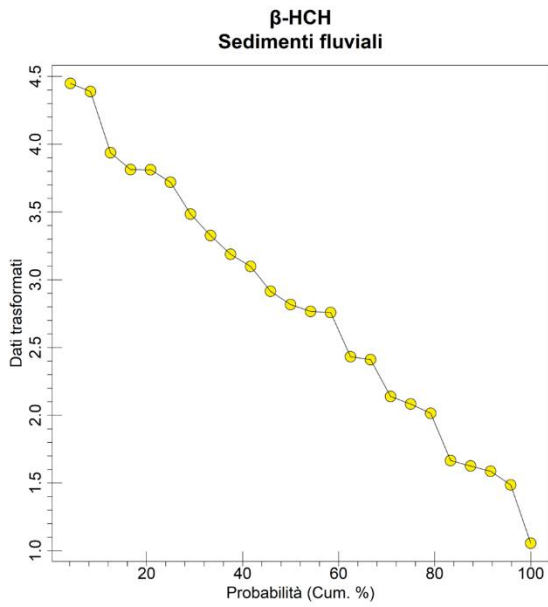
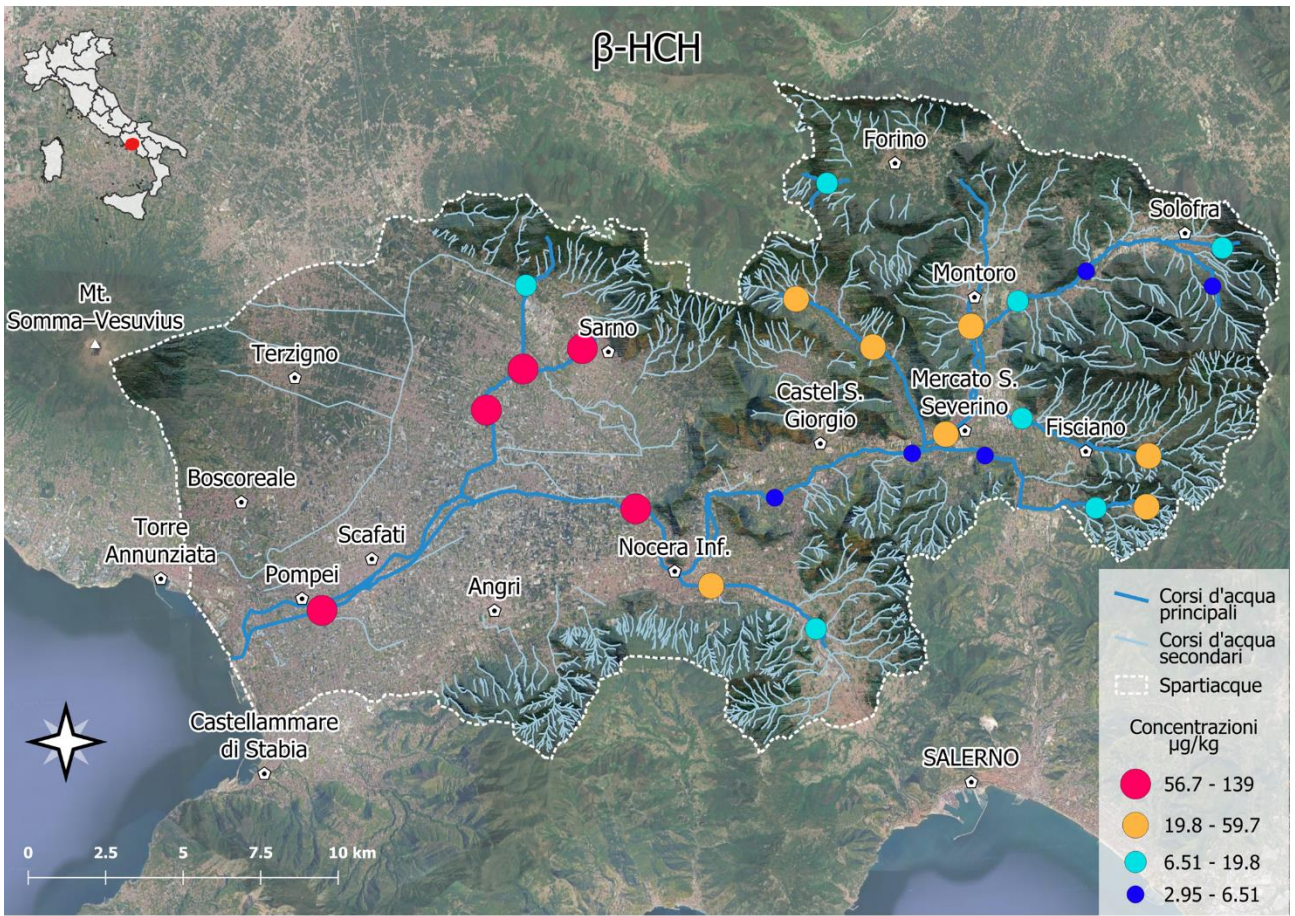
Appendice C – OCP - mappe di Distribuzione

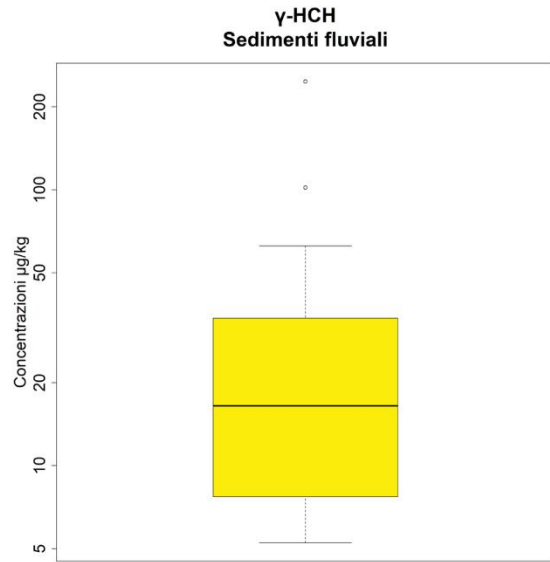
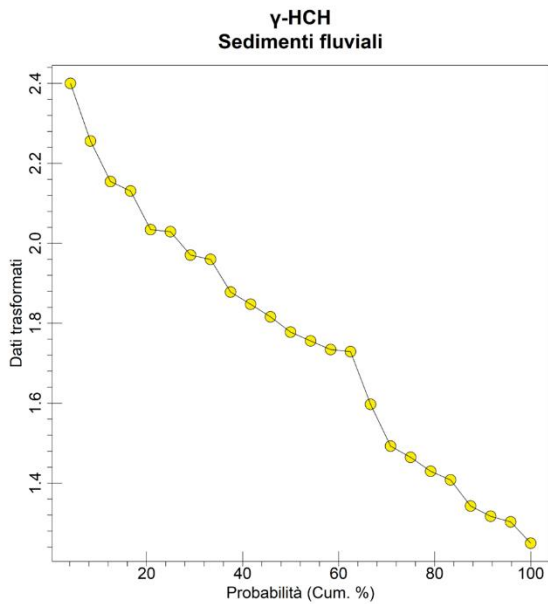
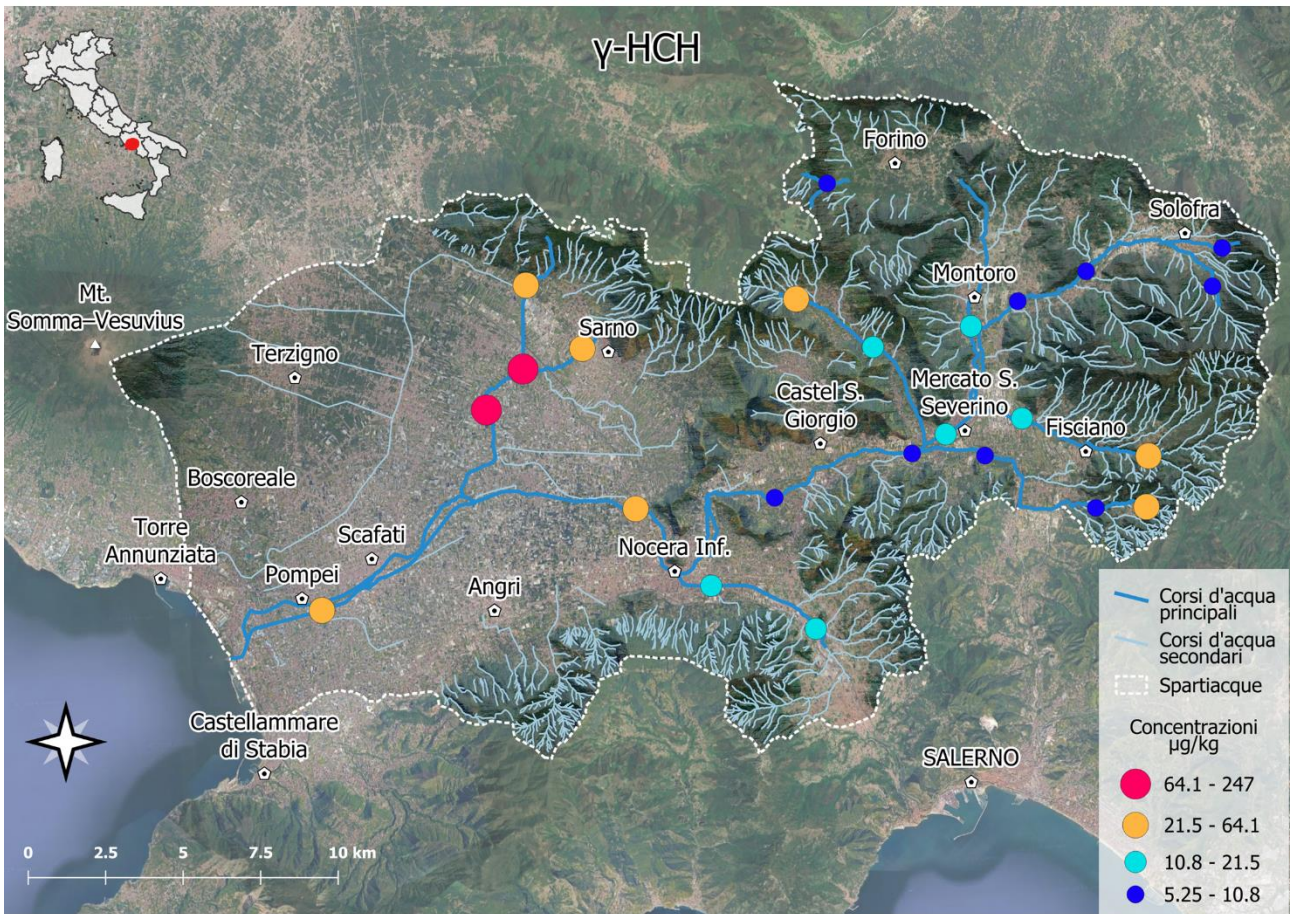
Mappa delle concentrazioni degli OCP nei sedimenti fluviali dell'area di studio. I punti colorati rappresentano i siti di campionamento, classificati in base ai livelli di OCP ($\mu\text{g}/\text{kg}$). Sono riportati i corsi d'acqua principali e secondari, oltre ai limiti idrografici del bacino. In basso, la curva di probabilità cumulativa e il boxplot descrivono la distribuzione statistica delle concentrazioni misurate nei sedimenti fluviali.

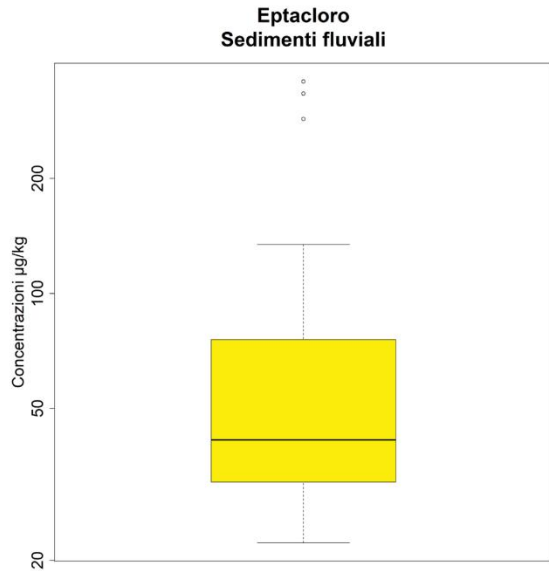
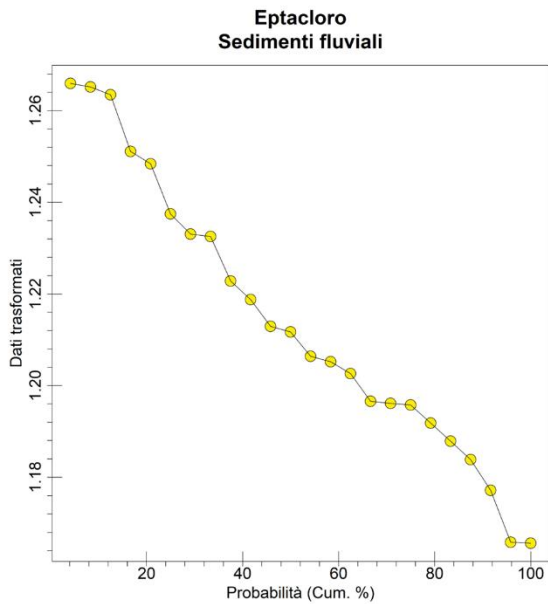
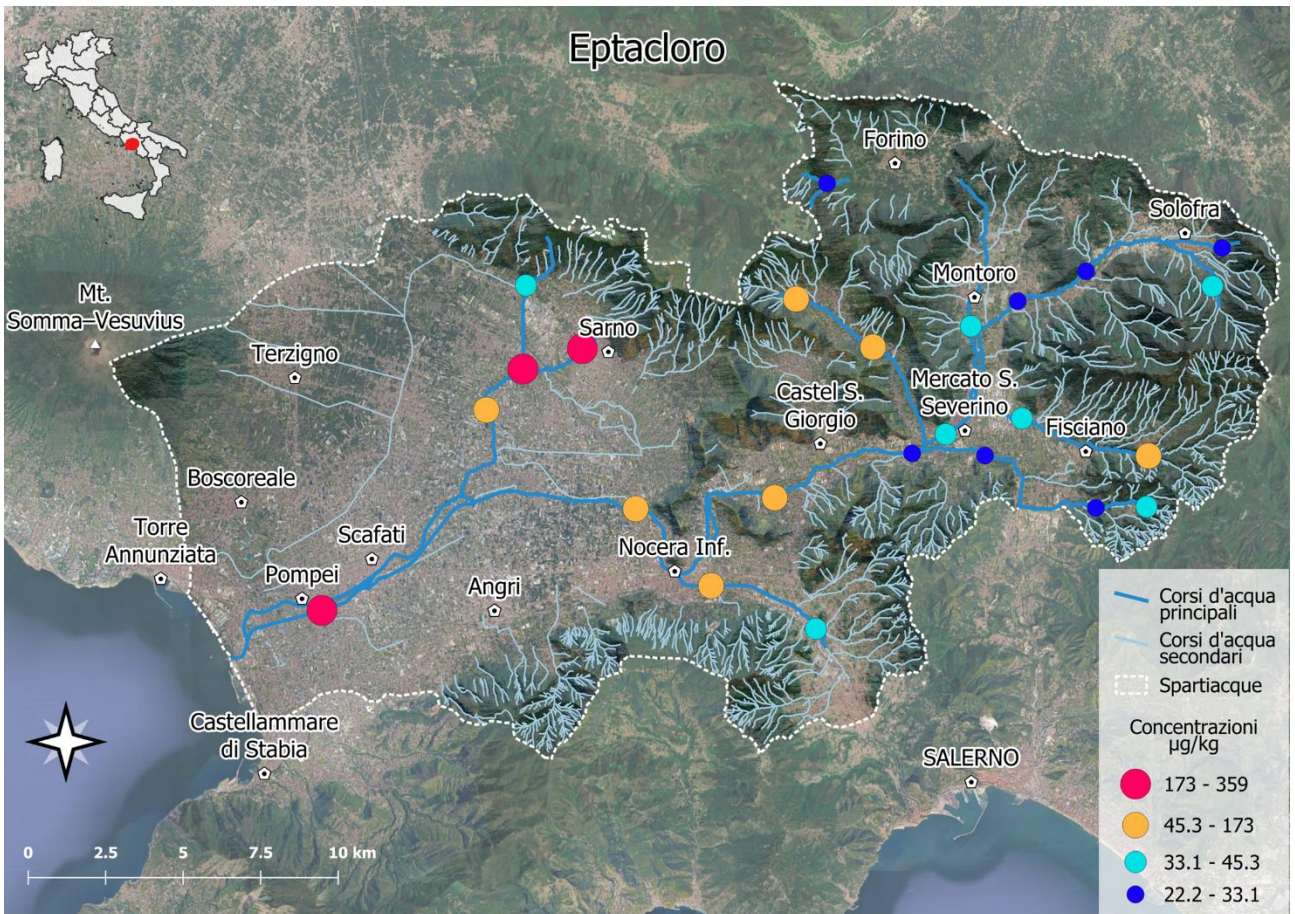
- C1. Esaclorobenzene
- C2. α -esaclorocicloesano
- C3. β -esaclorocicloesano
- C4. γ -esaclorocicloesano
- C5. Eptacloro
- C6. Aldrin
- C7. Dieldrin
- C8. Endrin
- C9. Isodrin
- C10. 2,4'-DDE
- C11. 4,4'-DDE
- C12. 2,4'-DDD
- C13. 4,4'-DDD
- C14. 2,4'-DDT
- C15. 4,4'-DDT
- C16. α -endosulfan
- C17. β -endosulfan
- C18. Isobenzano
- C19. Eptacloro eso-eossido



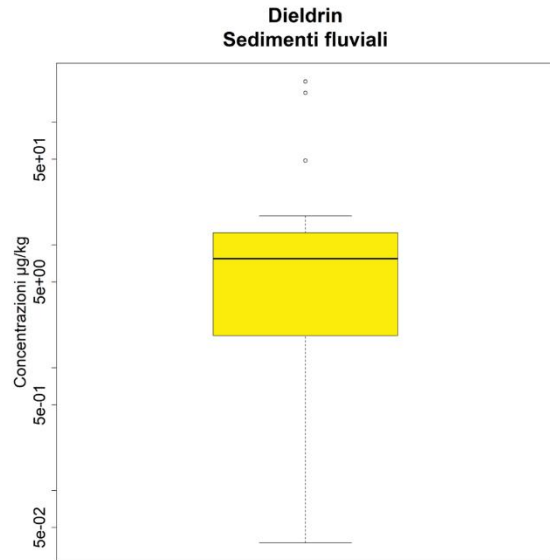
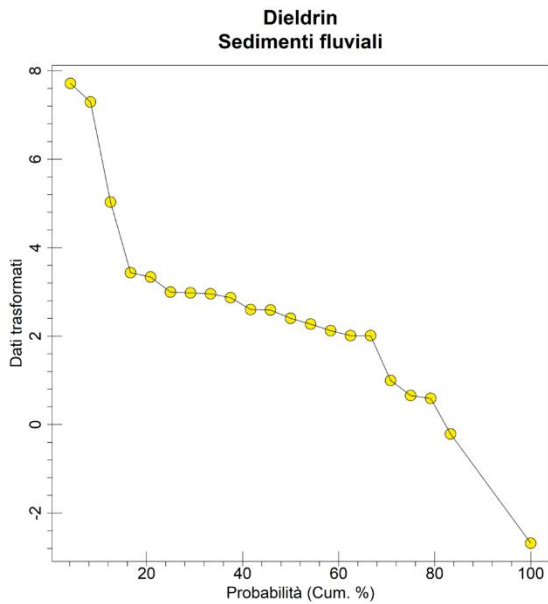
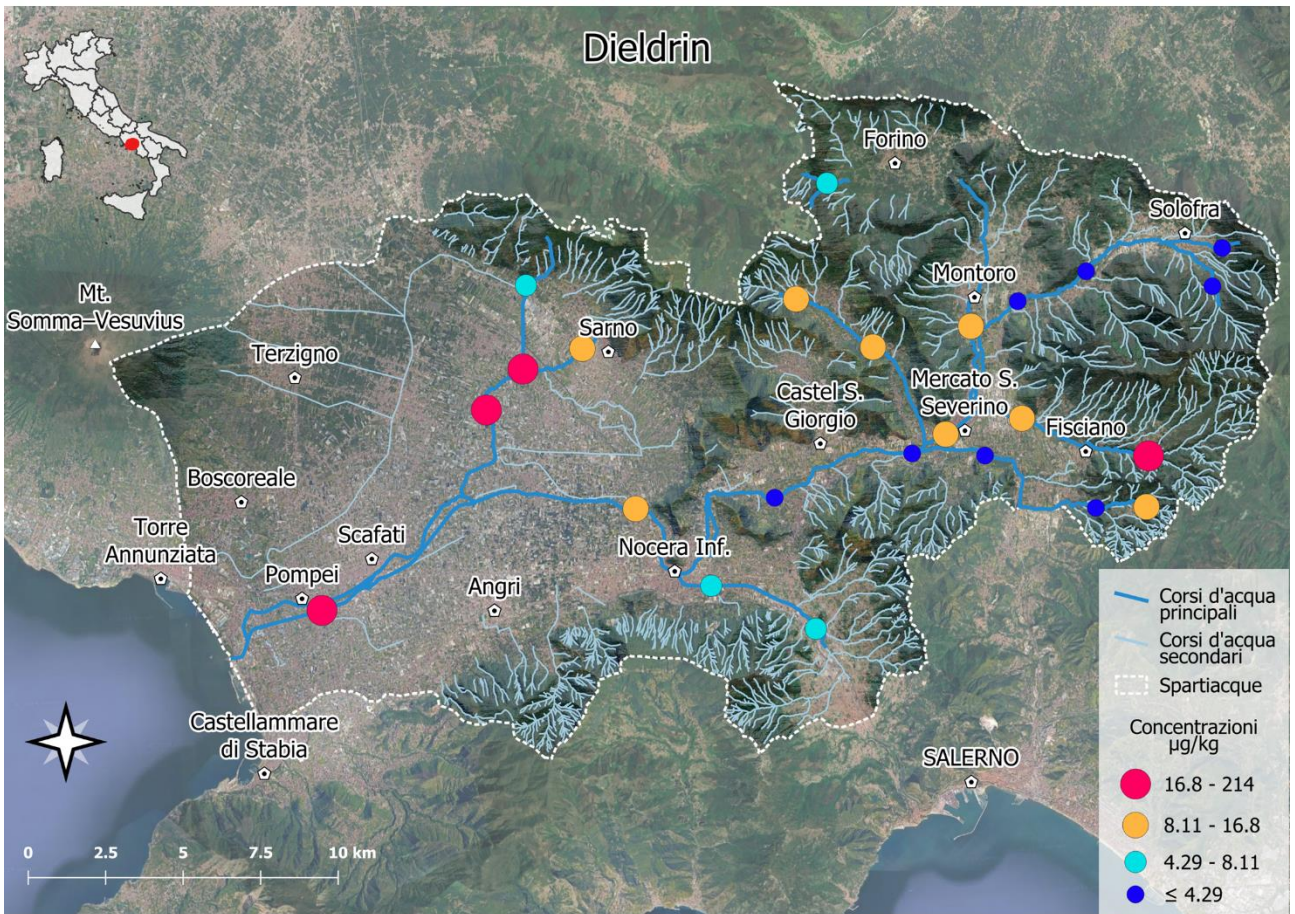


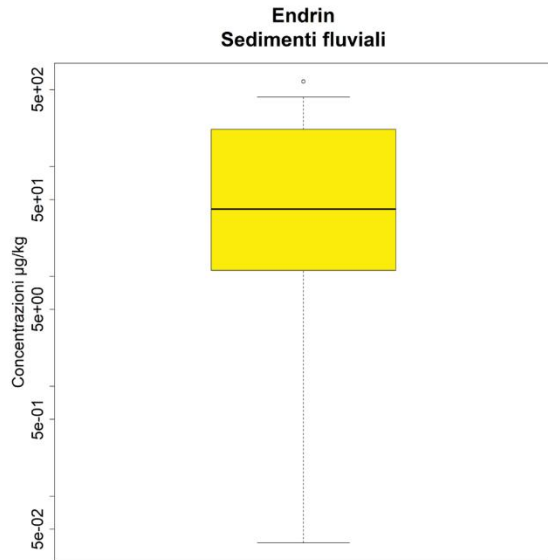
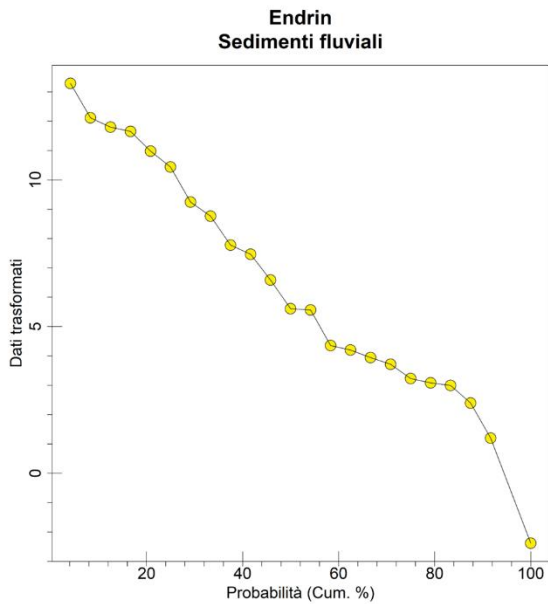
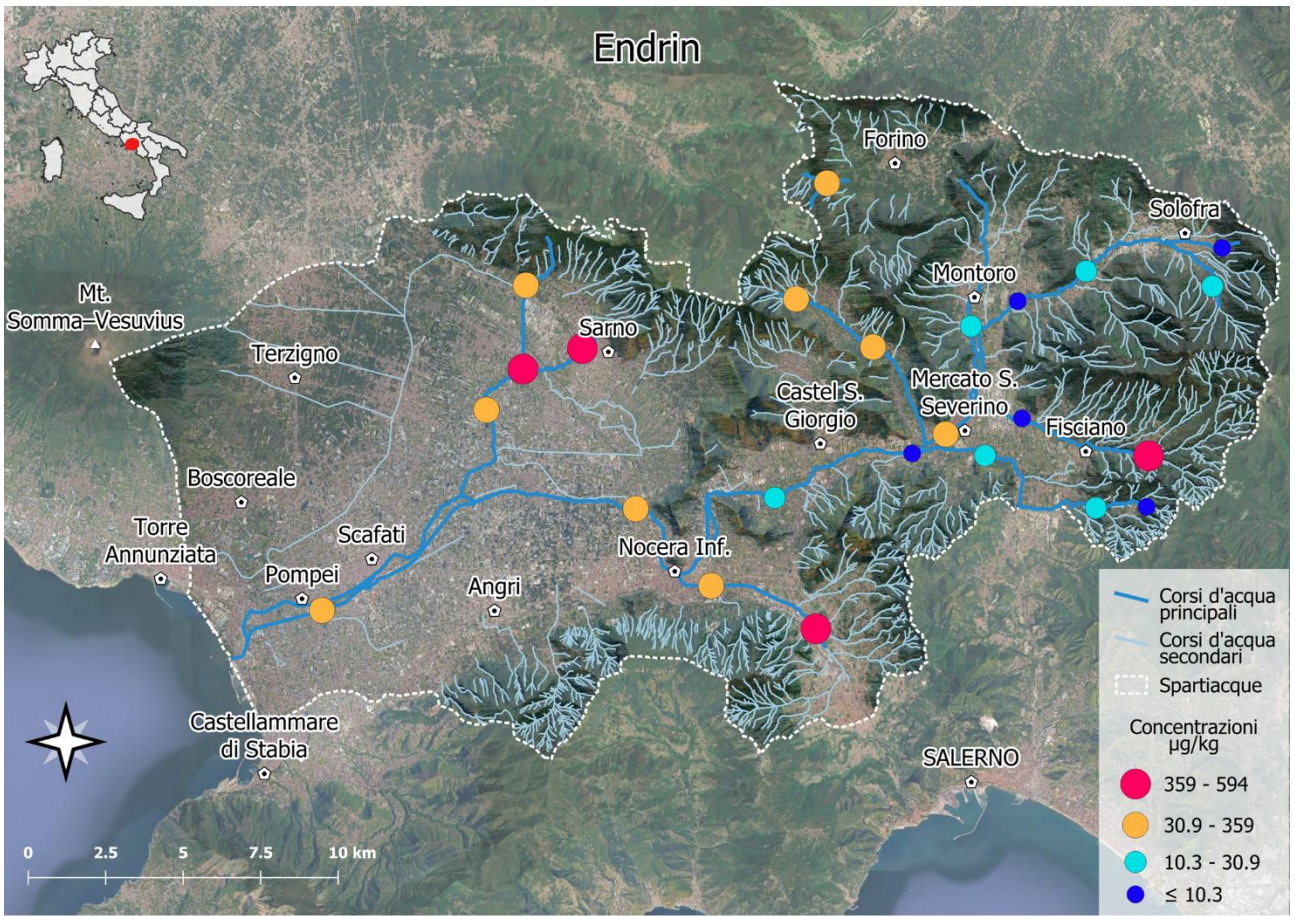


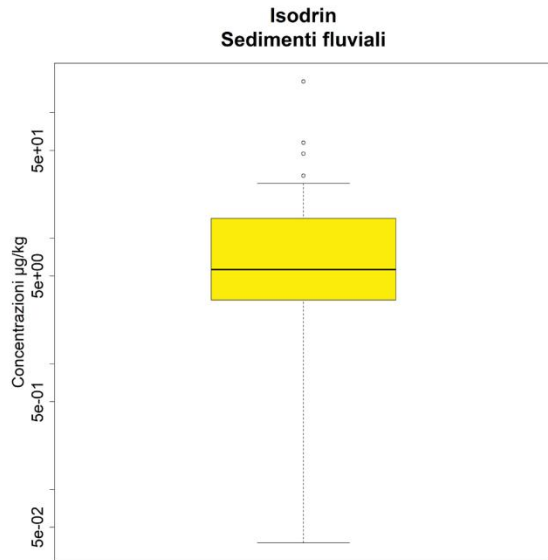
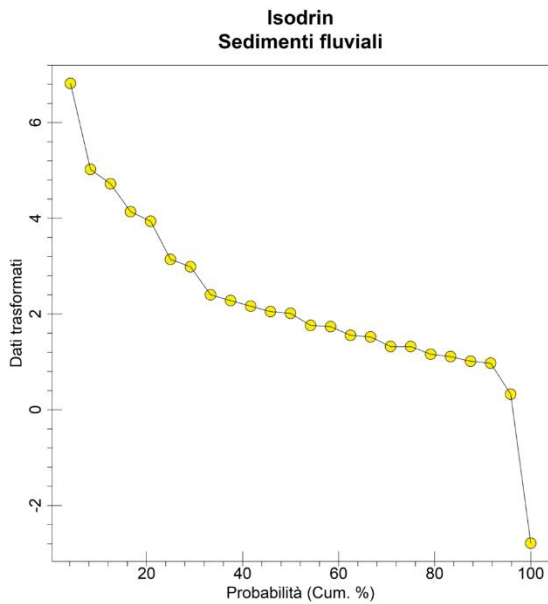
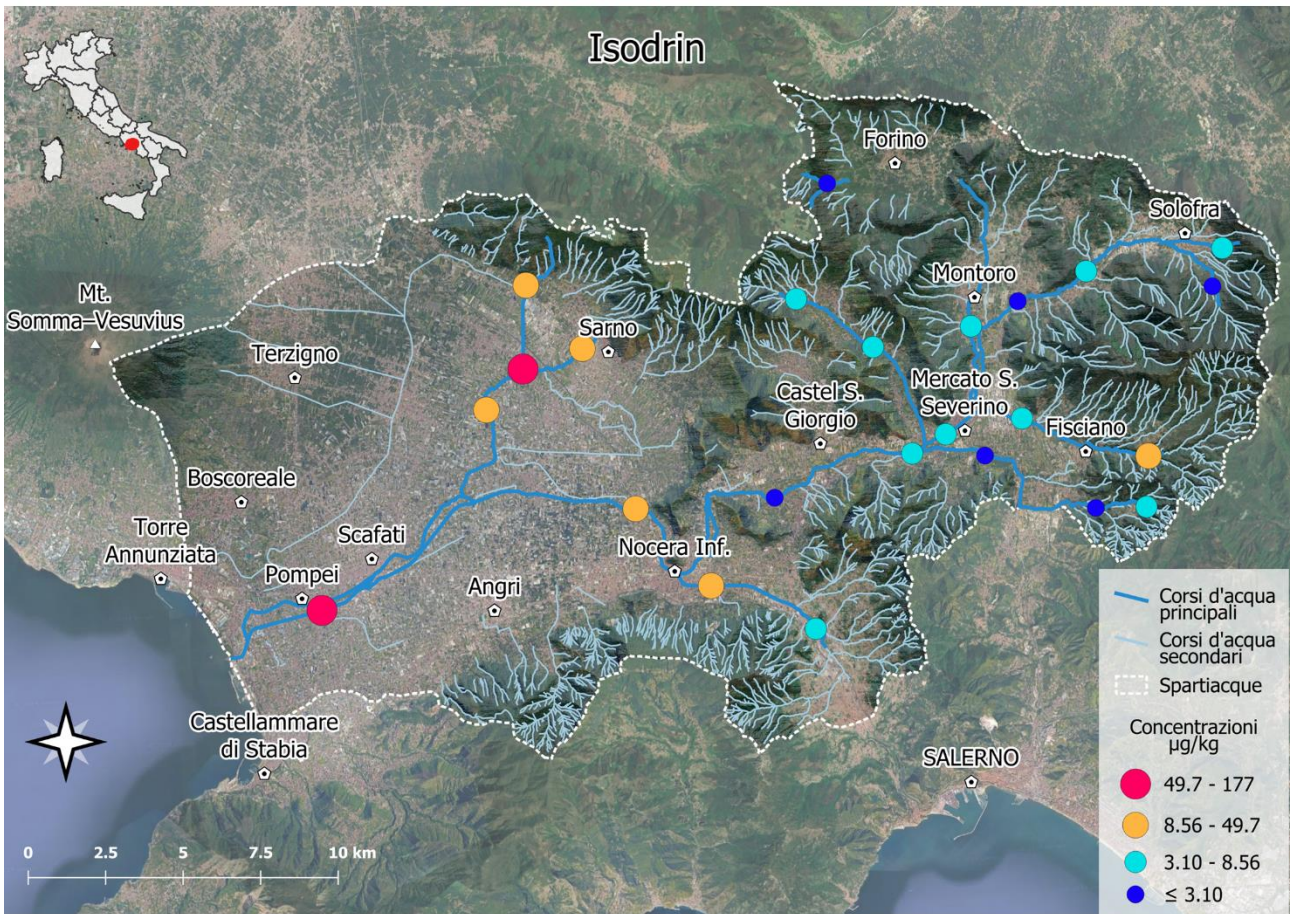


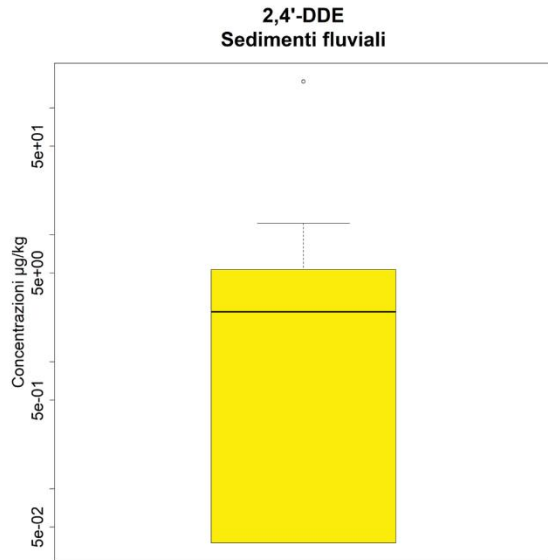
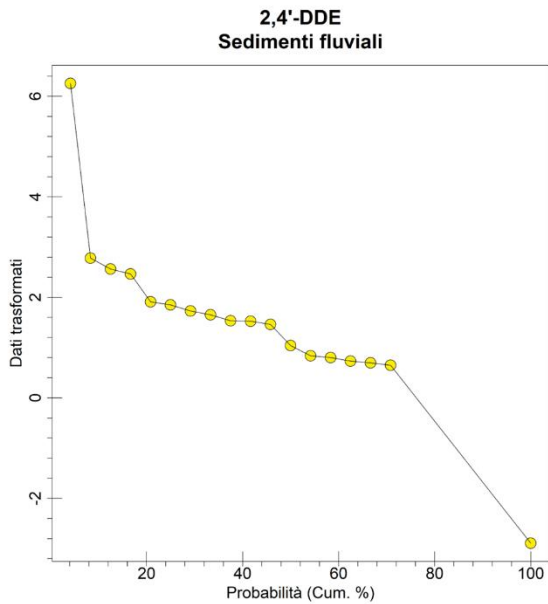
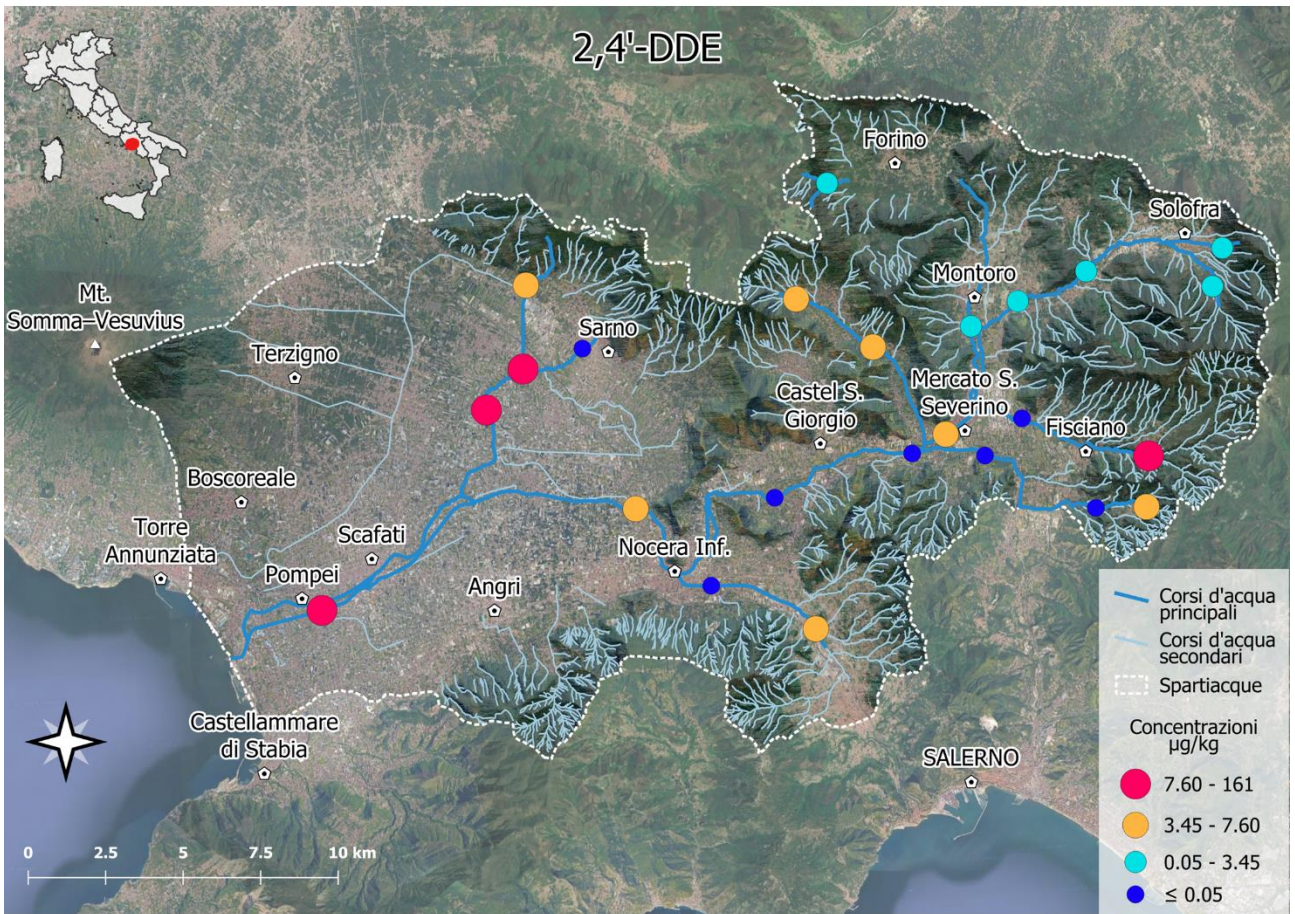


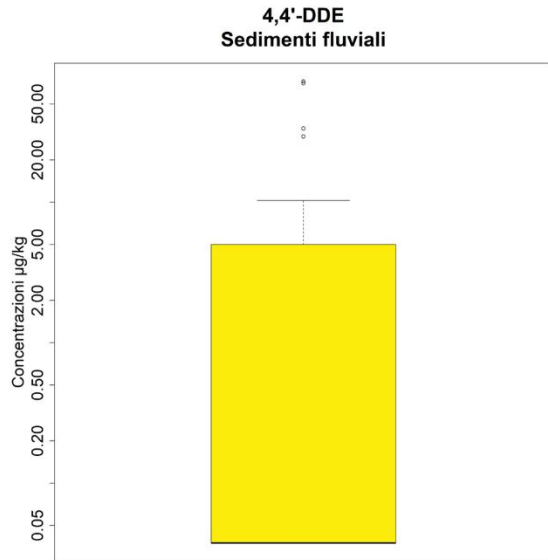
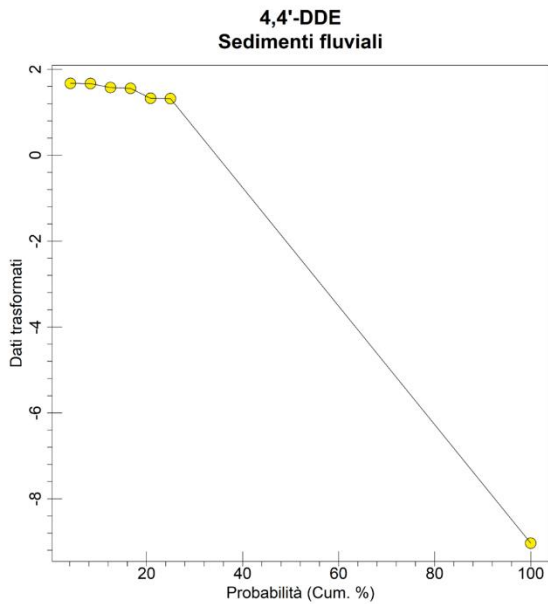
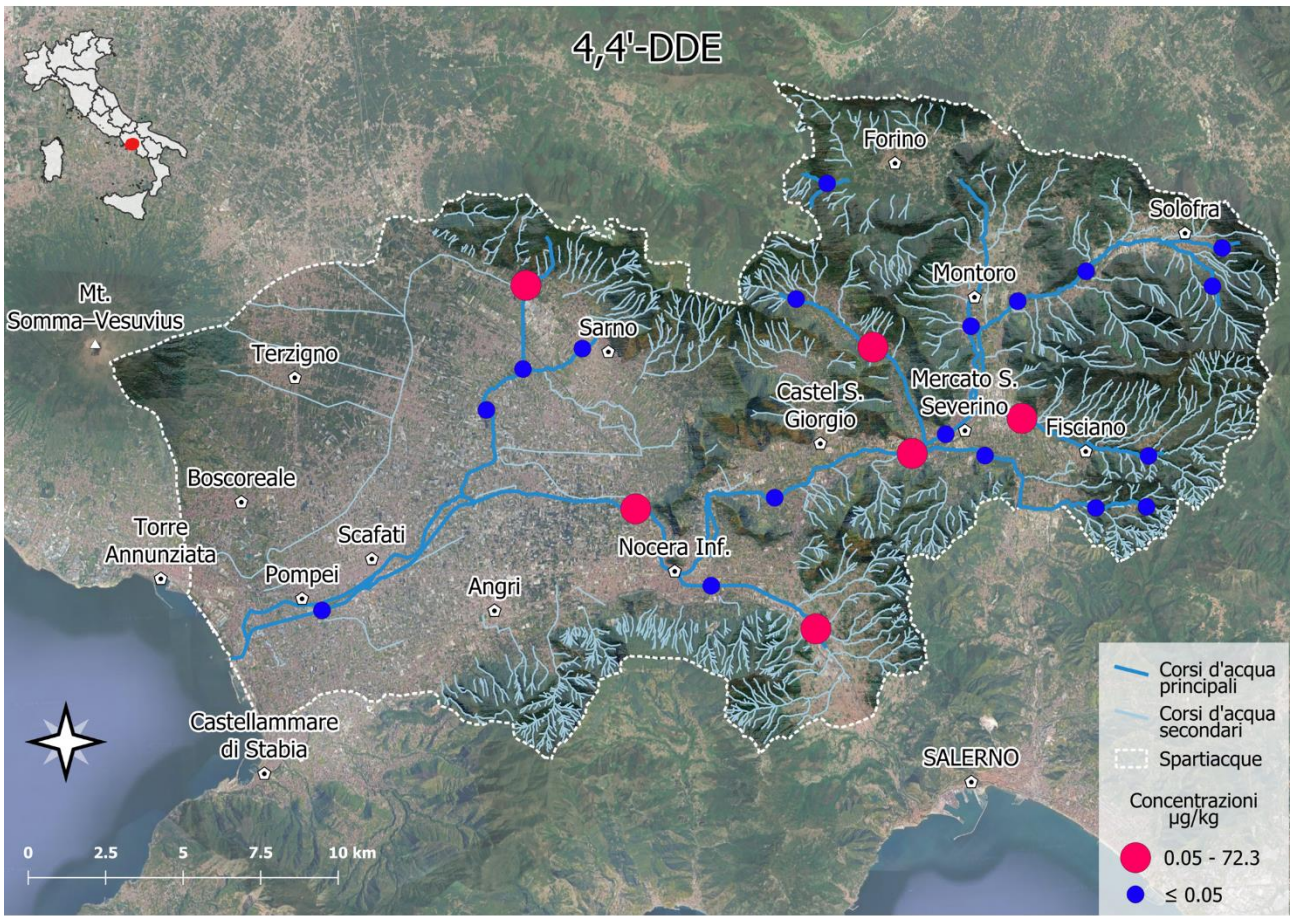


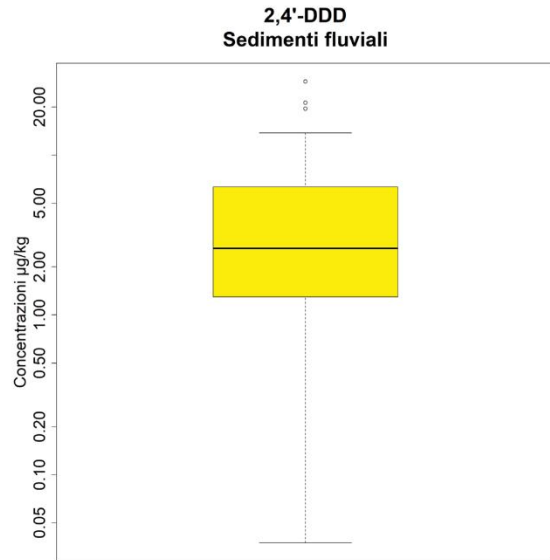
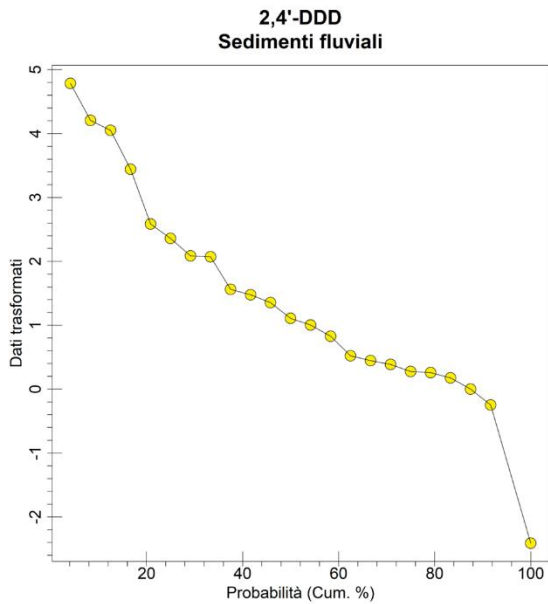
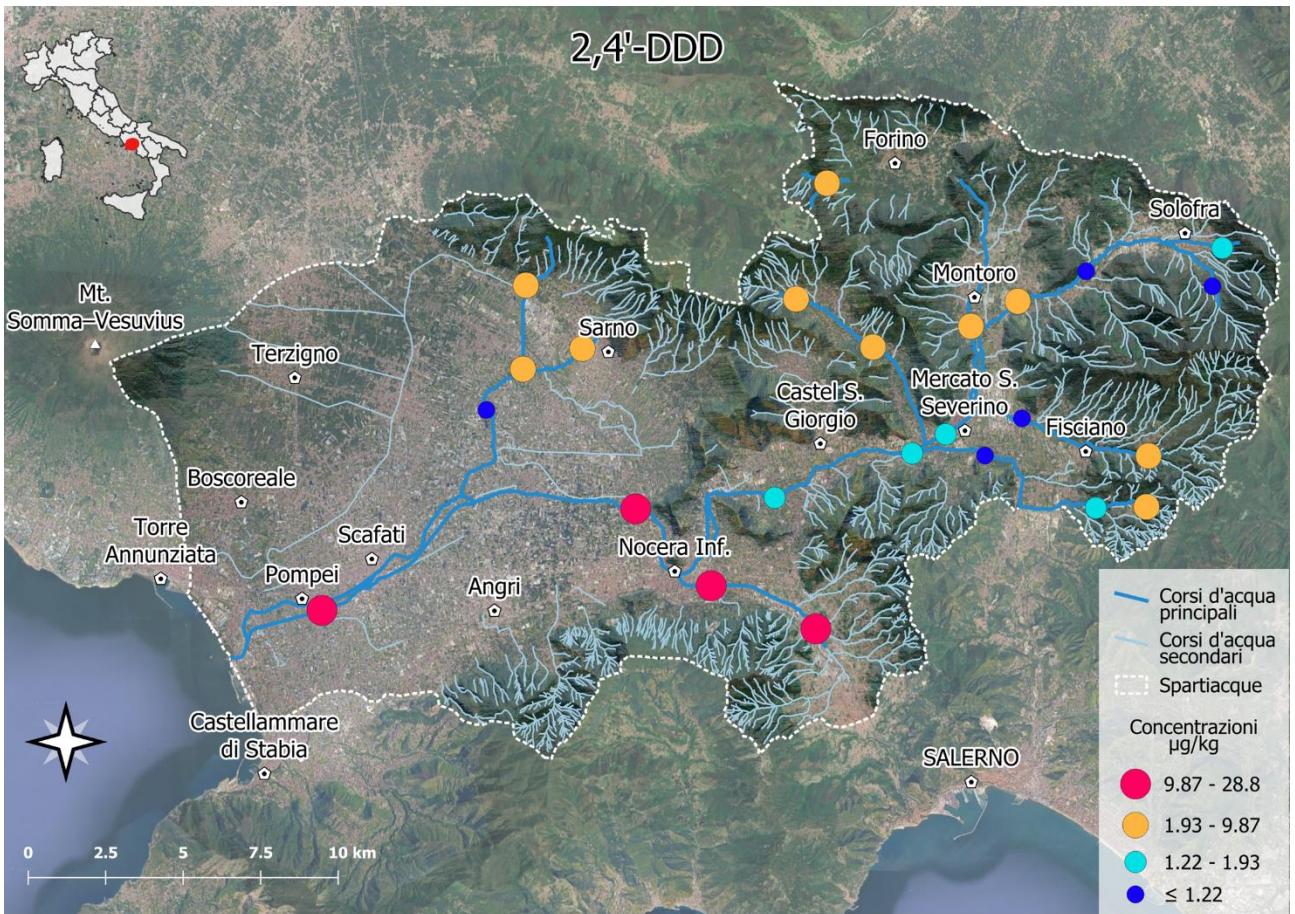


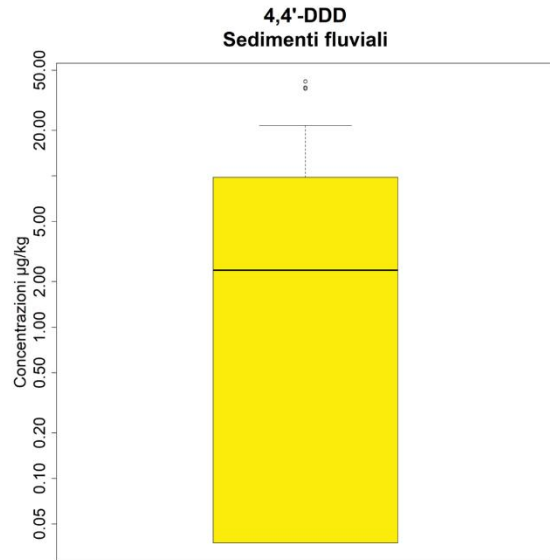
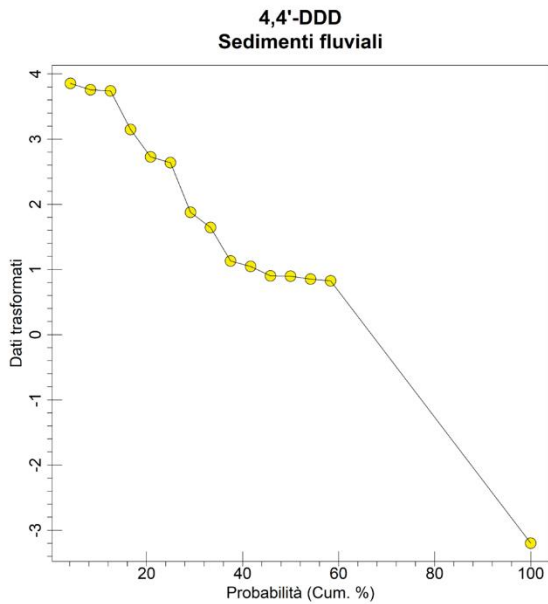
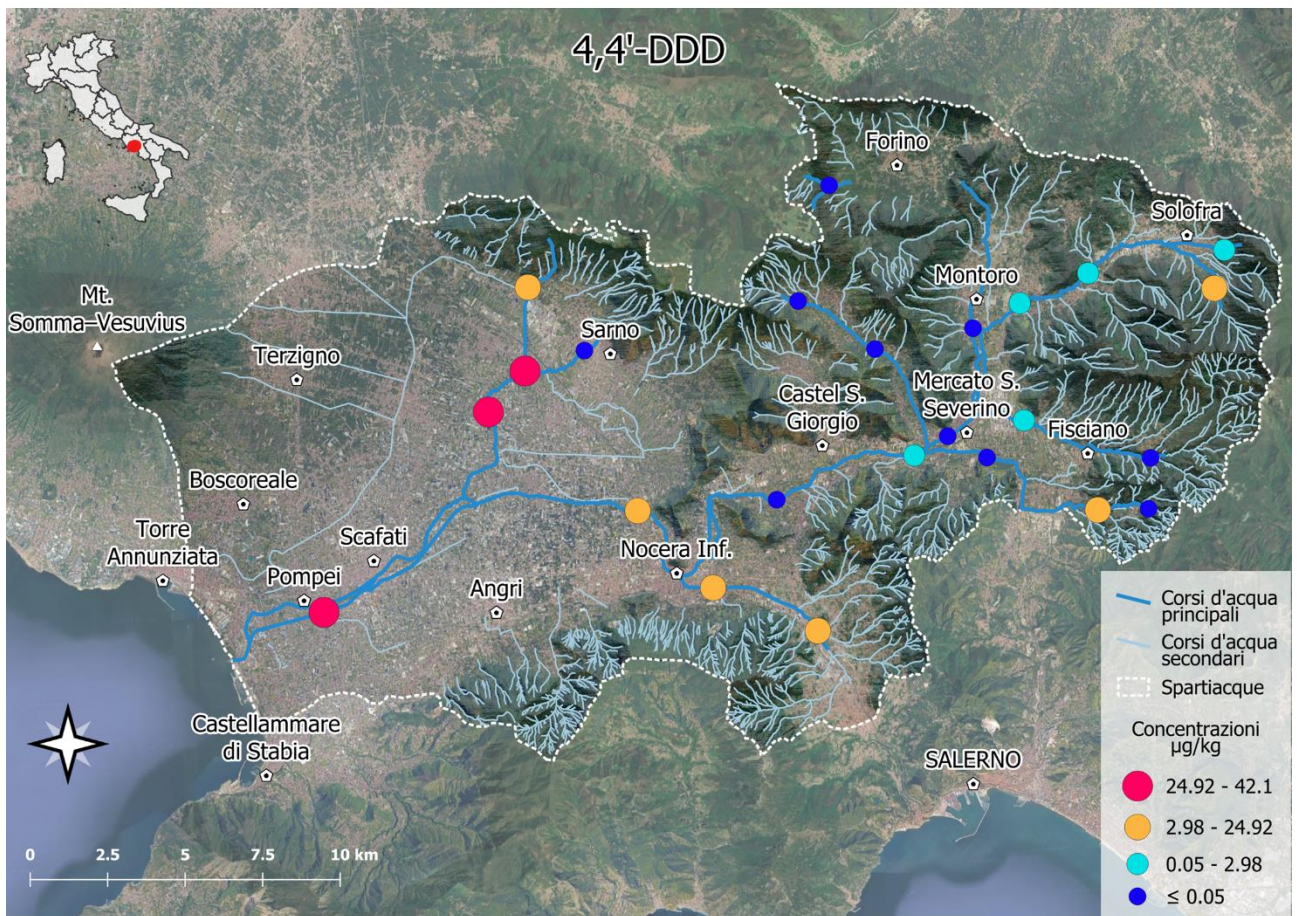


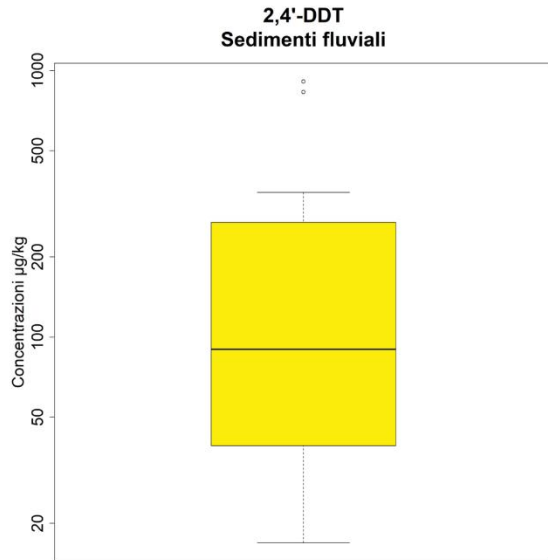
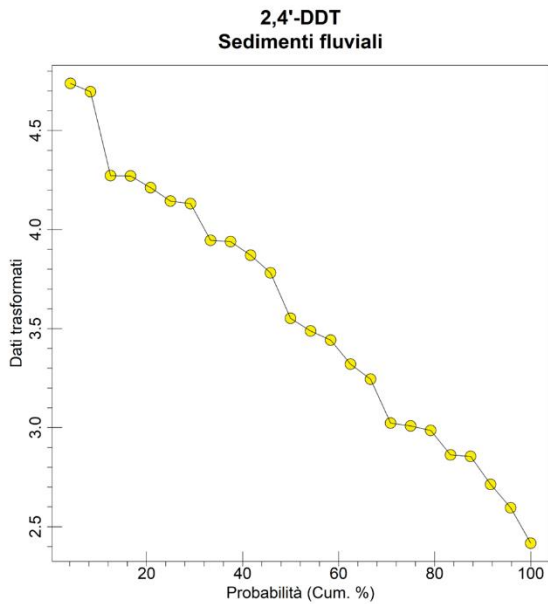
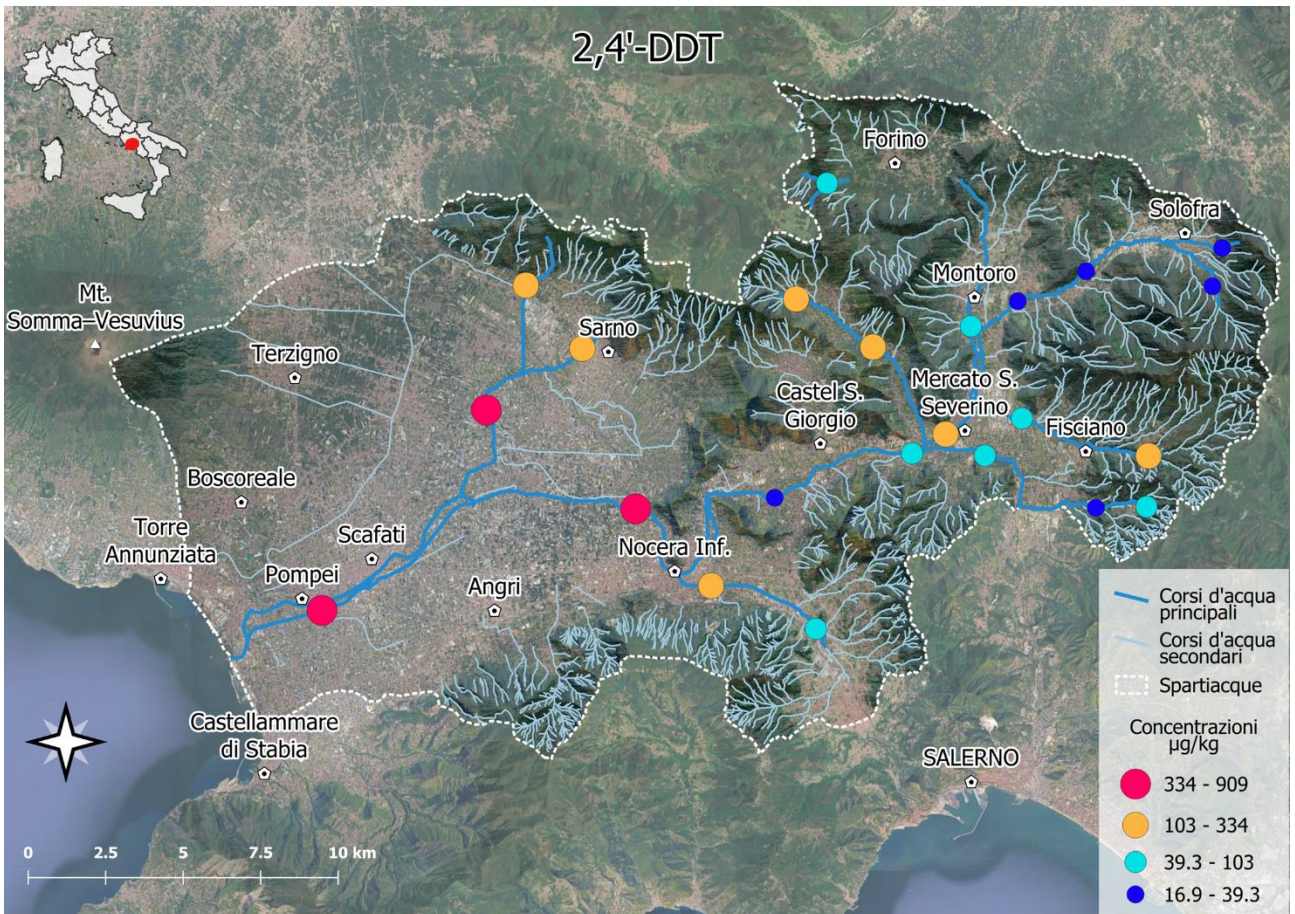


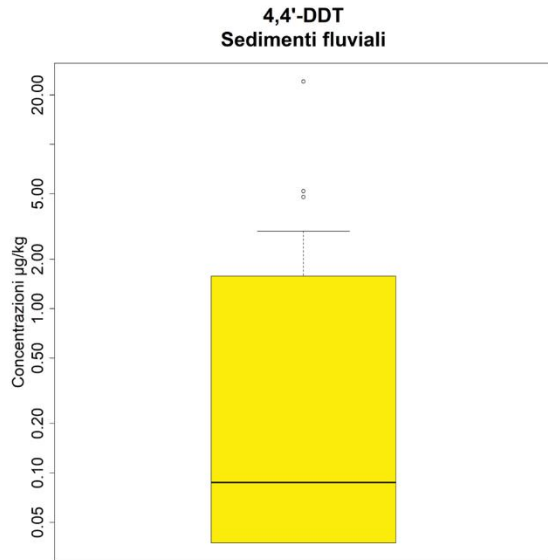
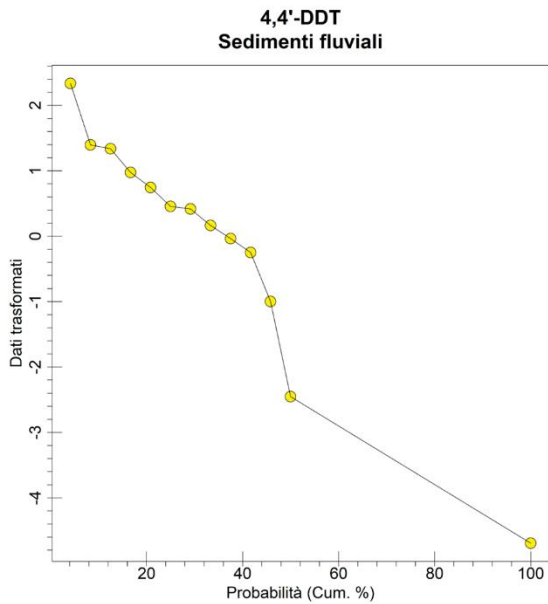
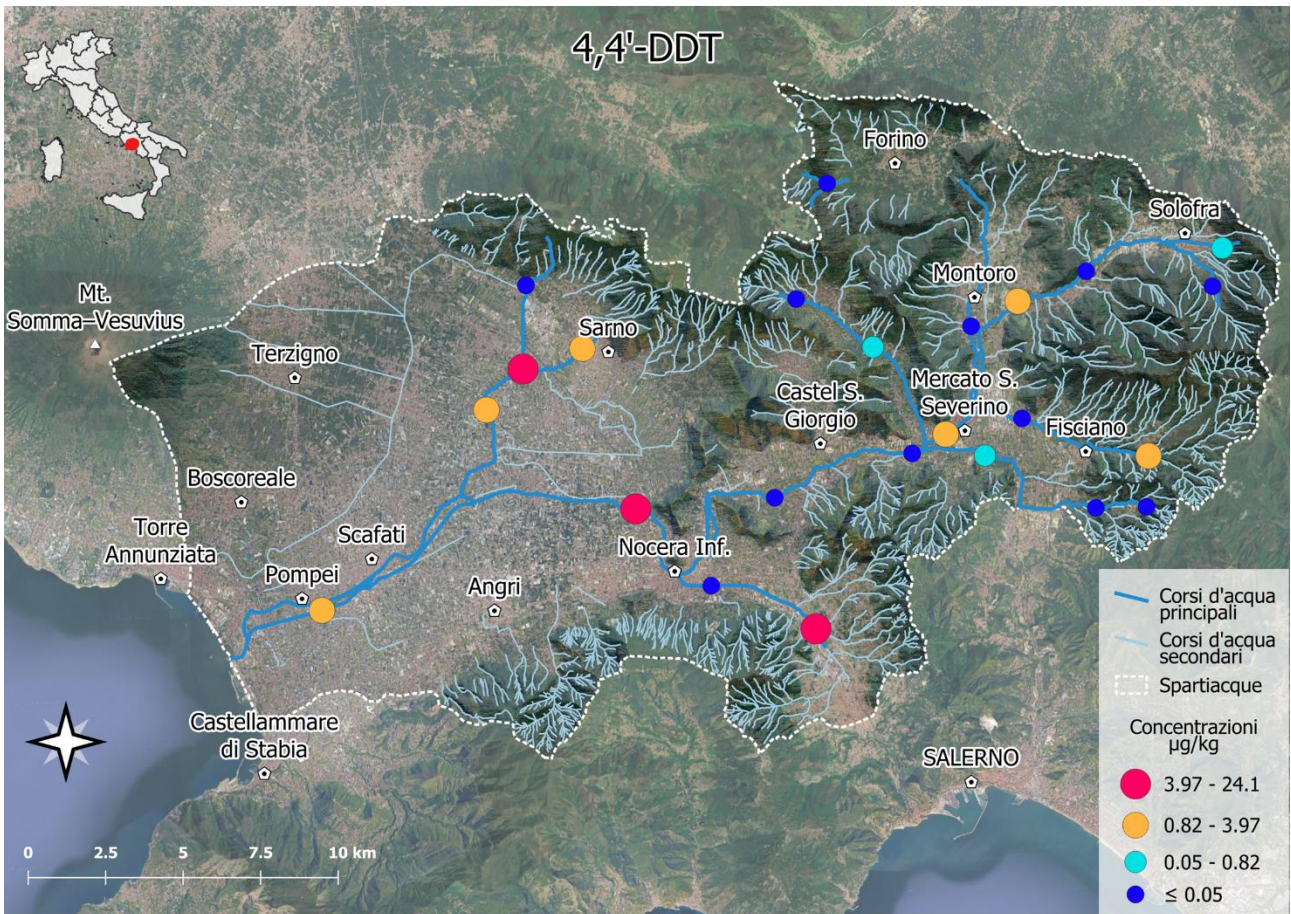




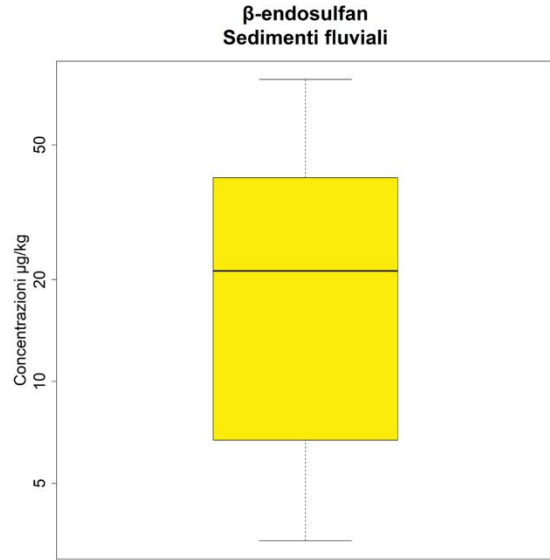
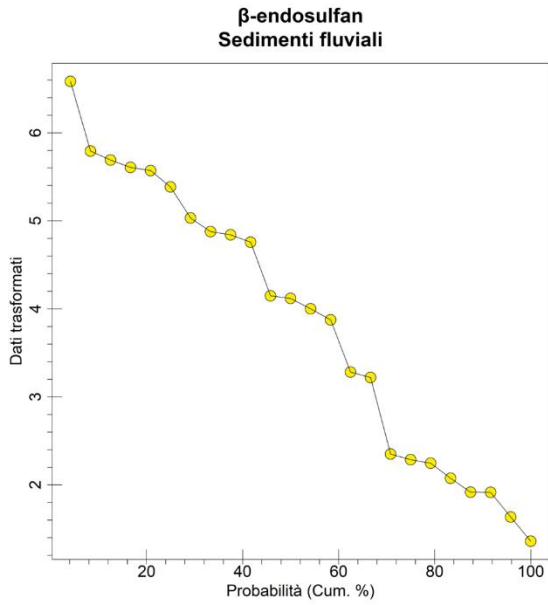
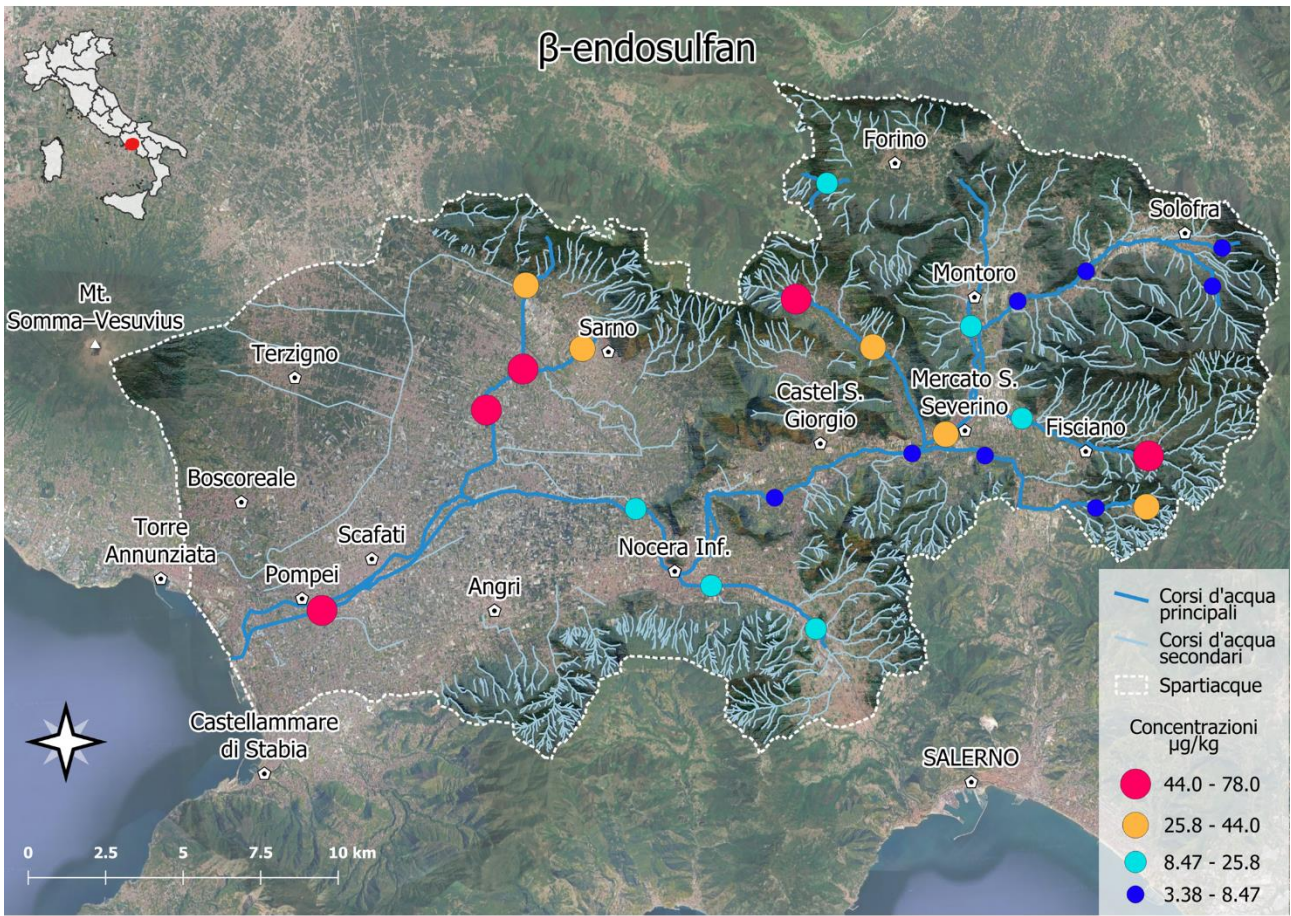




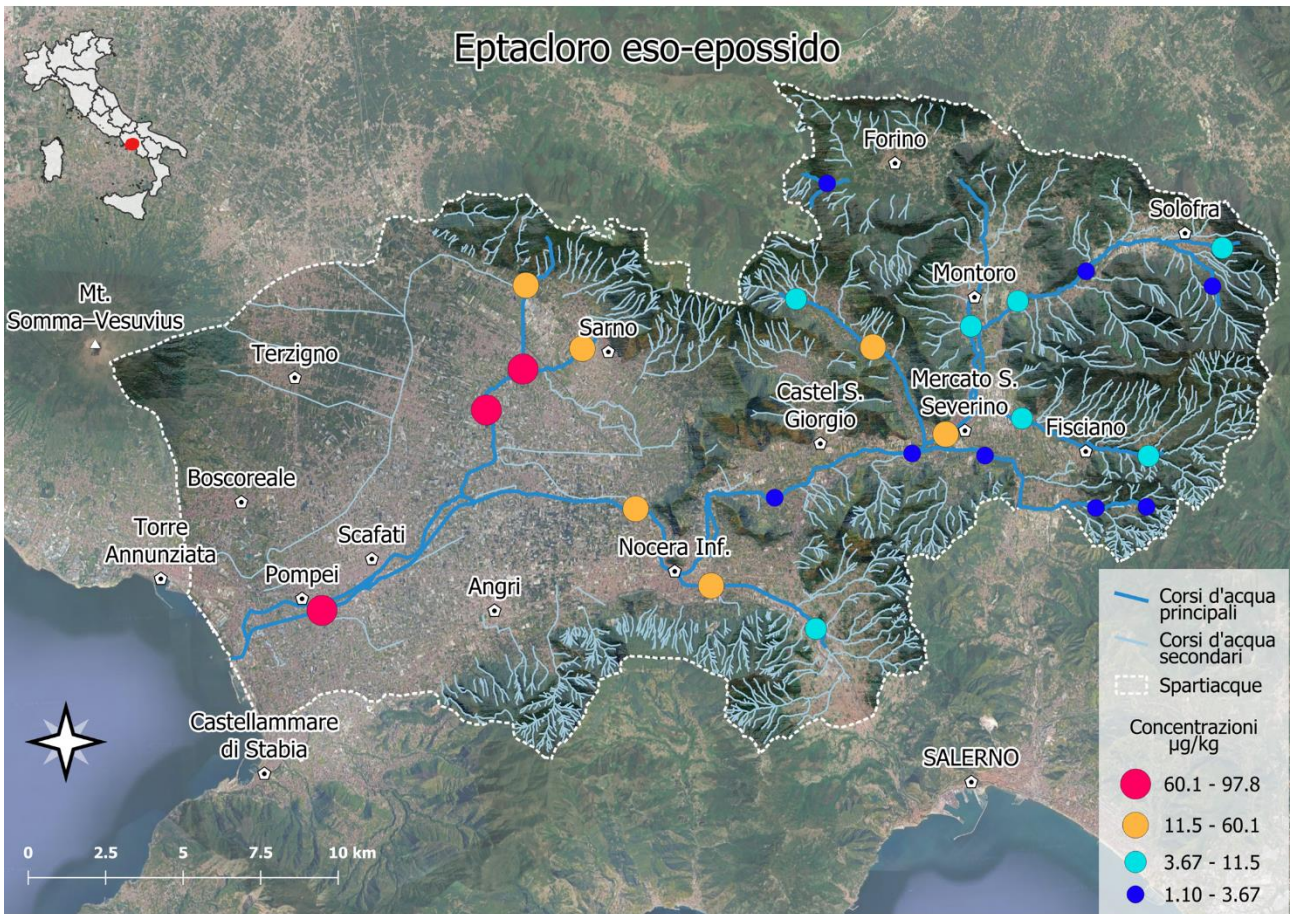




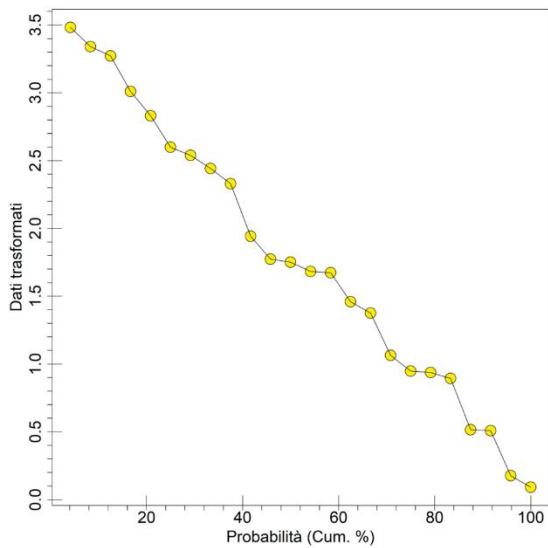




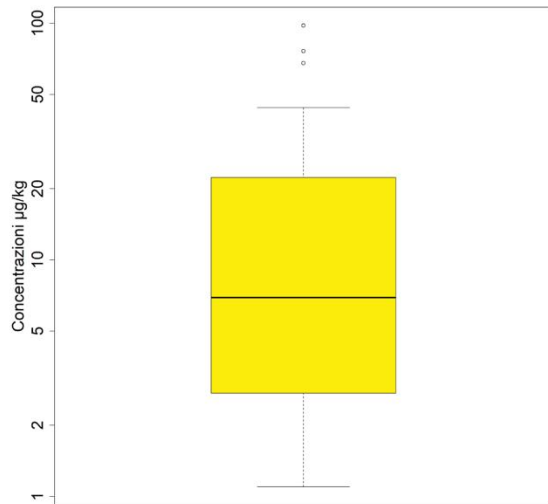




**Eptacloro eso-epossido
Sedimenti fluviali**



**Eptacloro eso-epossido
Sedimenti fluviali**



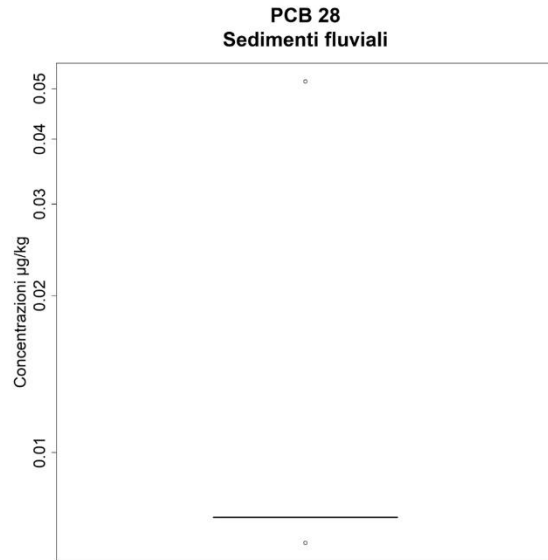
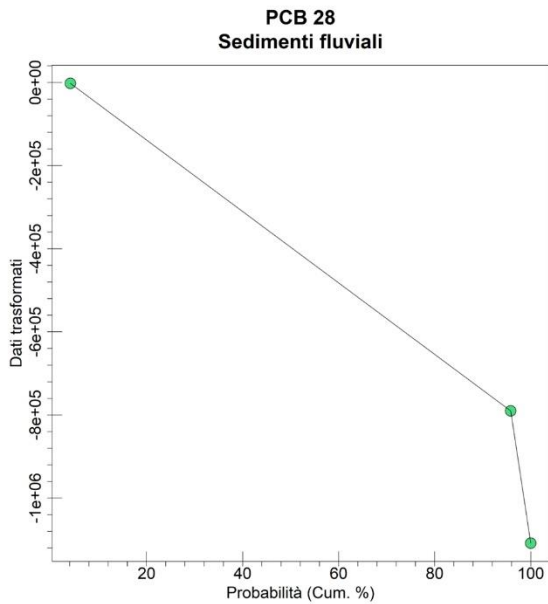
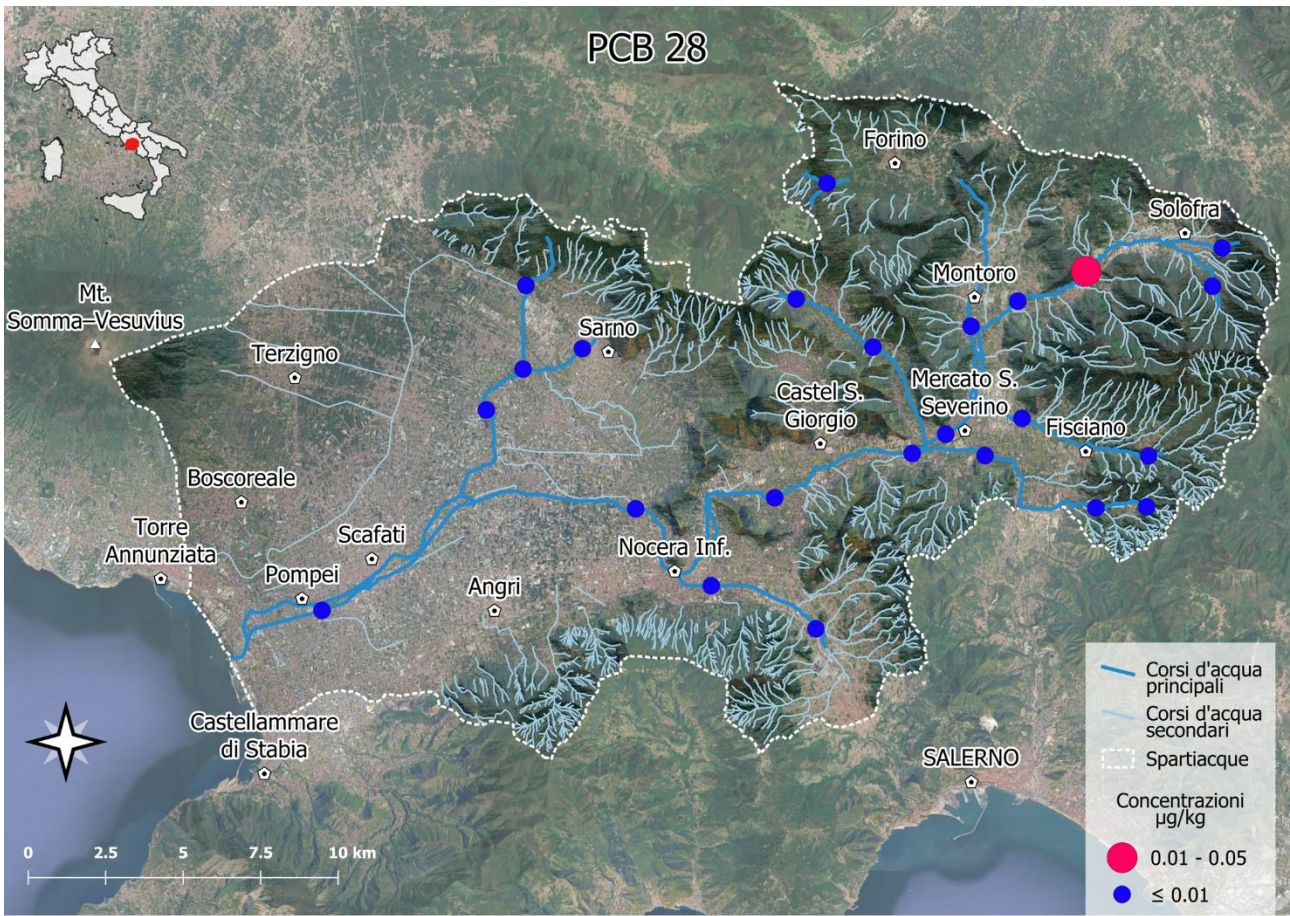
Appendice D – PCB - mappe di Distribuzione

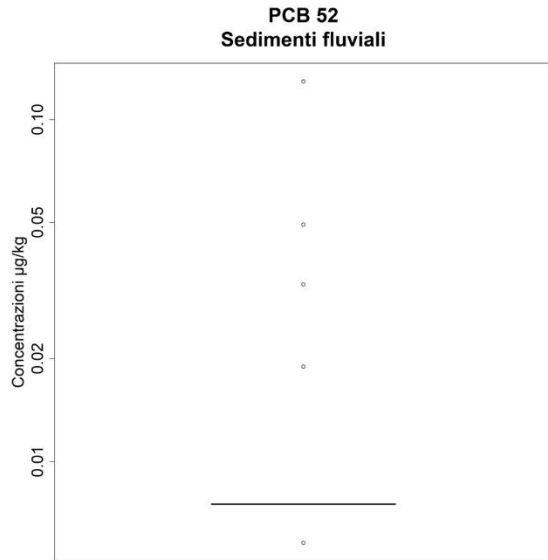
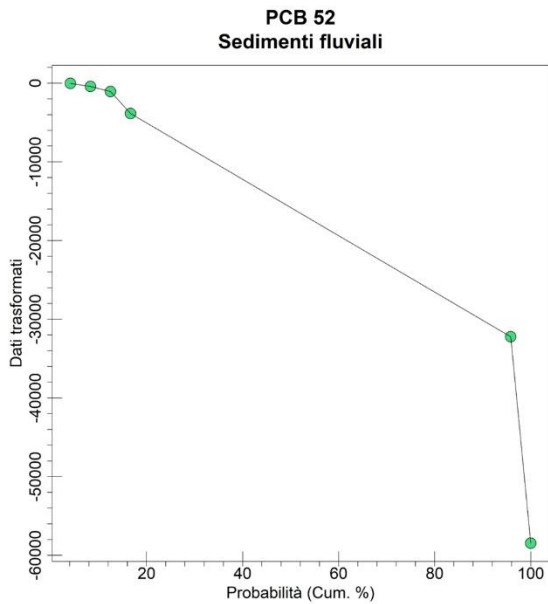
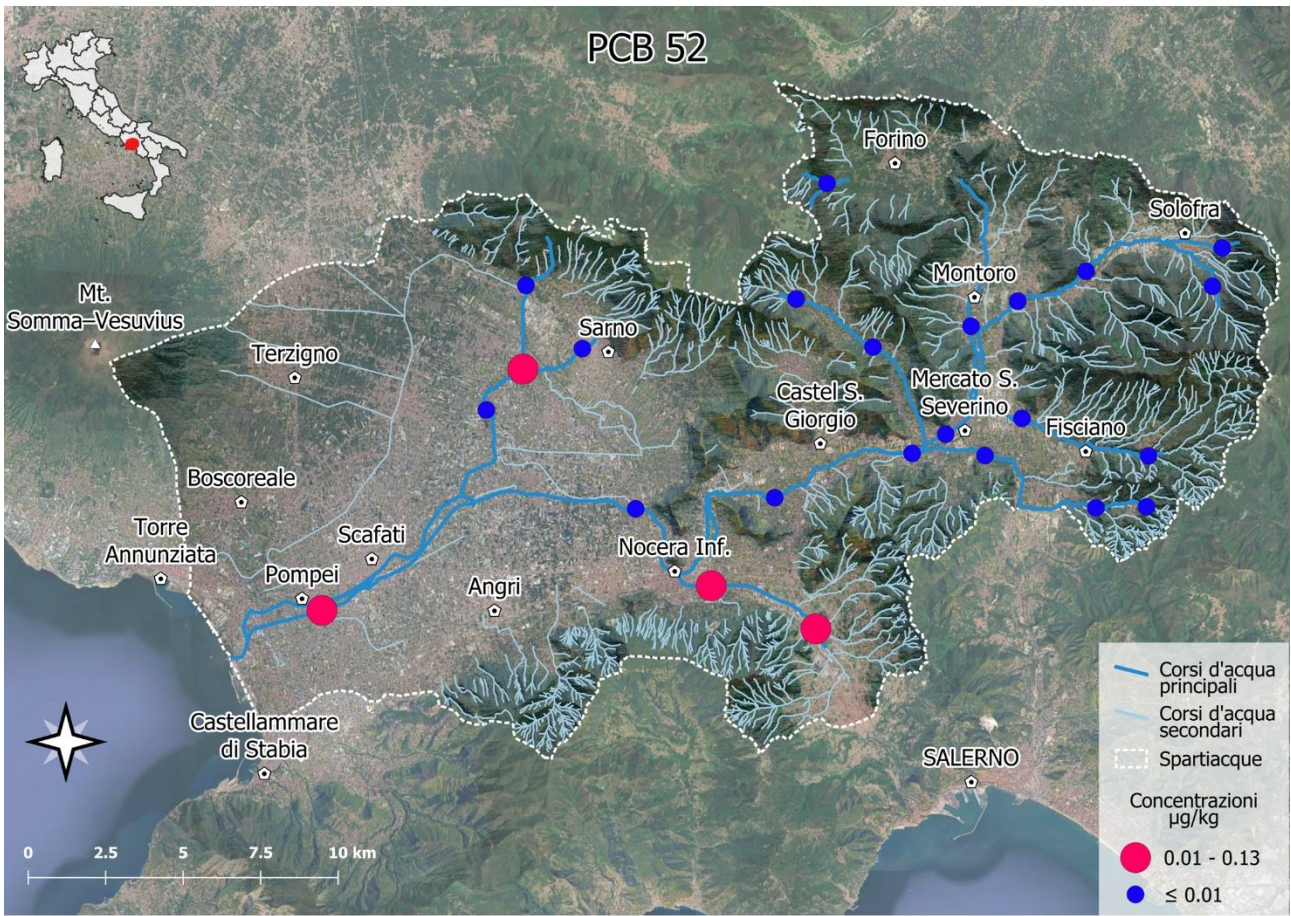
Mappa delle concentrazioni dei PCB nei sedimenti fluviali dell'area di studio. I punti colorati rappresentano i siti di campionamento, classificati in base ai livelli di PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$). Sono riportati i corsi d'acqua principali e secondari, oltre ai limiti idrografici del bacino. In basso, la curva di probabilità cumulativa e il boxplot descrivono la distribuzione statistica delle concentrazioni misurate nei sedimenti fluviali.

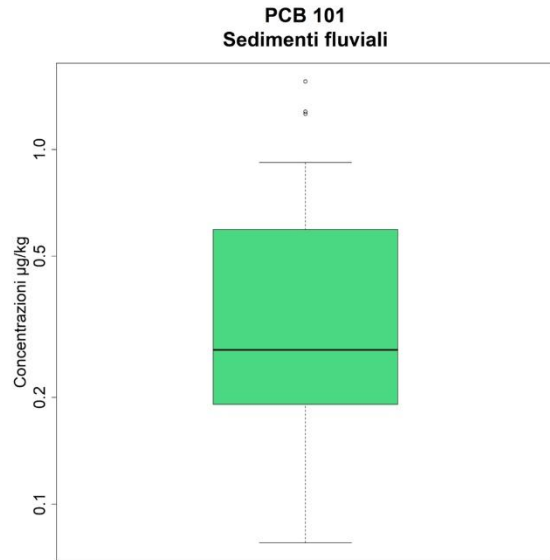
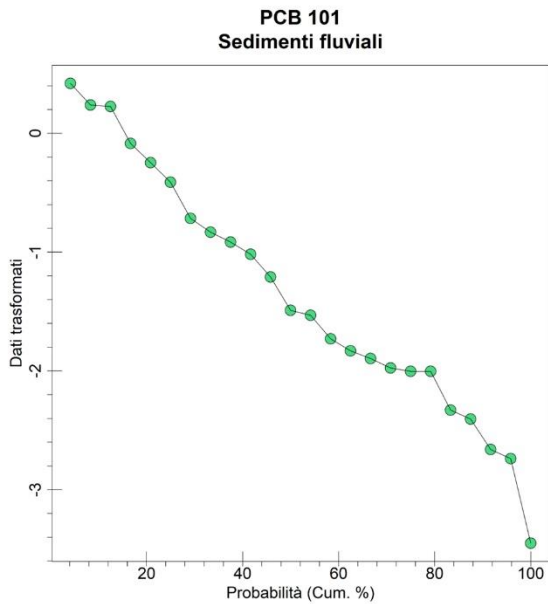
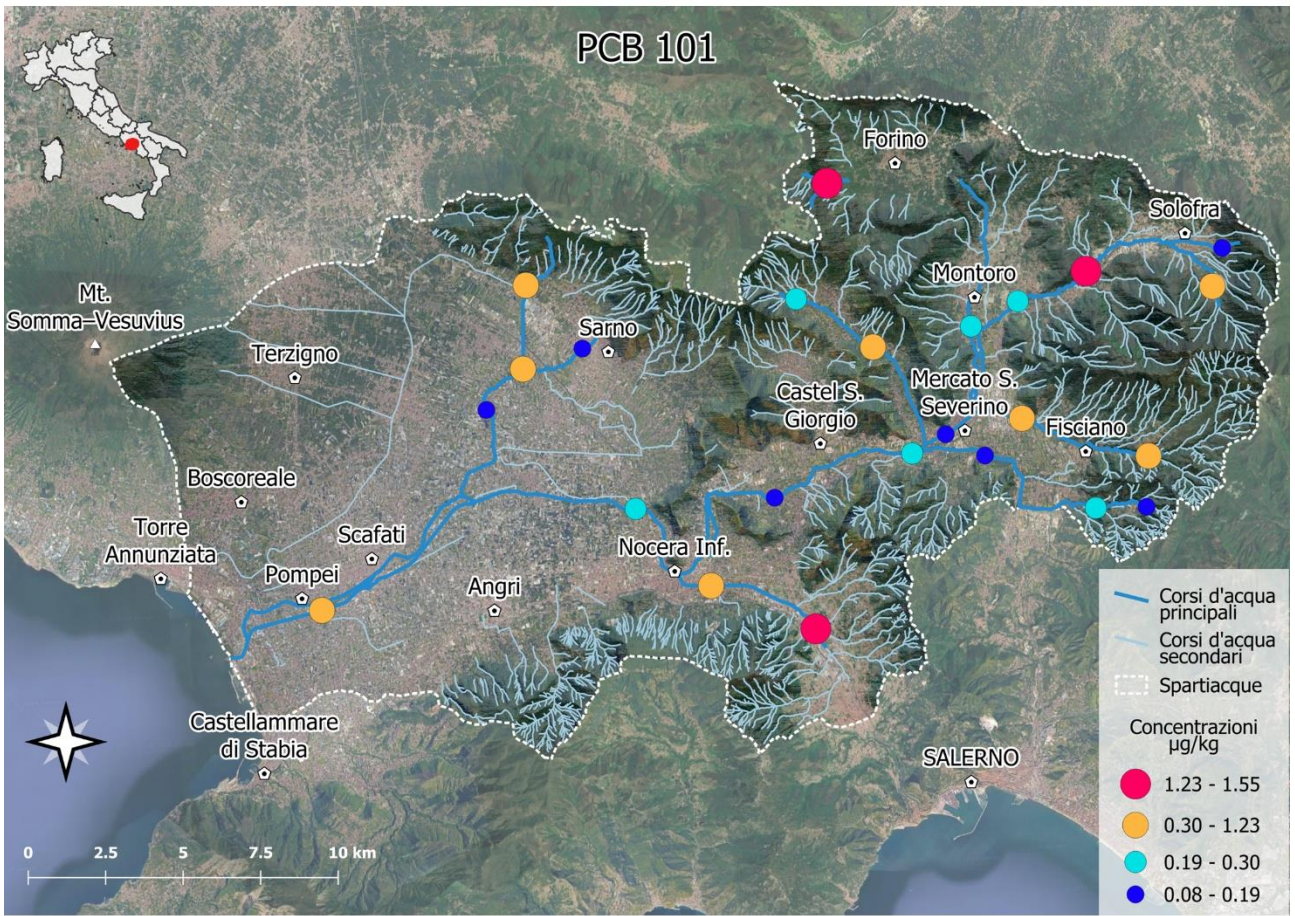
- D1. PCB28
- D2. PCB52
- D3. PCB101
- D4. PCB153
- D5. PCB138
- D6. PCB180
- D7. PCB81
- D8. PCB77
- D9. PCB123
- D10. PCB118
- D11. PCB114
- D12. PCB105
- D13. PCB126
- D14. PCB167
- D15. PCB156
- D16. PCB157
- D17. PCB169
- D18. PCB189
- D19. PCB8
- D20. PCB18
- D21. PCB95
- D22. PCB99
- D23. PCB110
- D24. PCB149
- D25. PCB146
- D26. PCB187
- D27. PCB44
- D28. PCB128

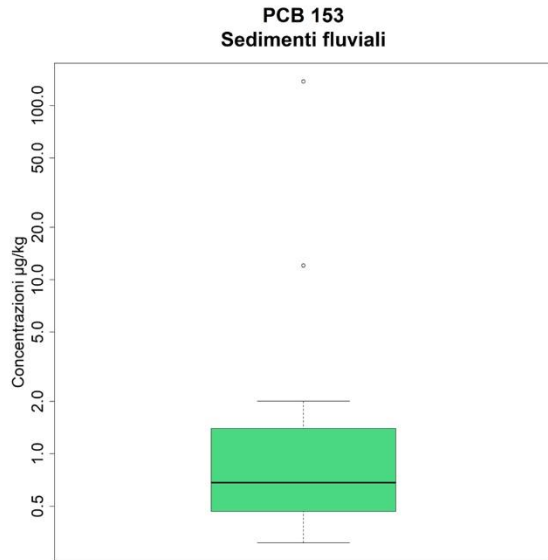
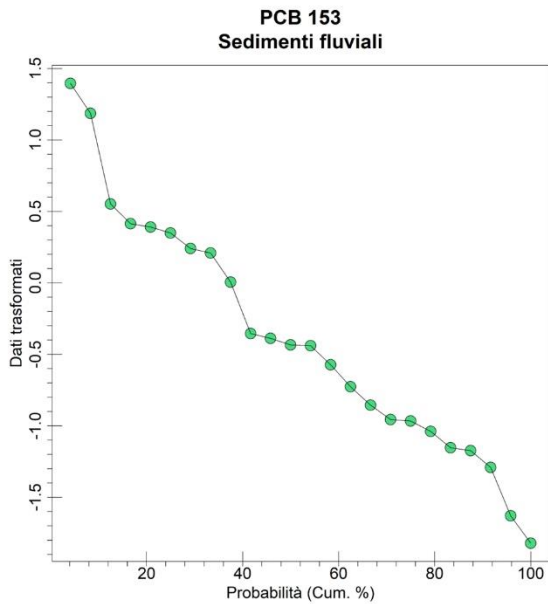
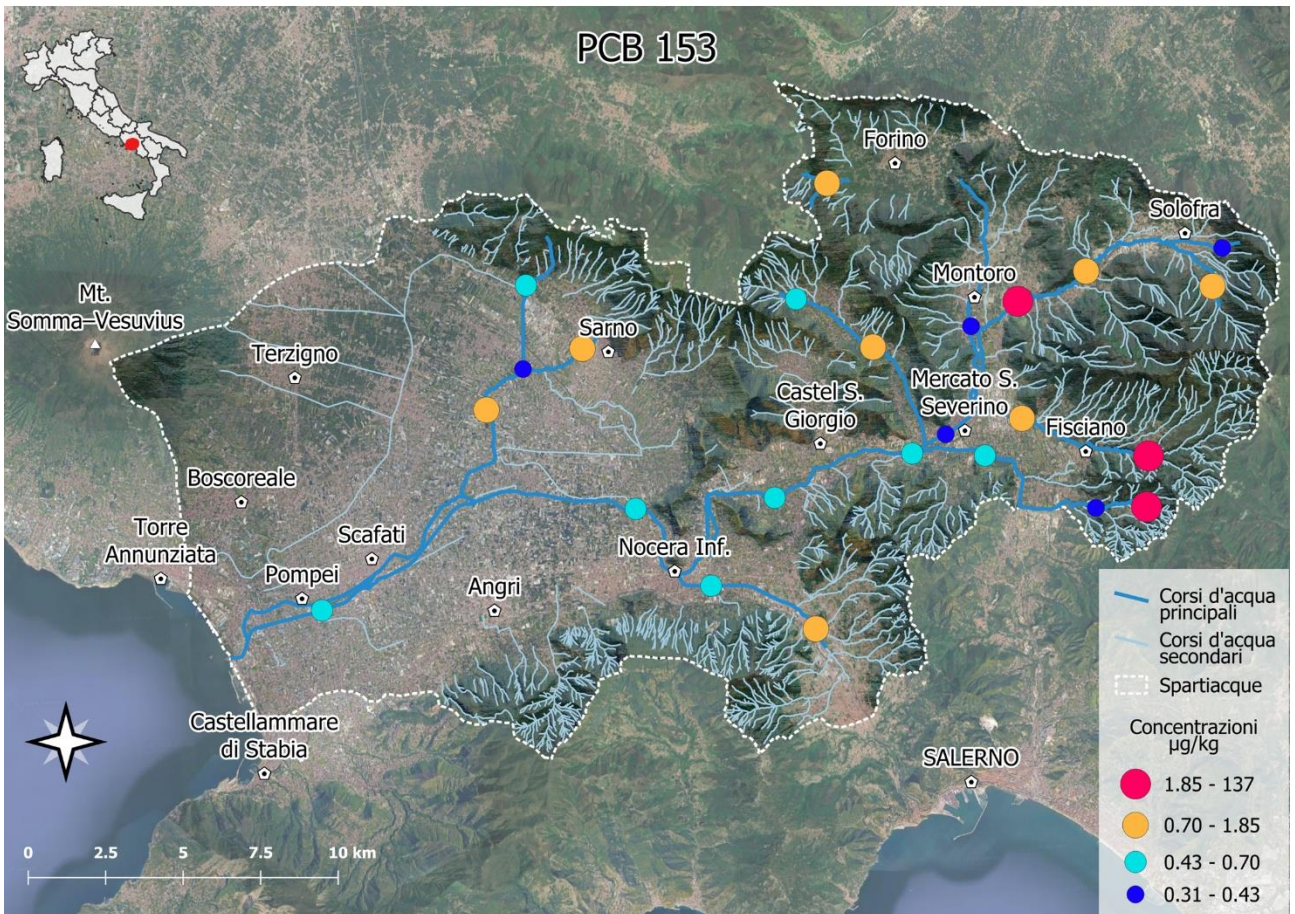
D29. PCB177

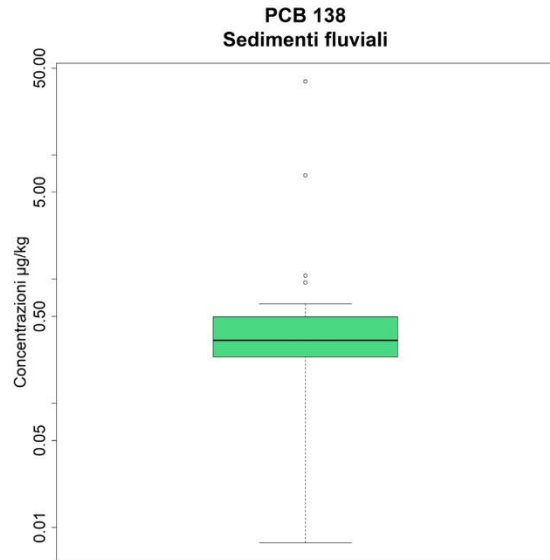
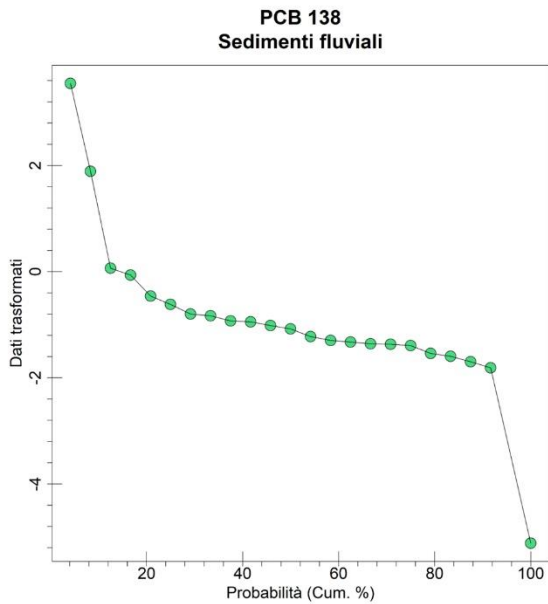
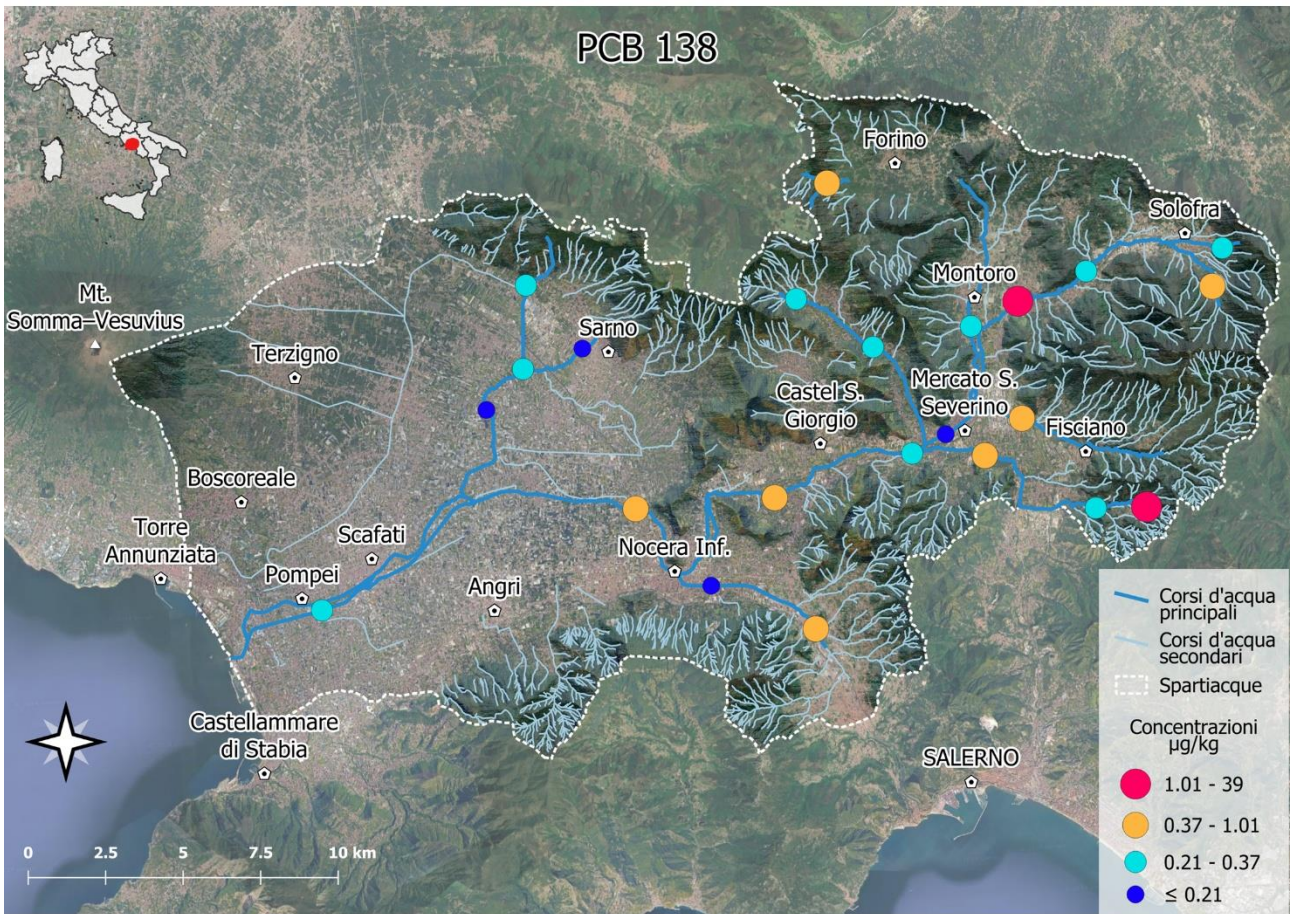
D30. PCB170

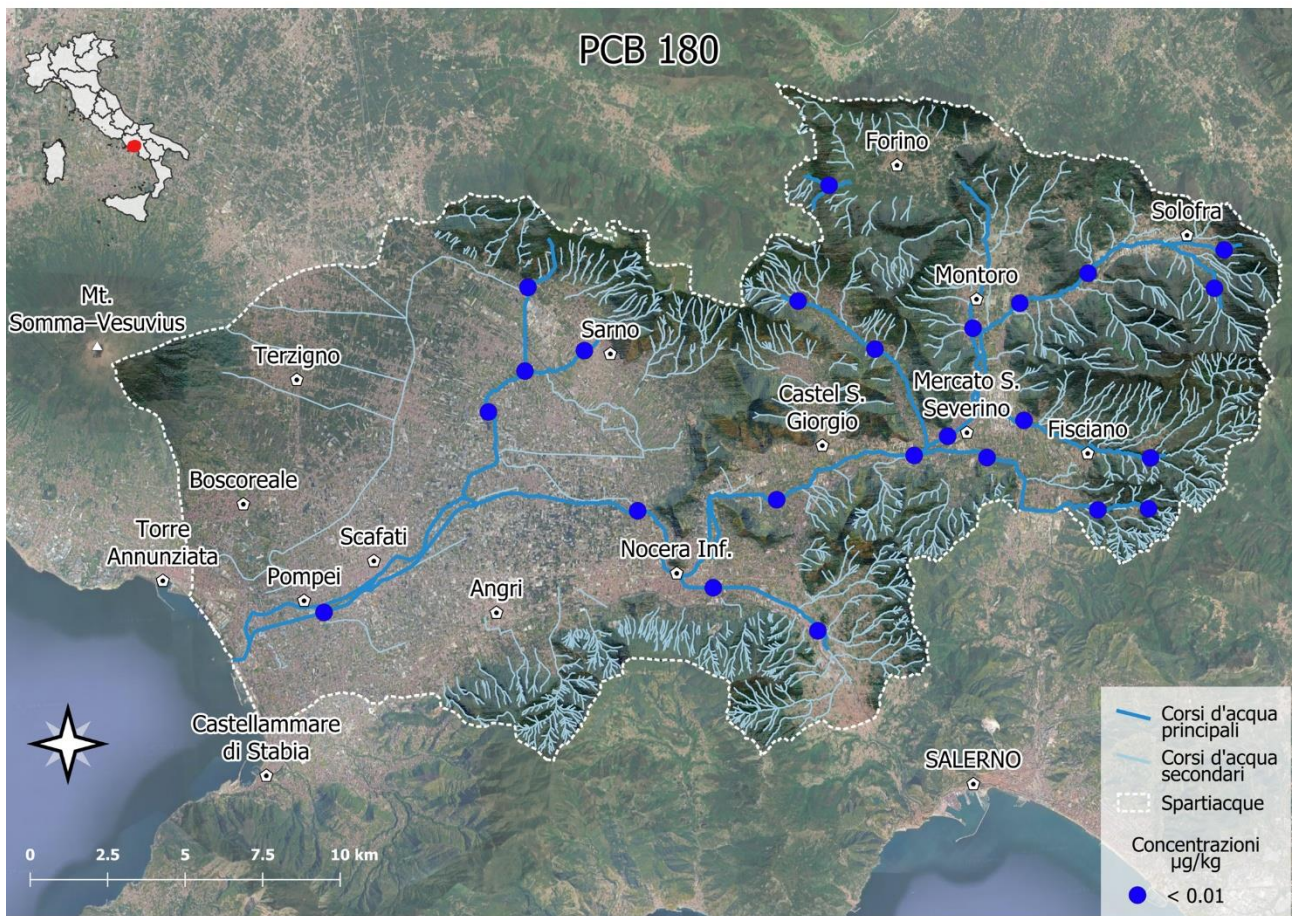


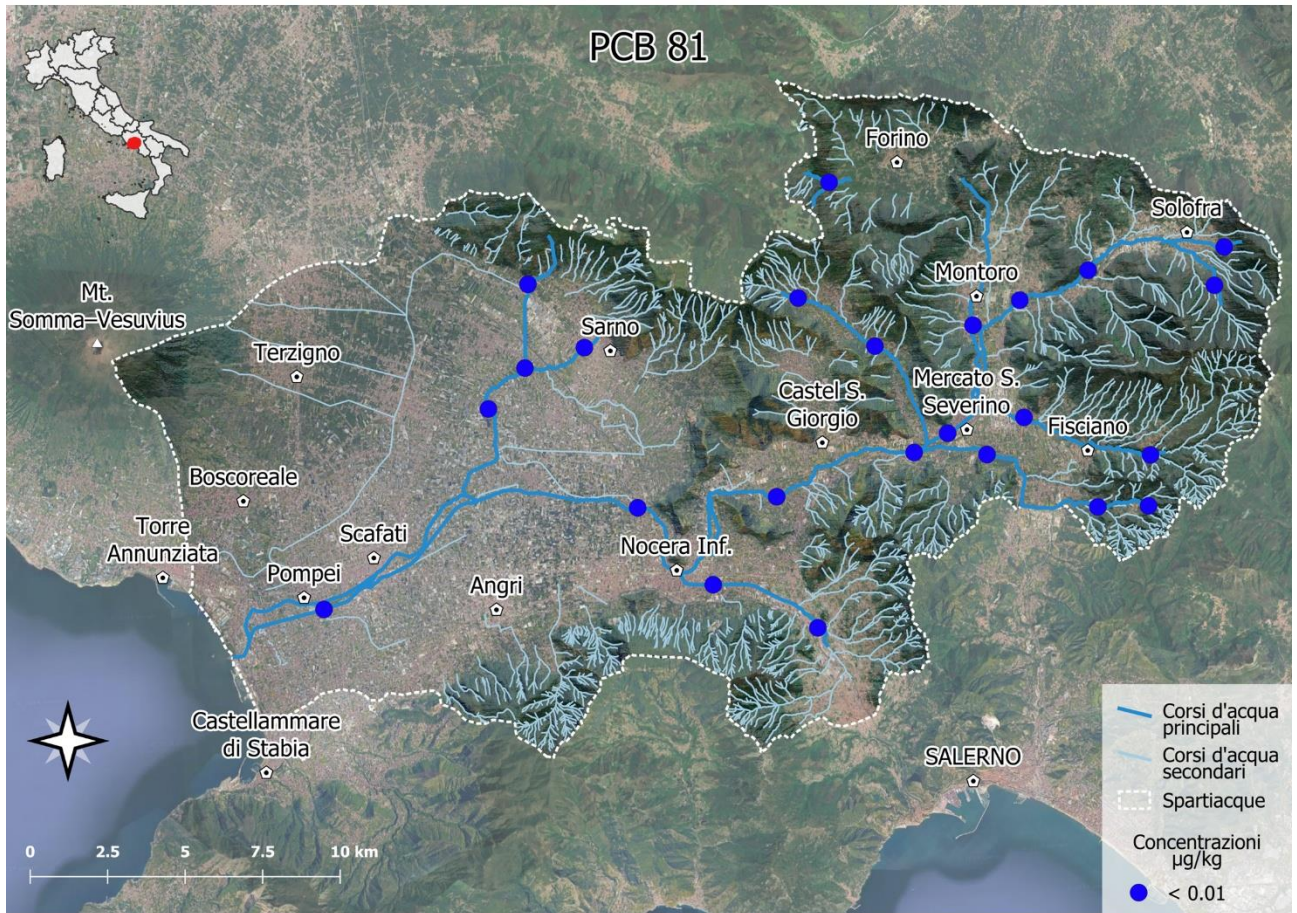


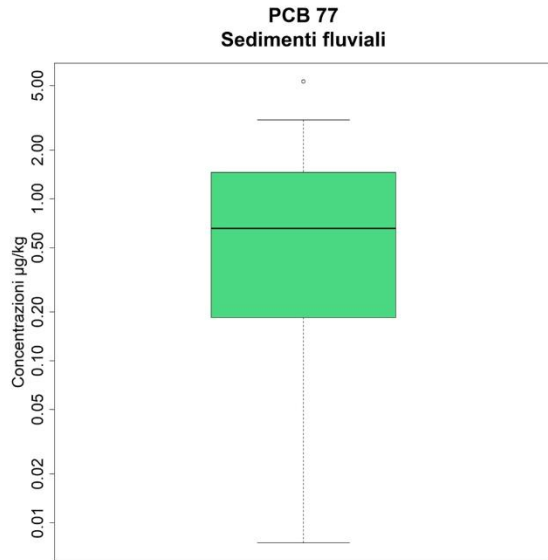
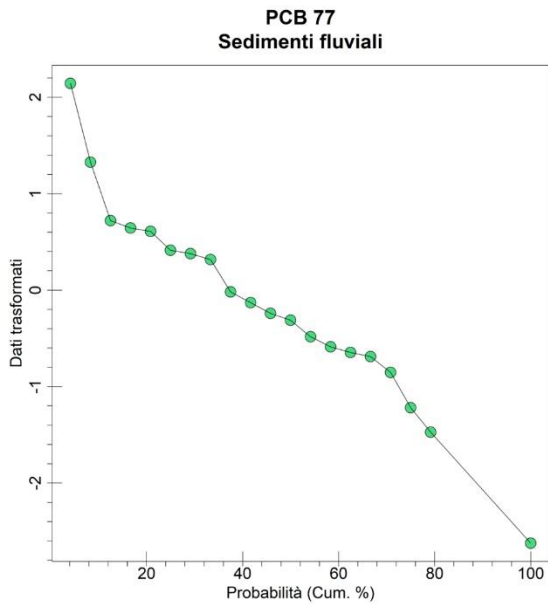
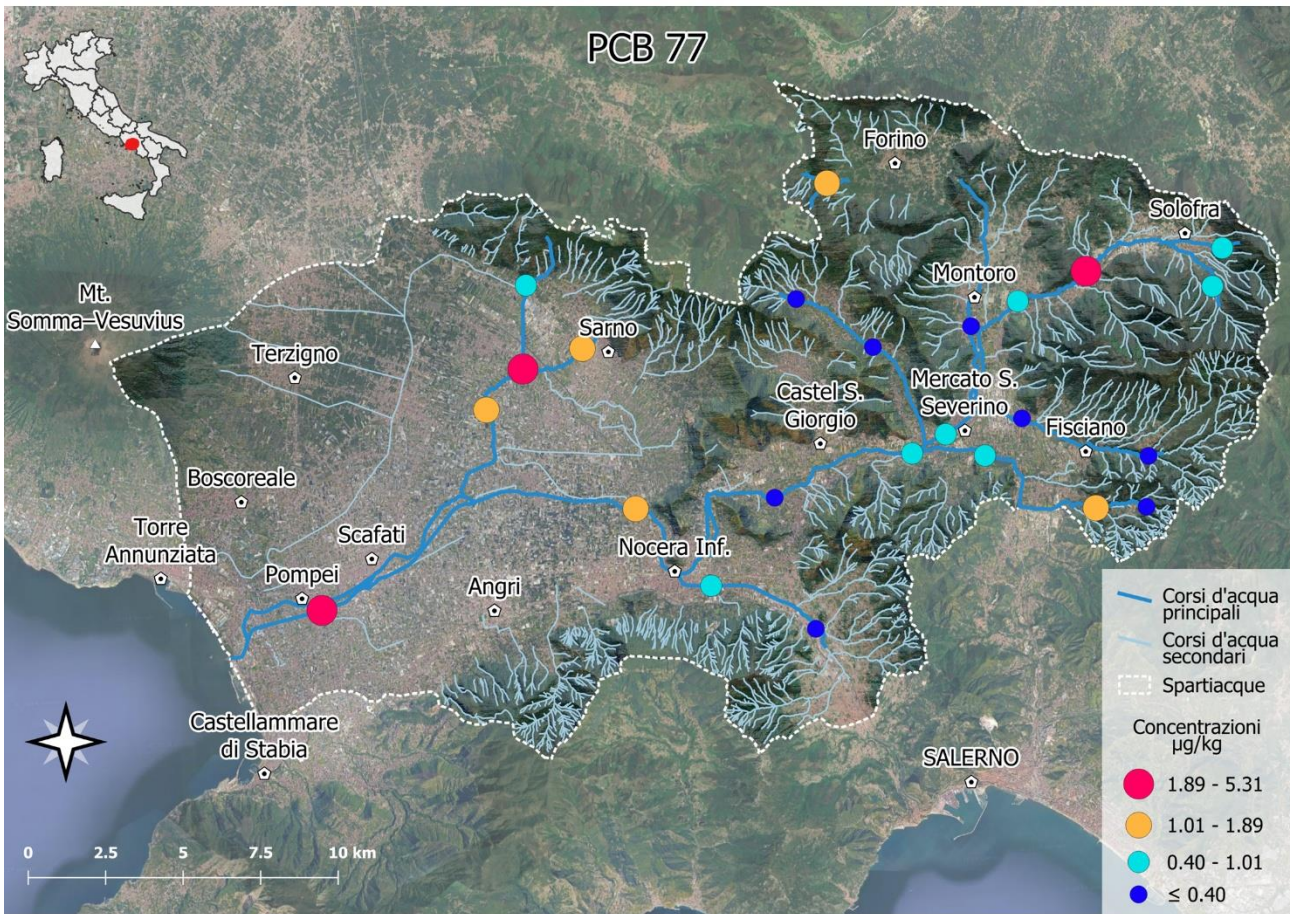


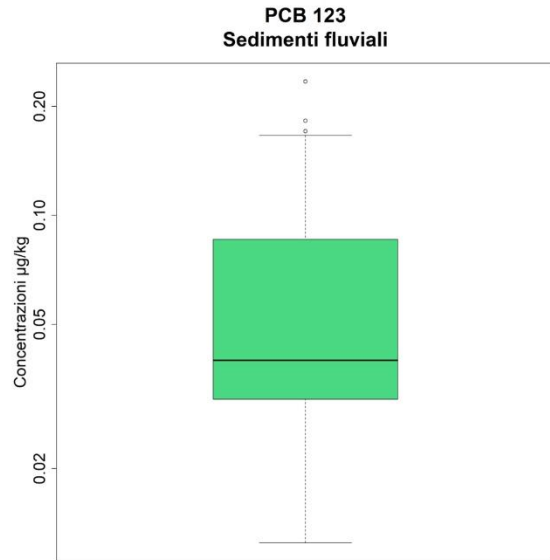
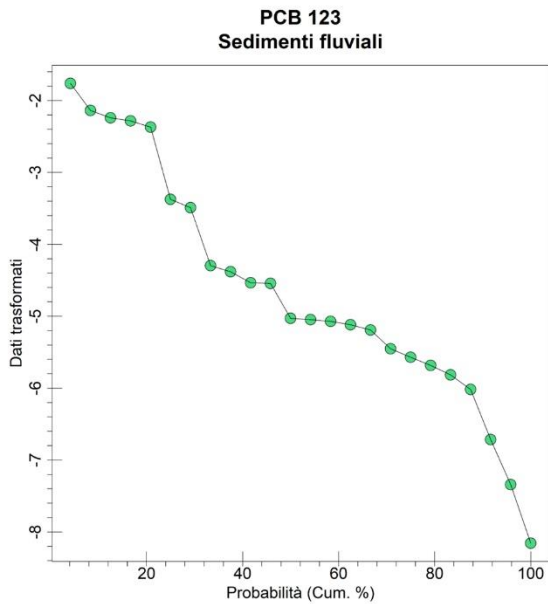
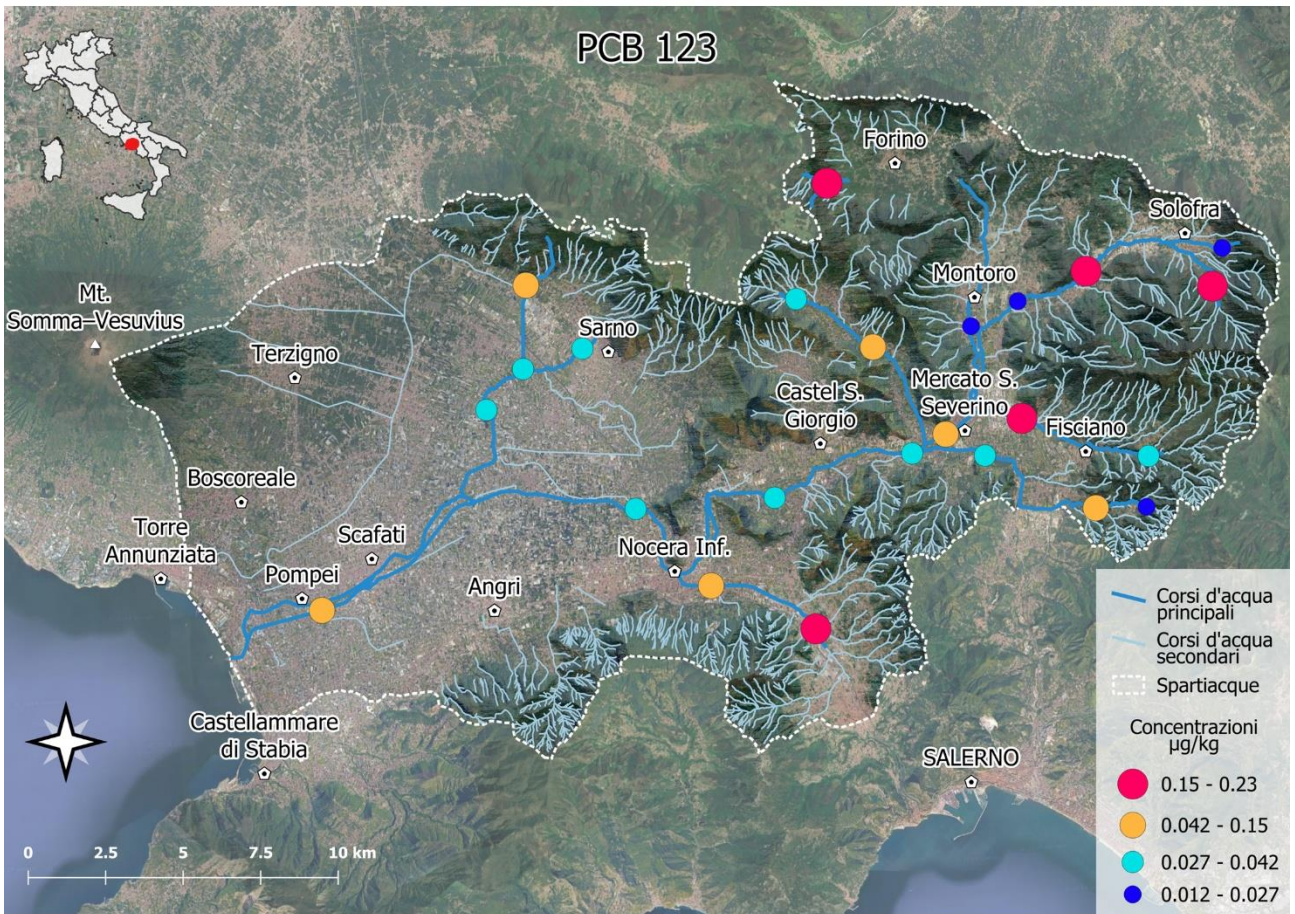


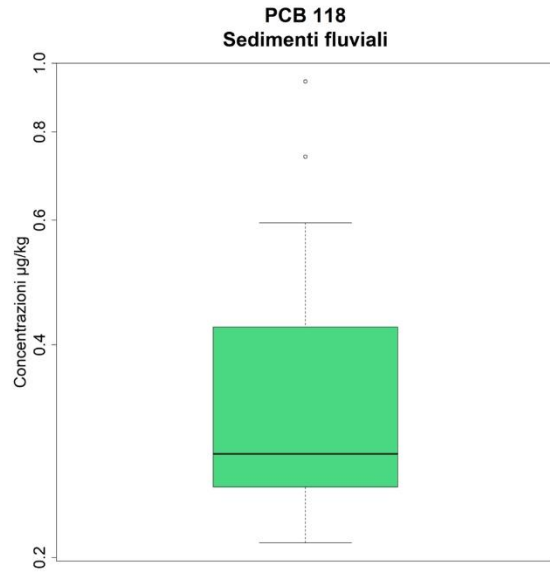
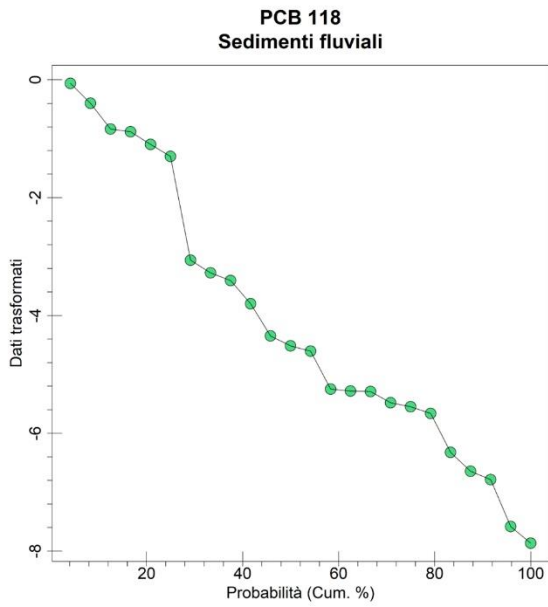
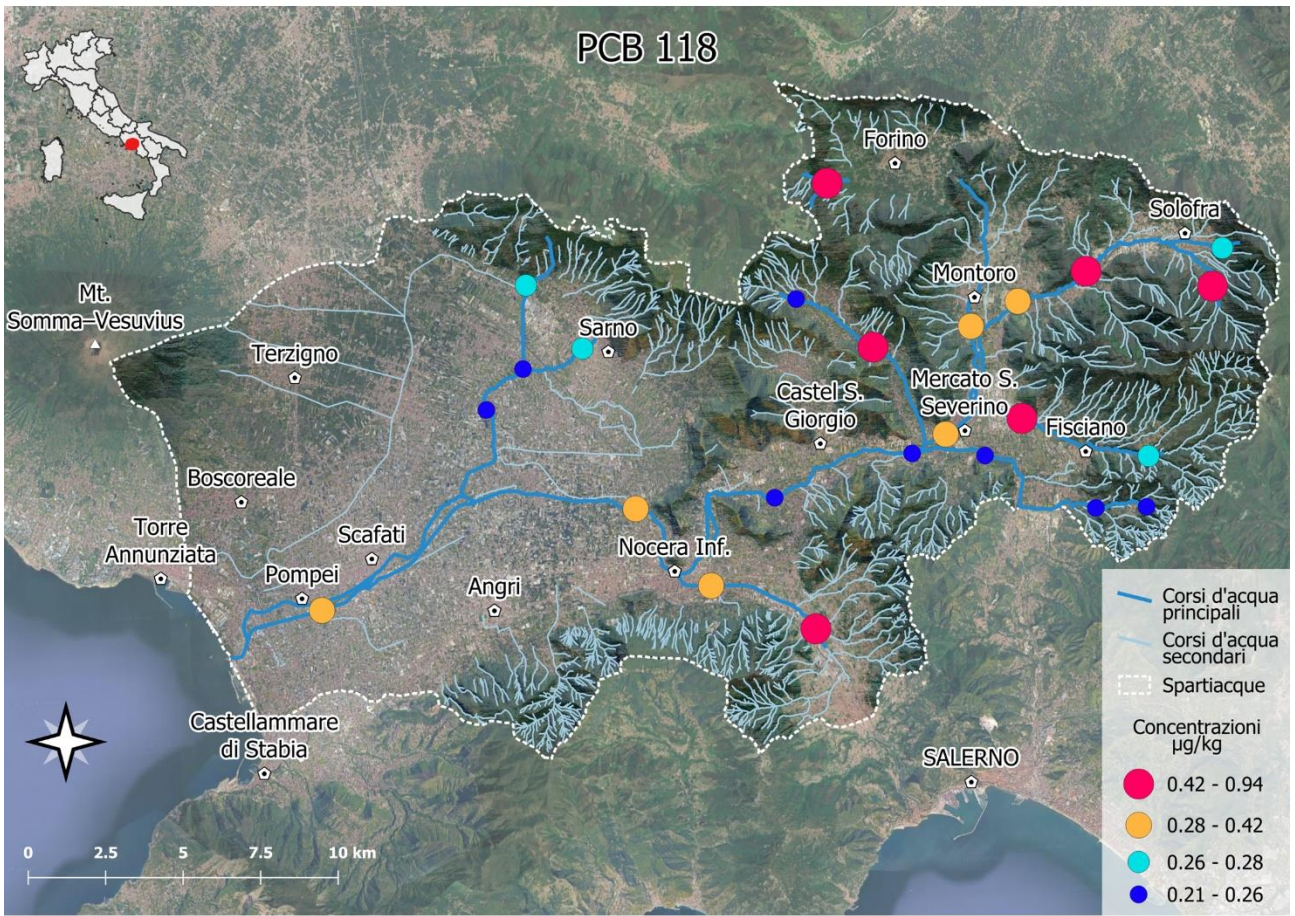


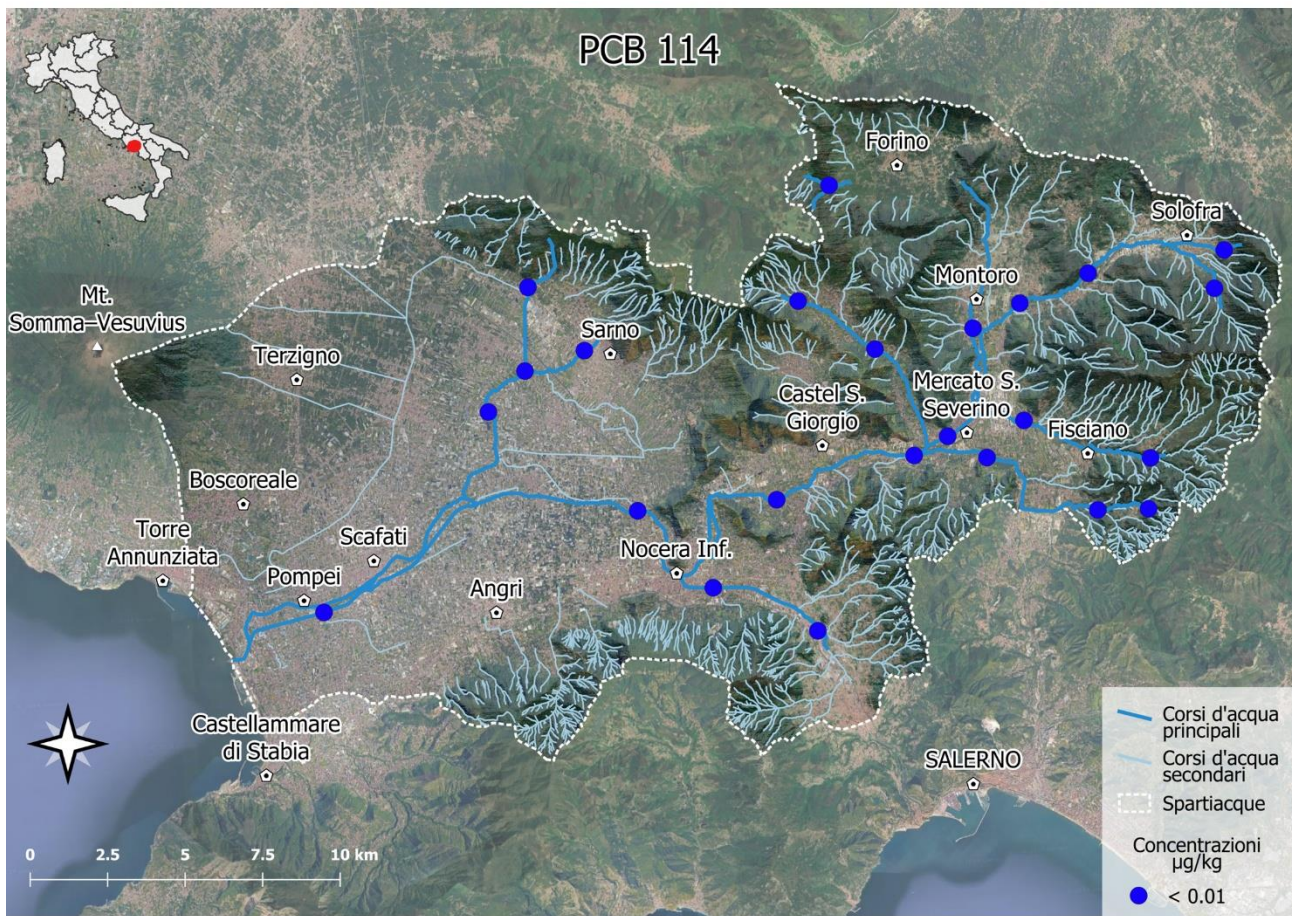


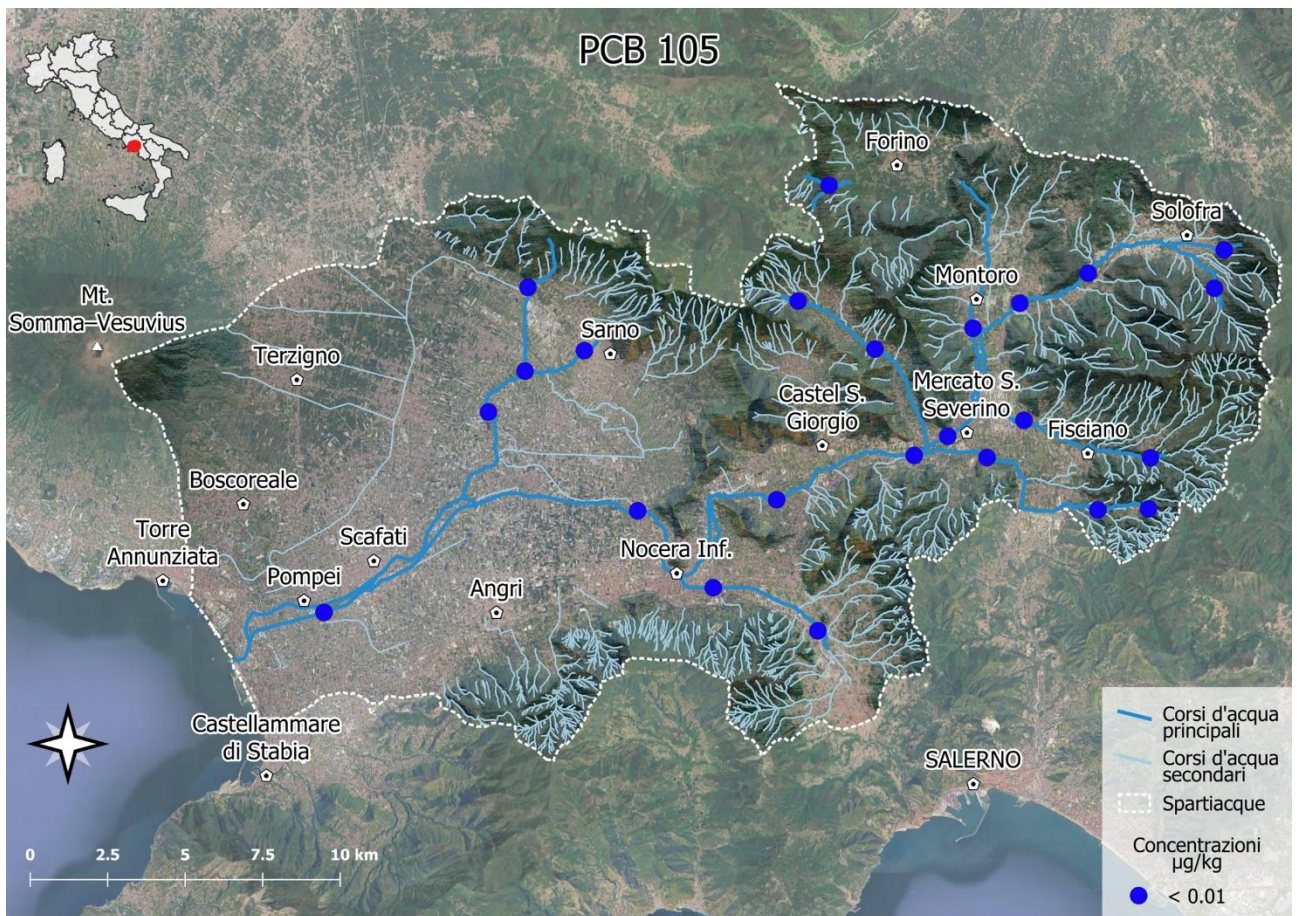


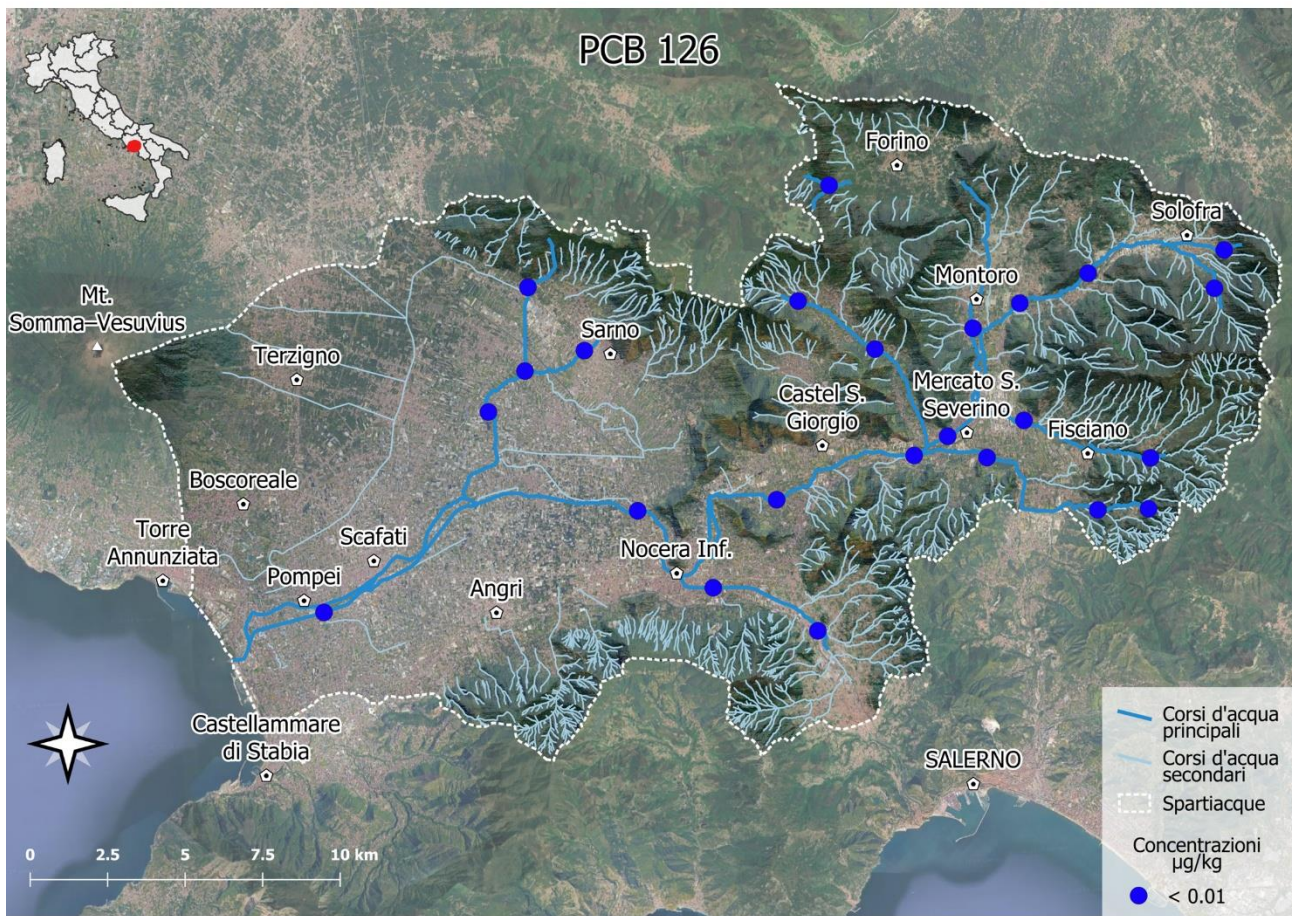




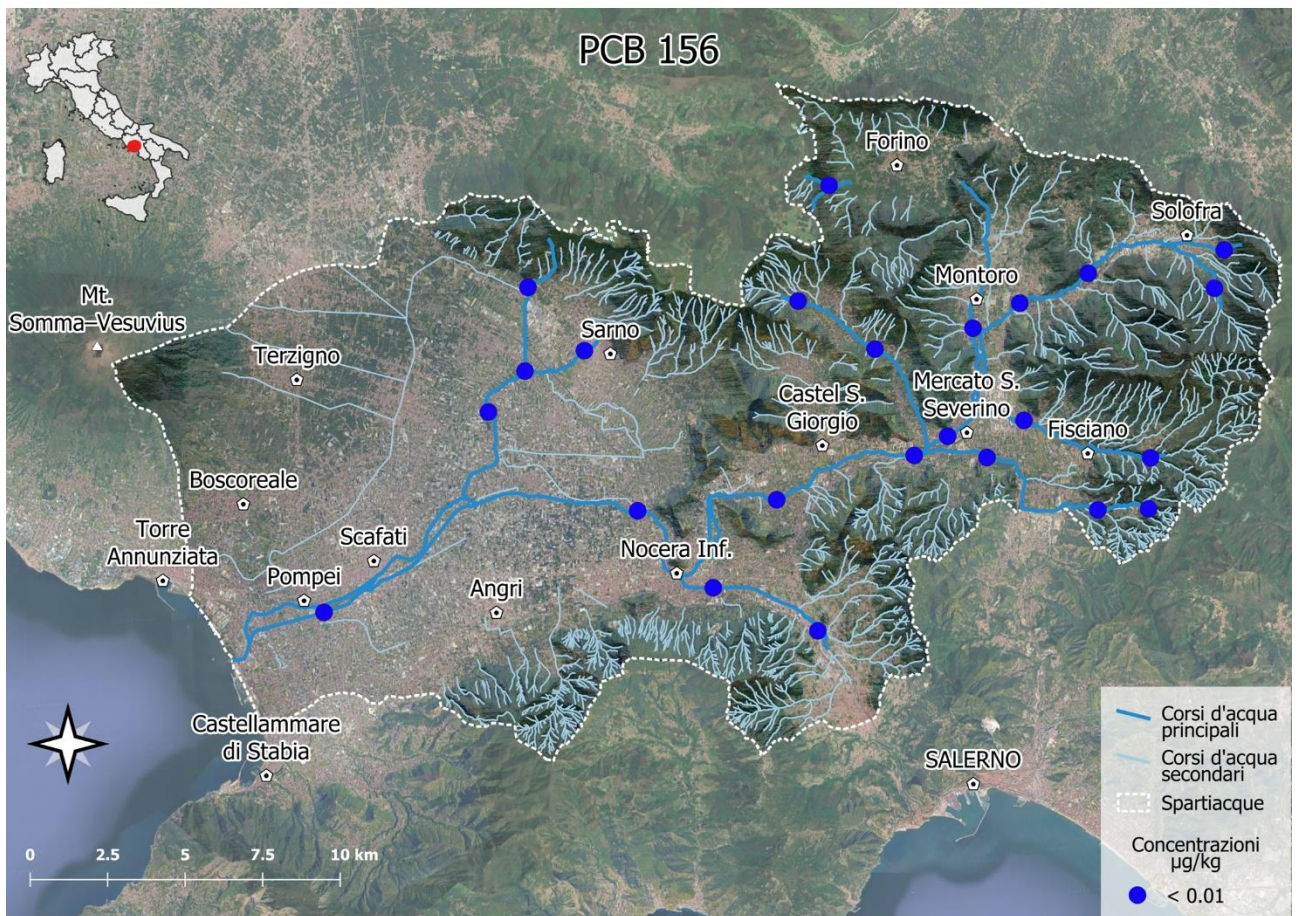


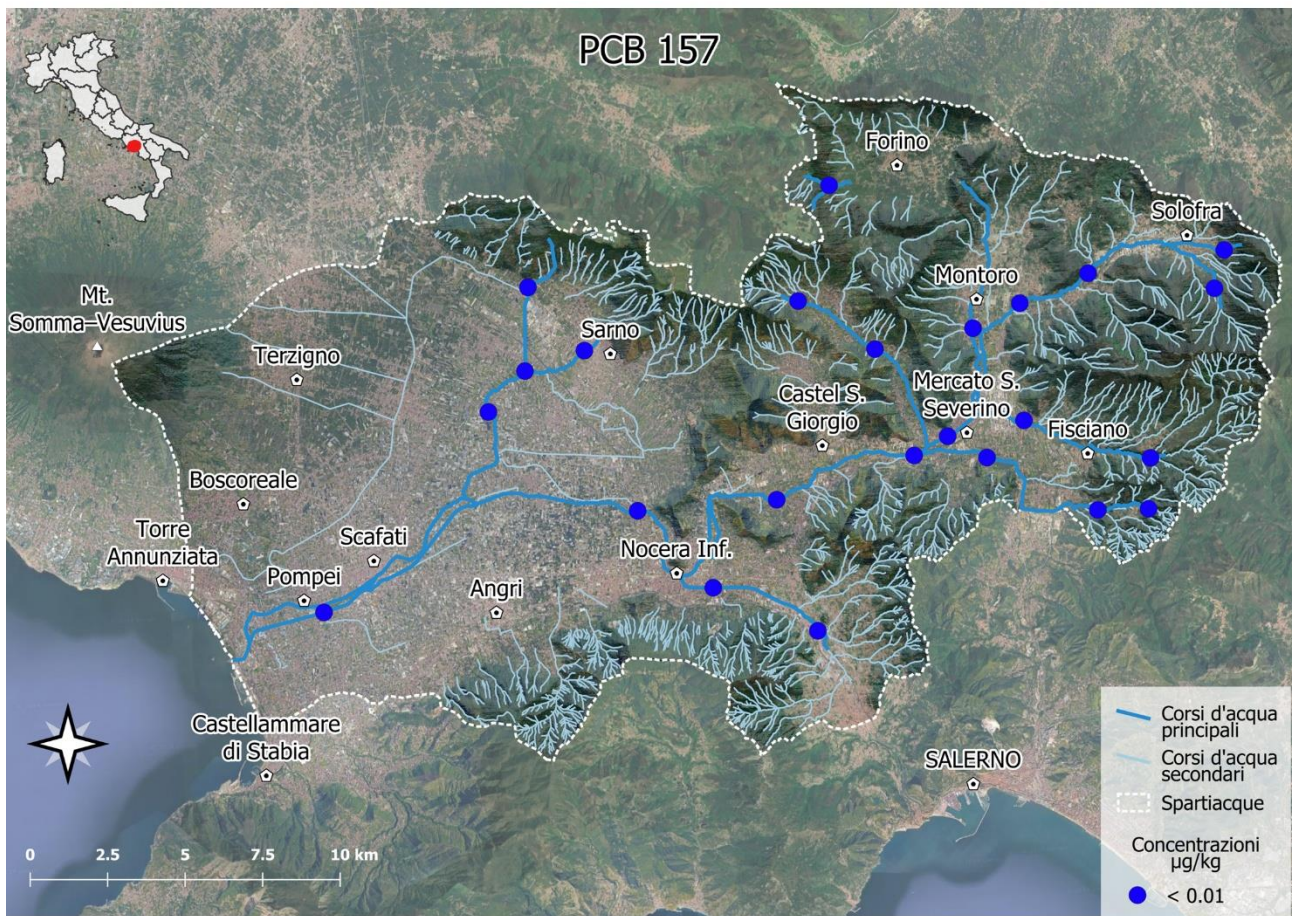




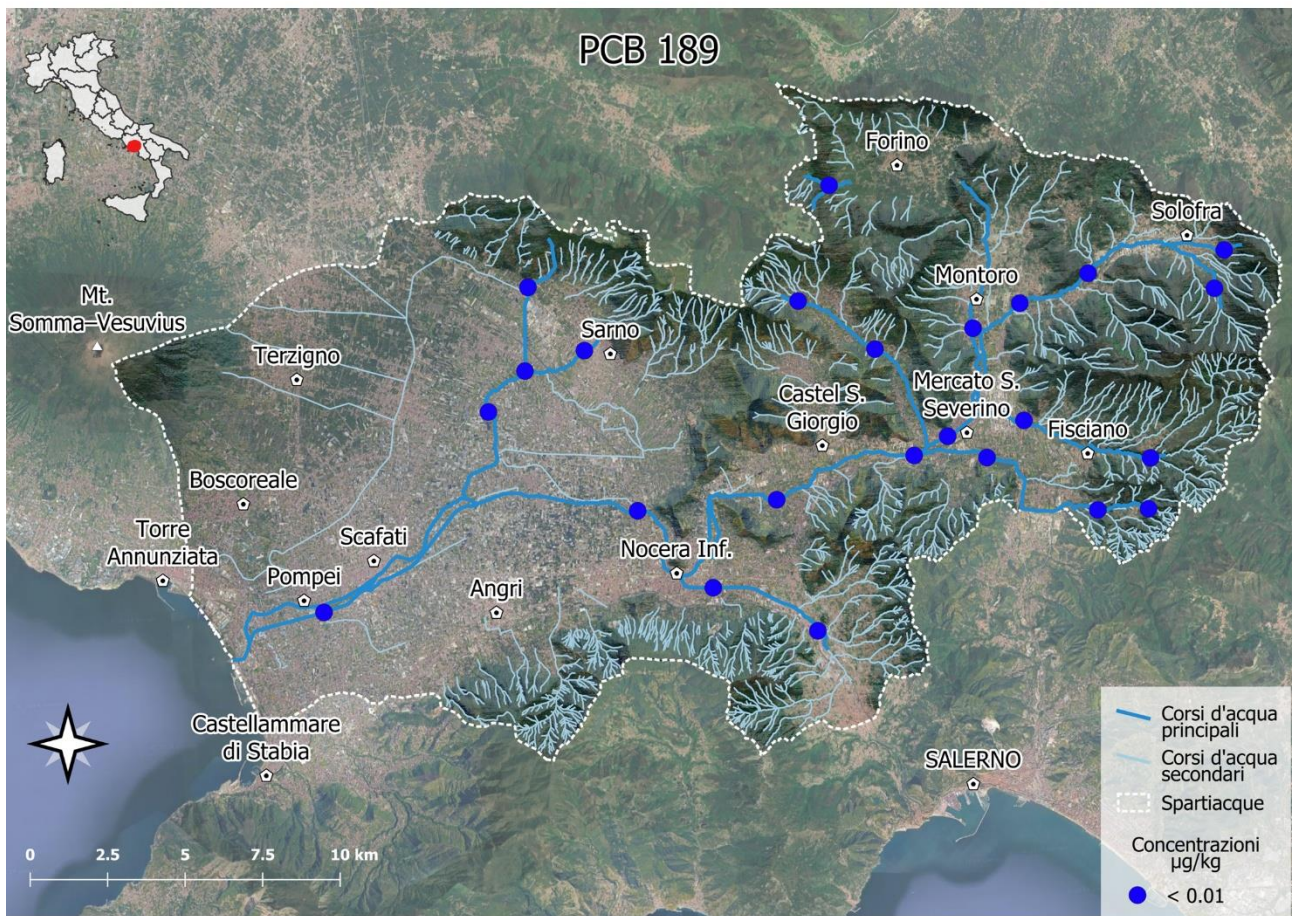


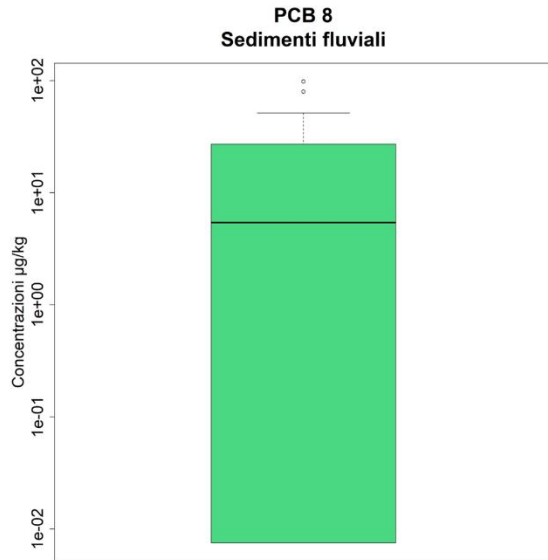
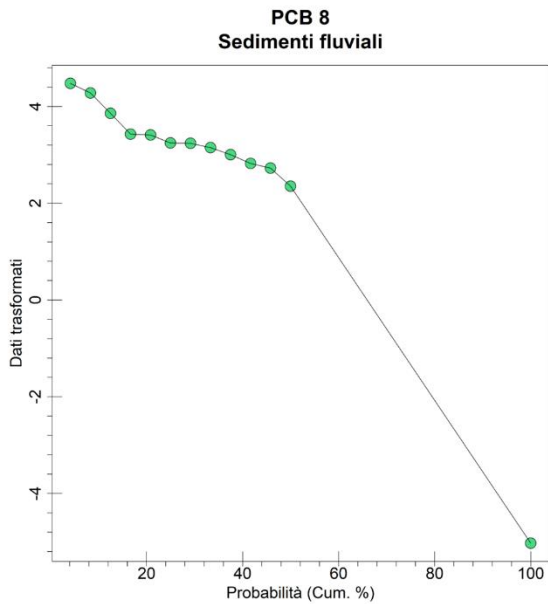
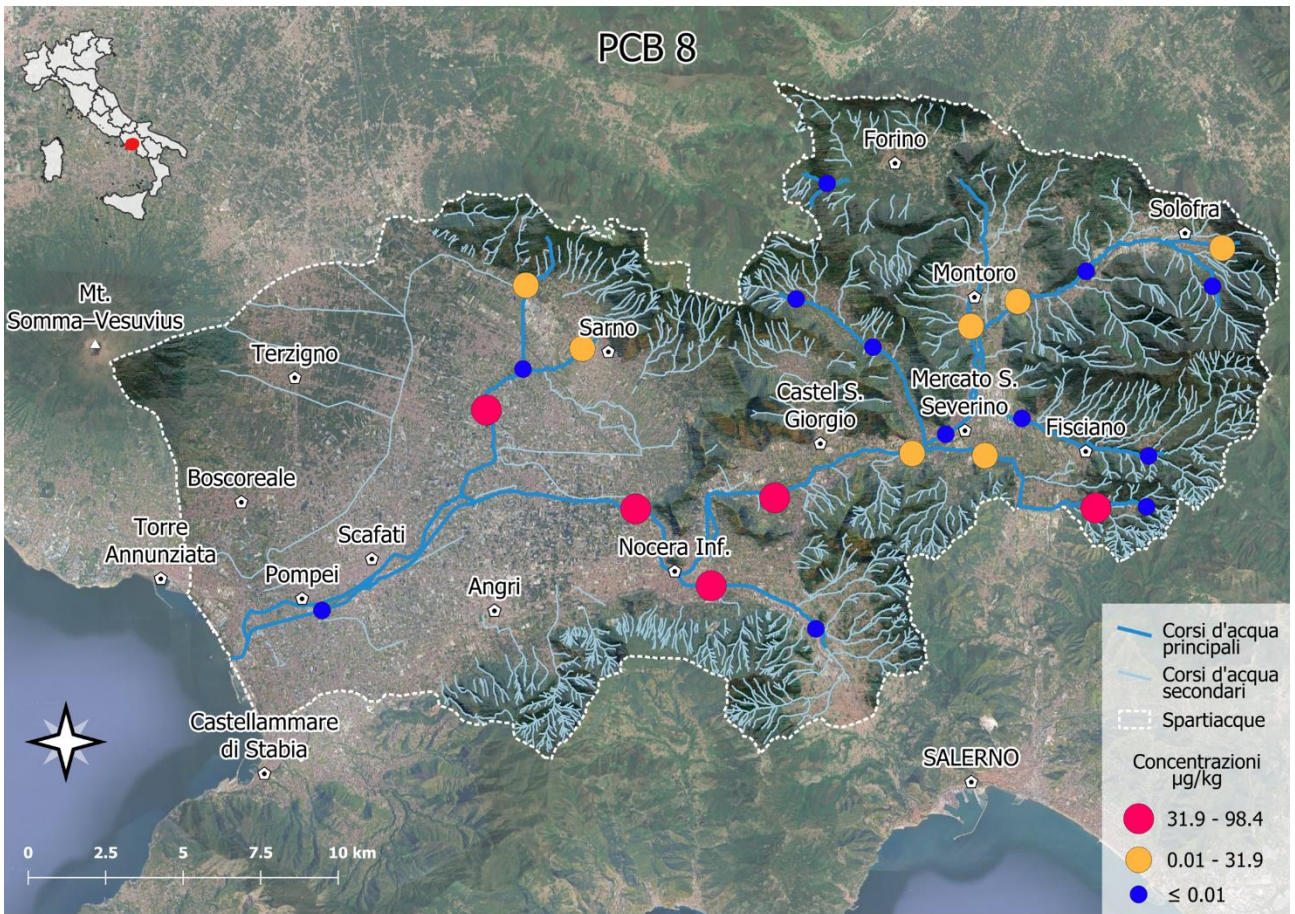


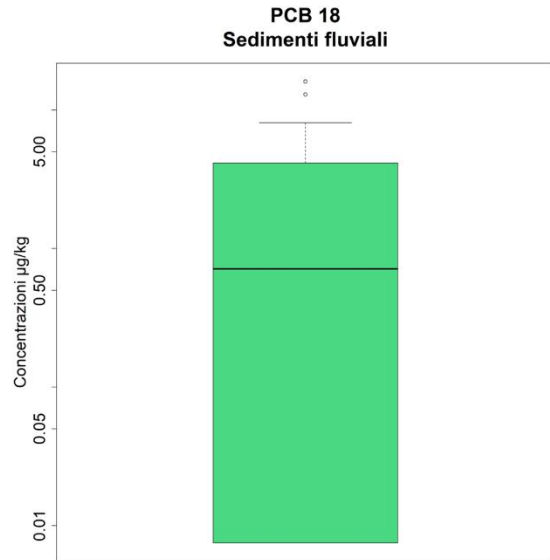
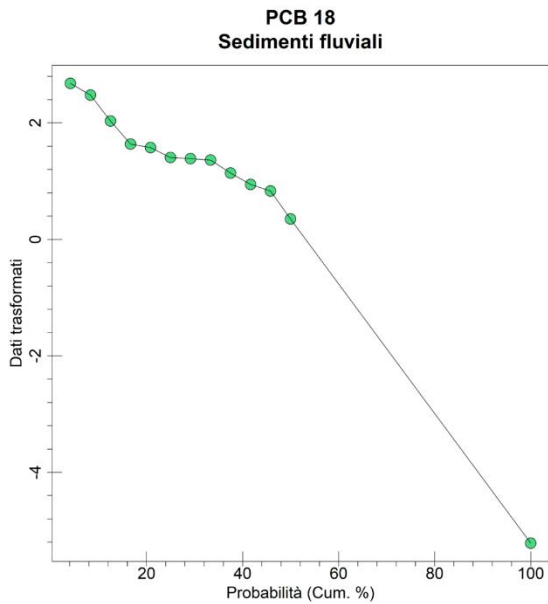
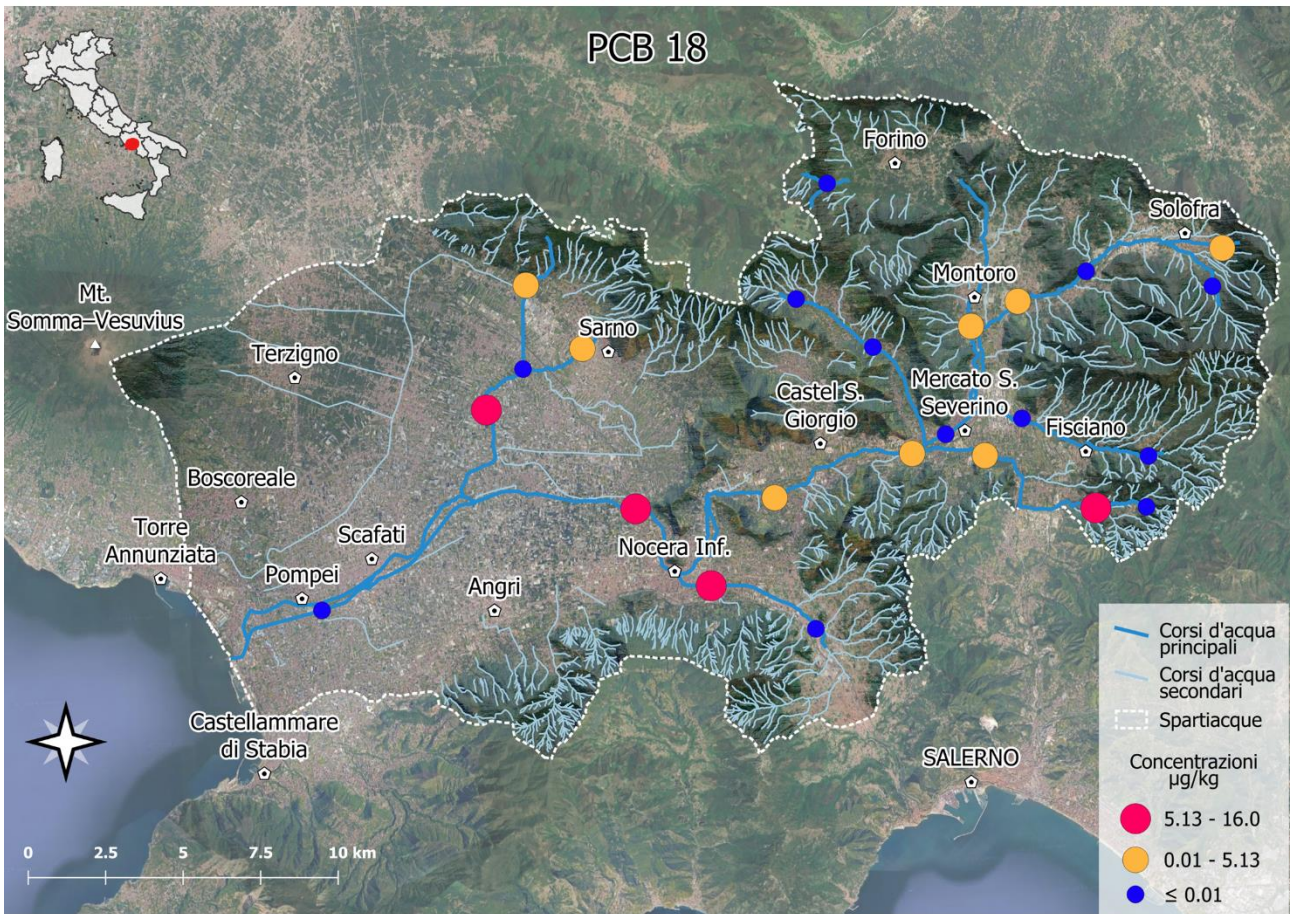


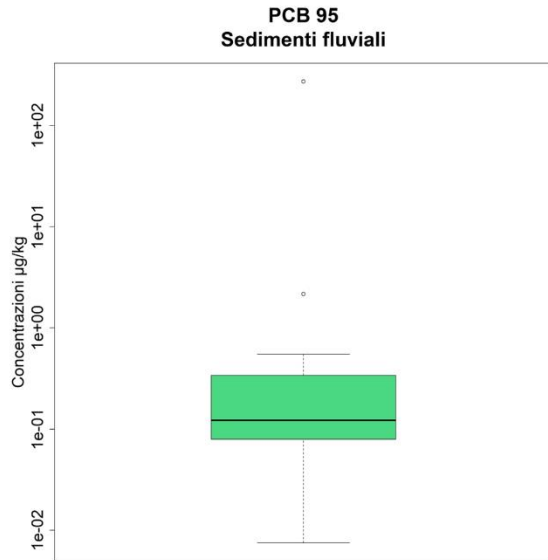
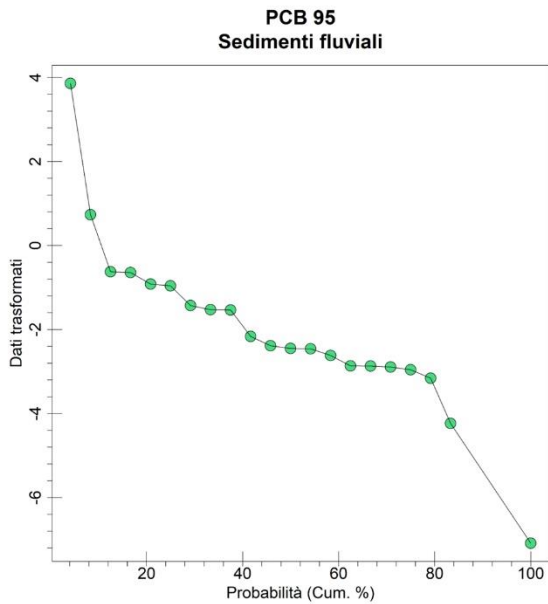
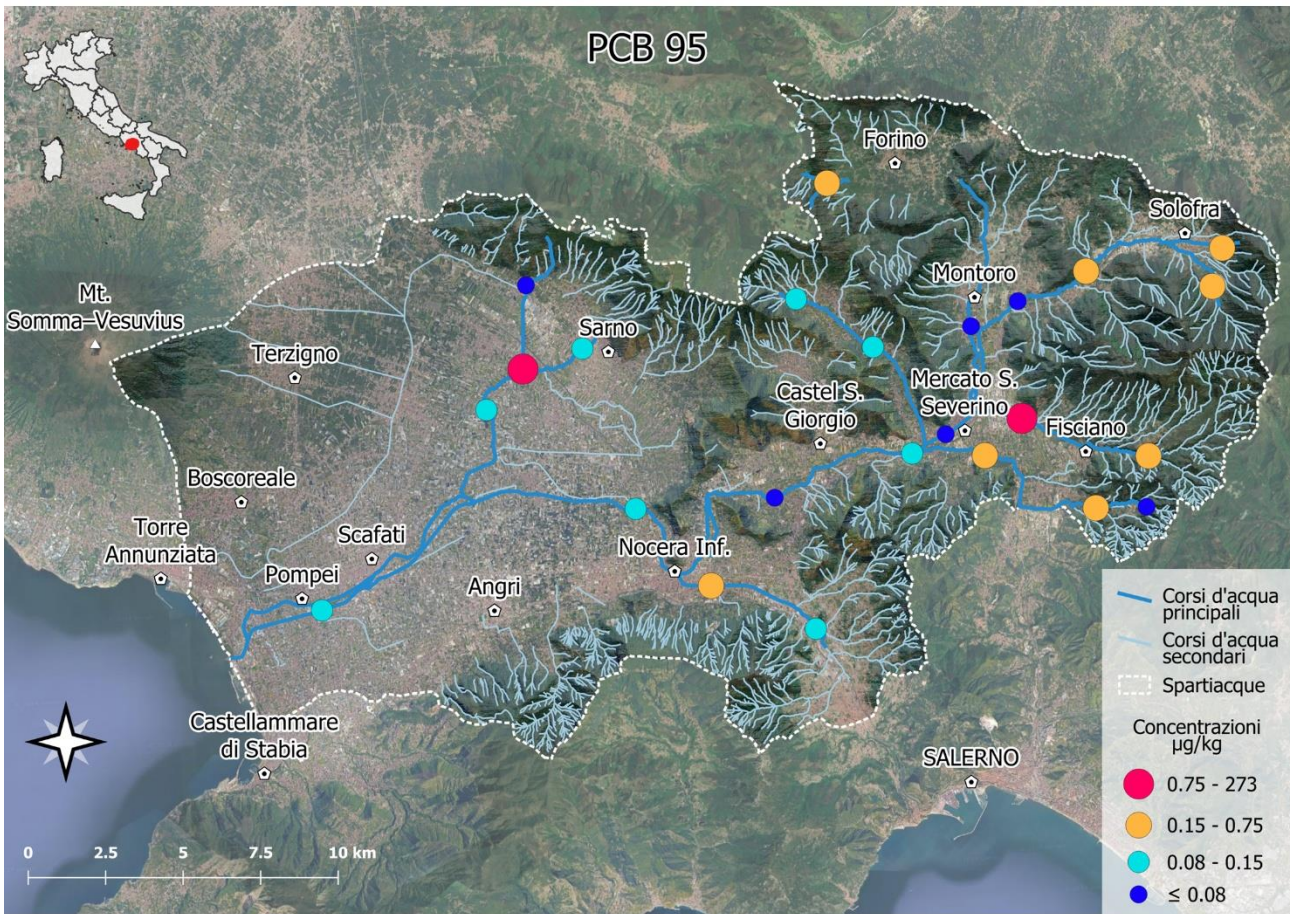


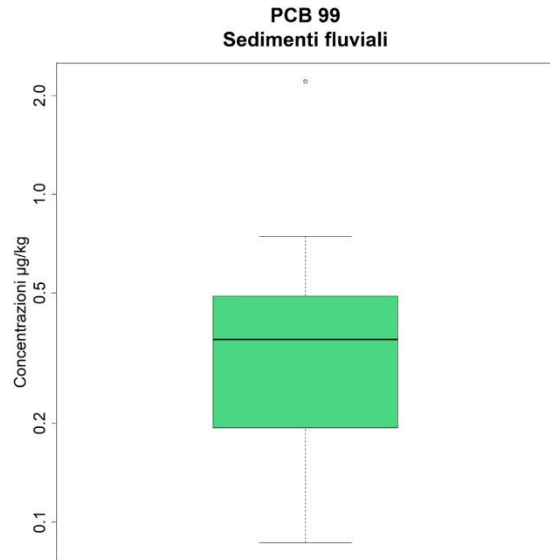
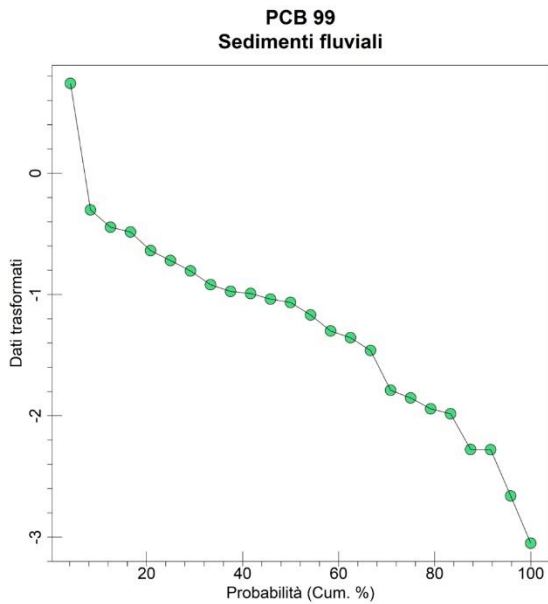
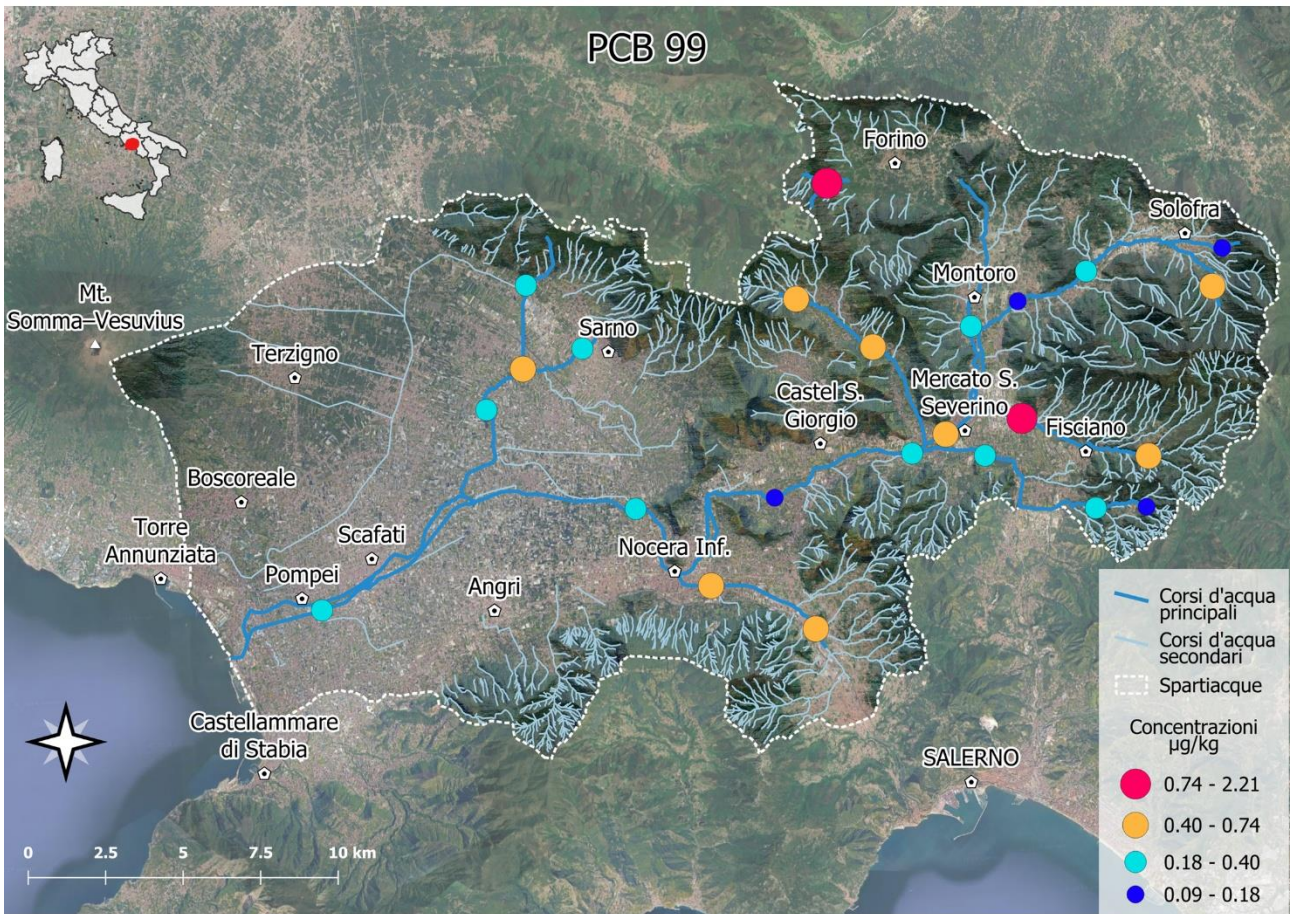


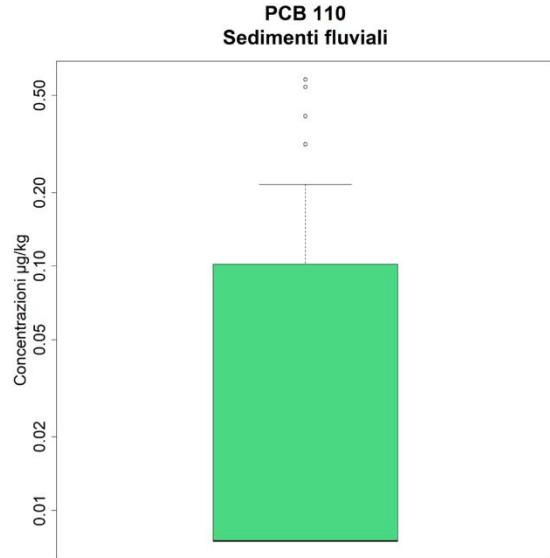
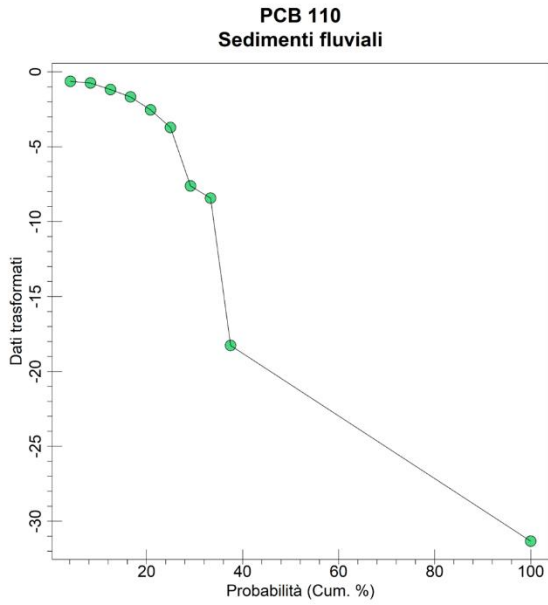
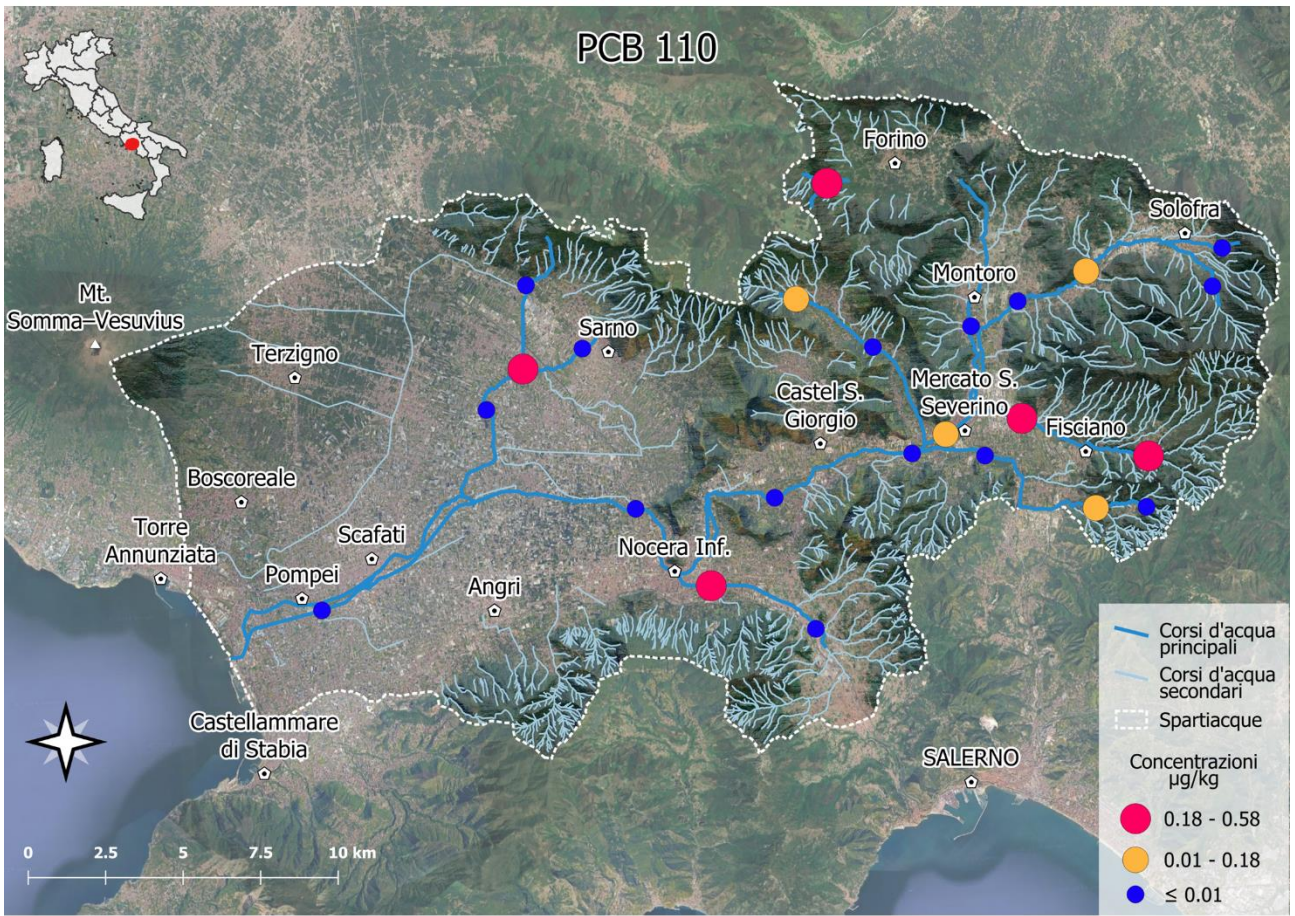


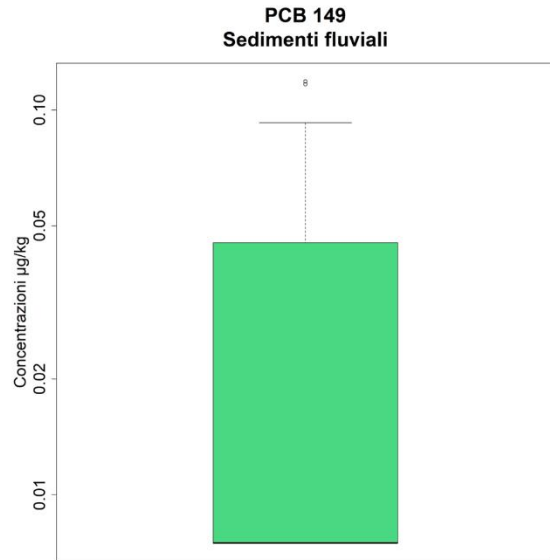
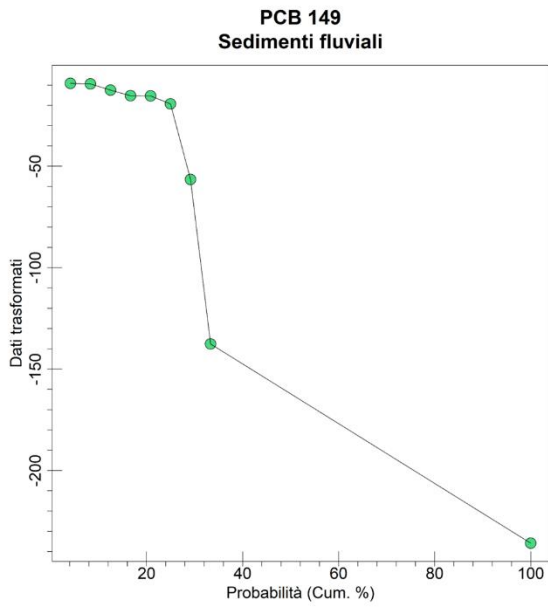
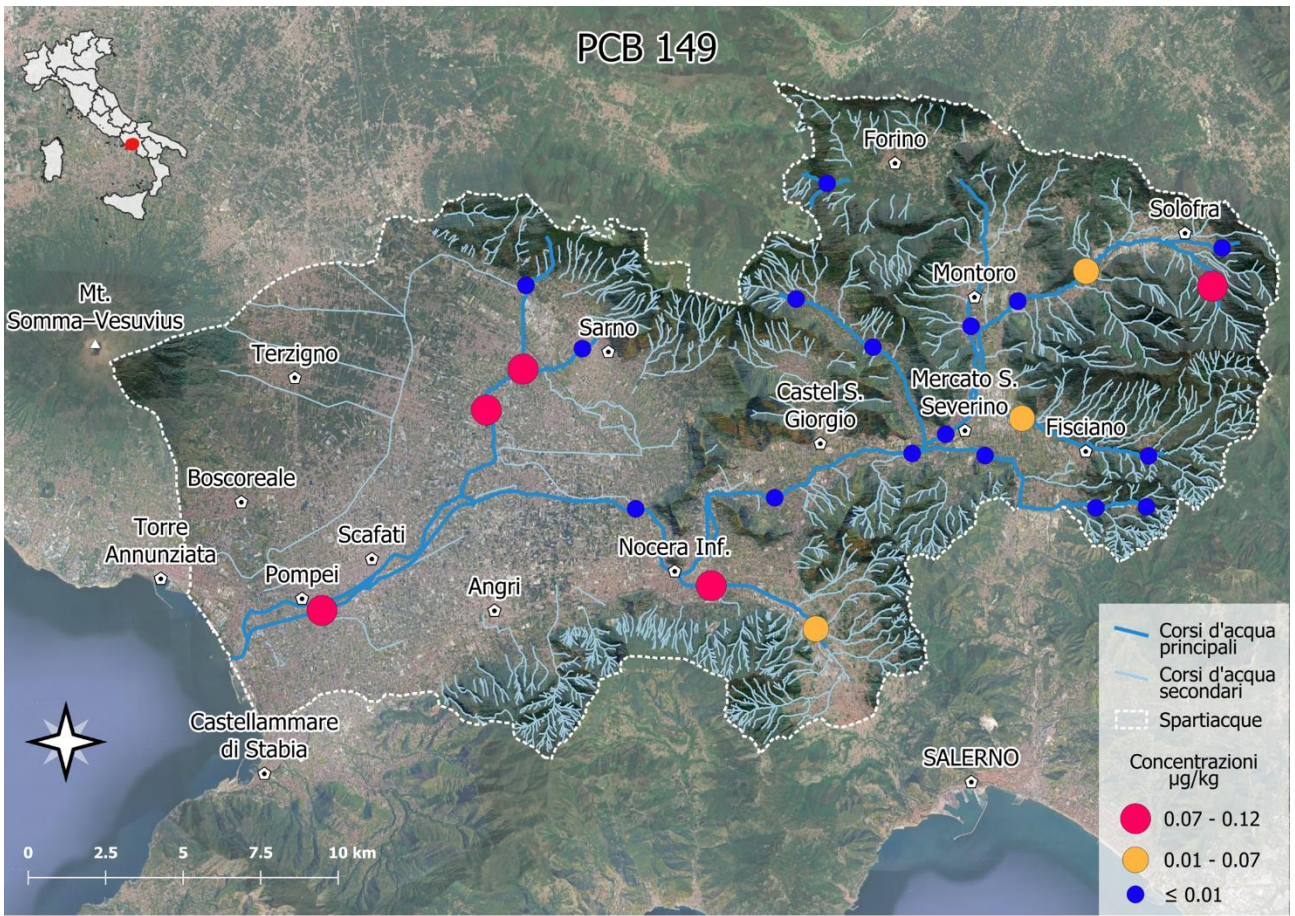


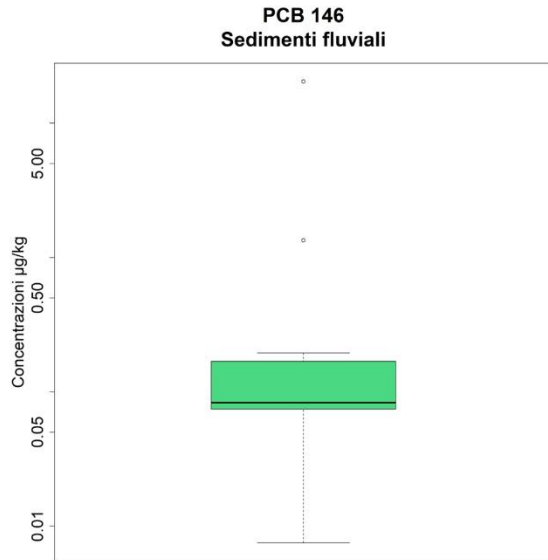
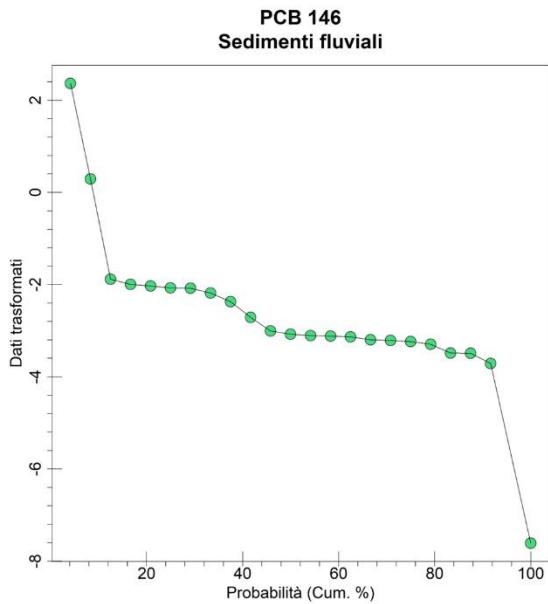
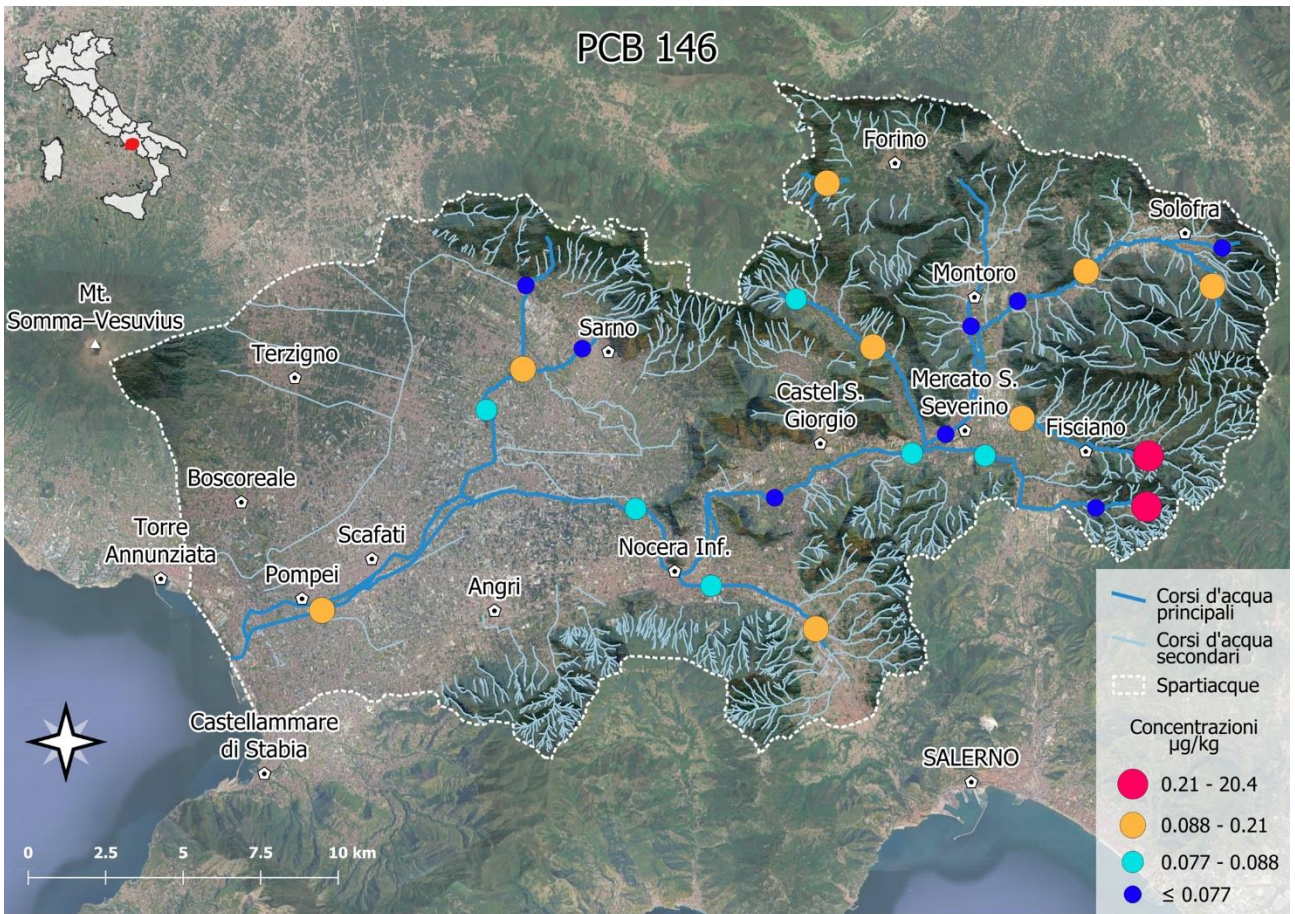


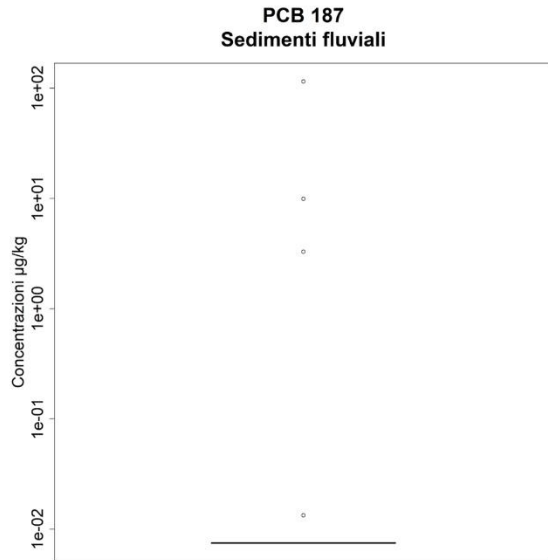
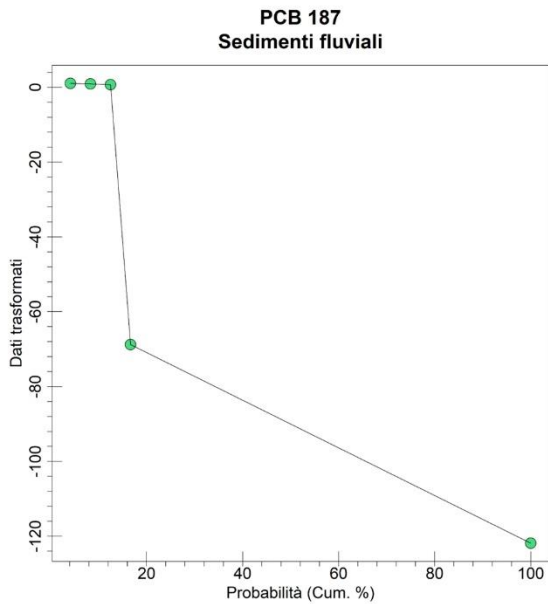
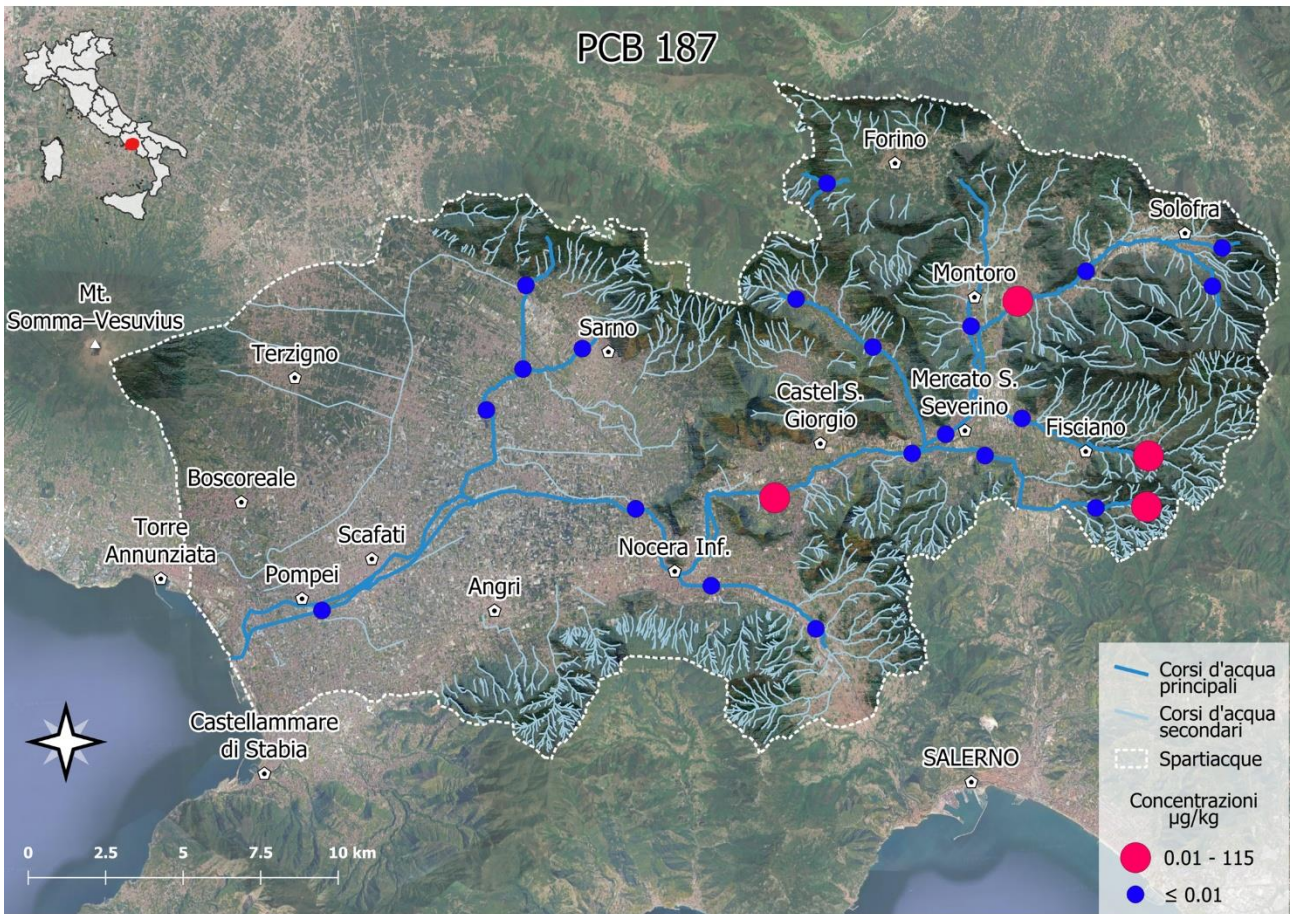


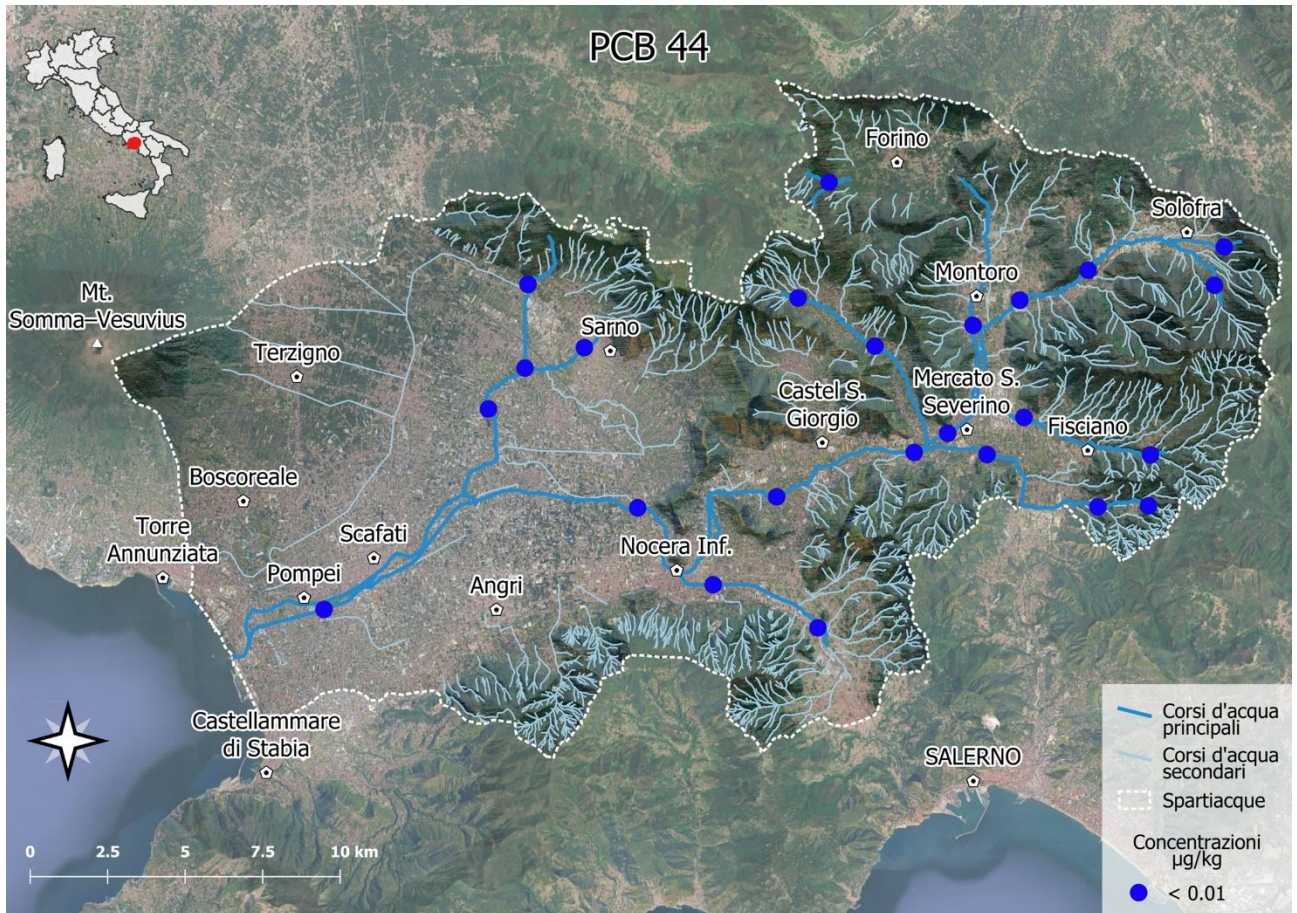


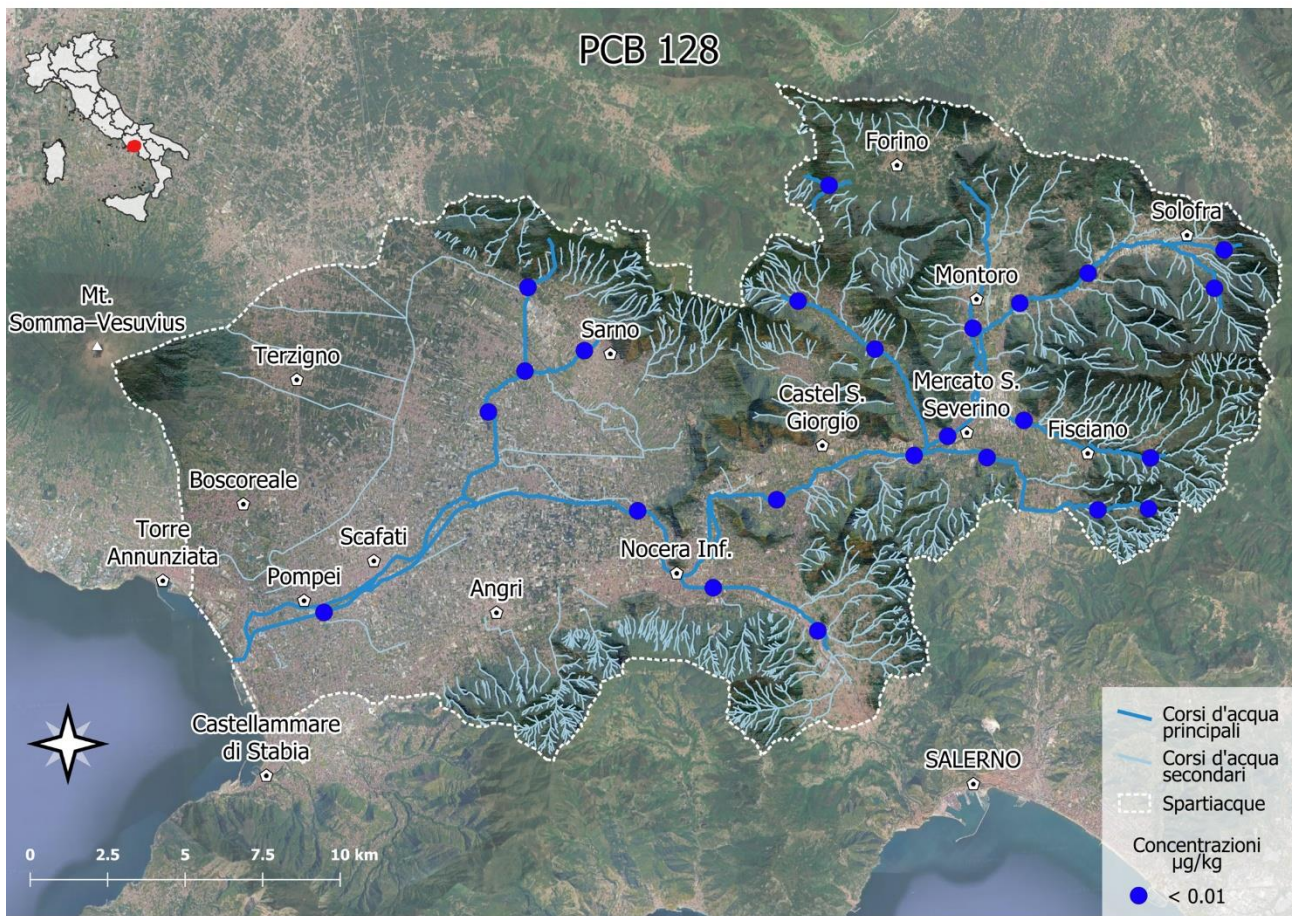


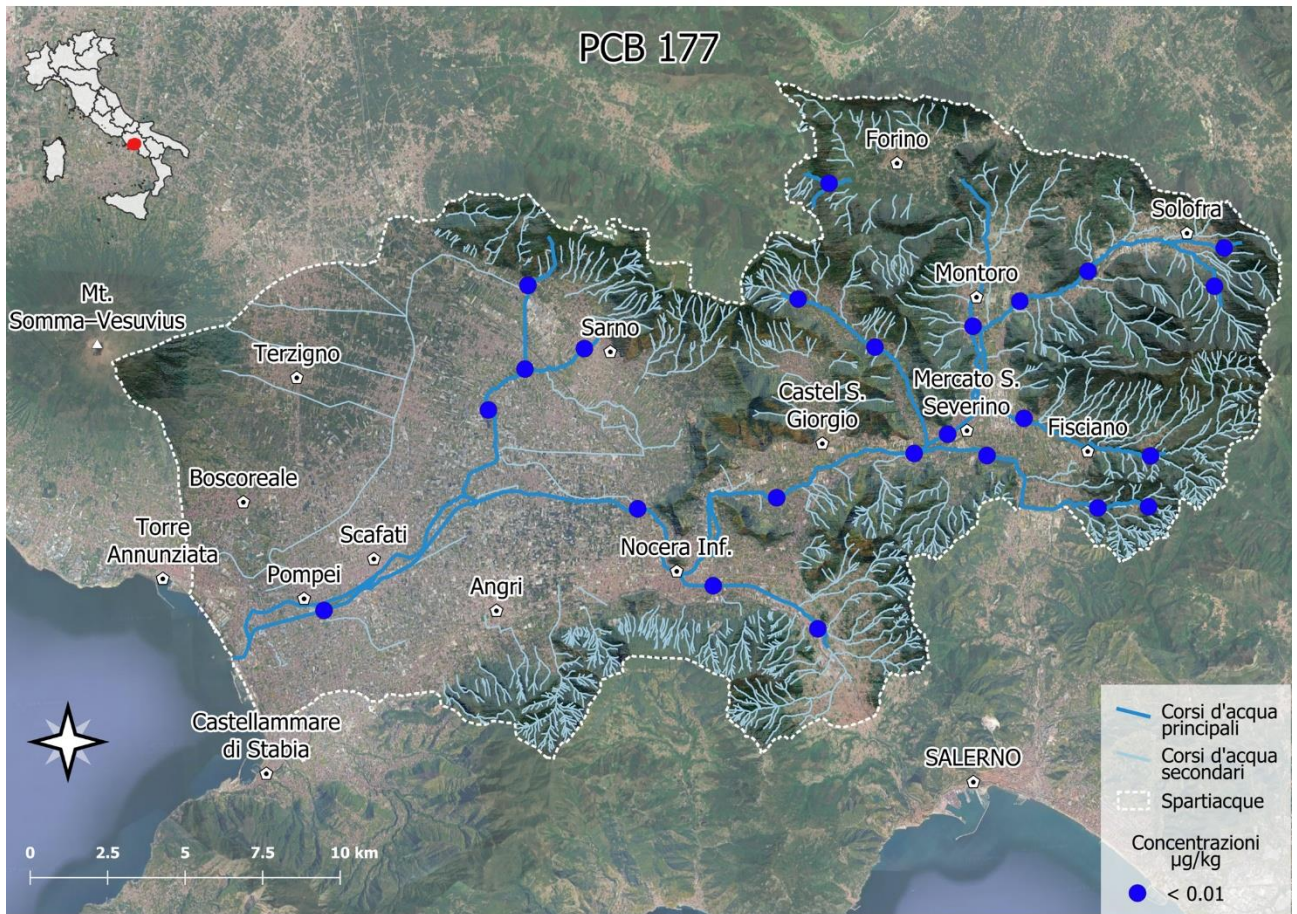


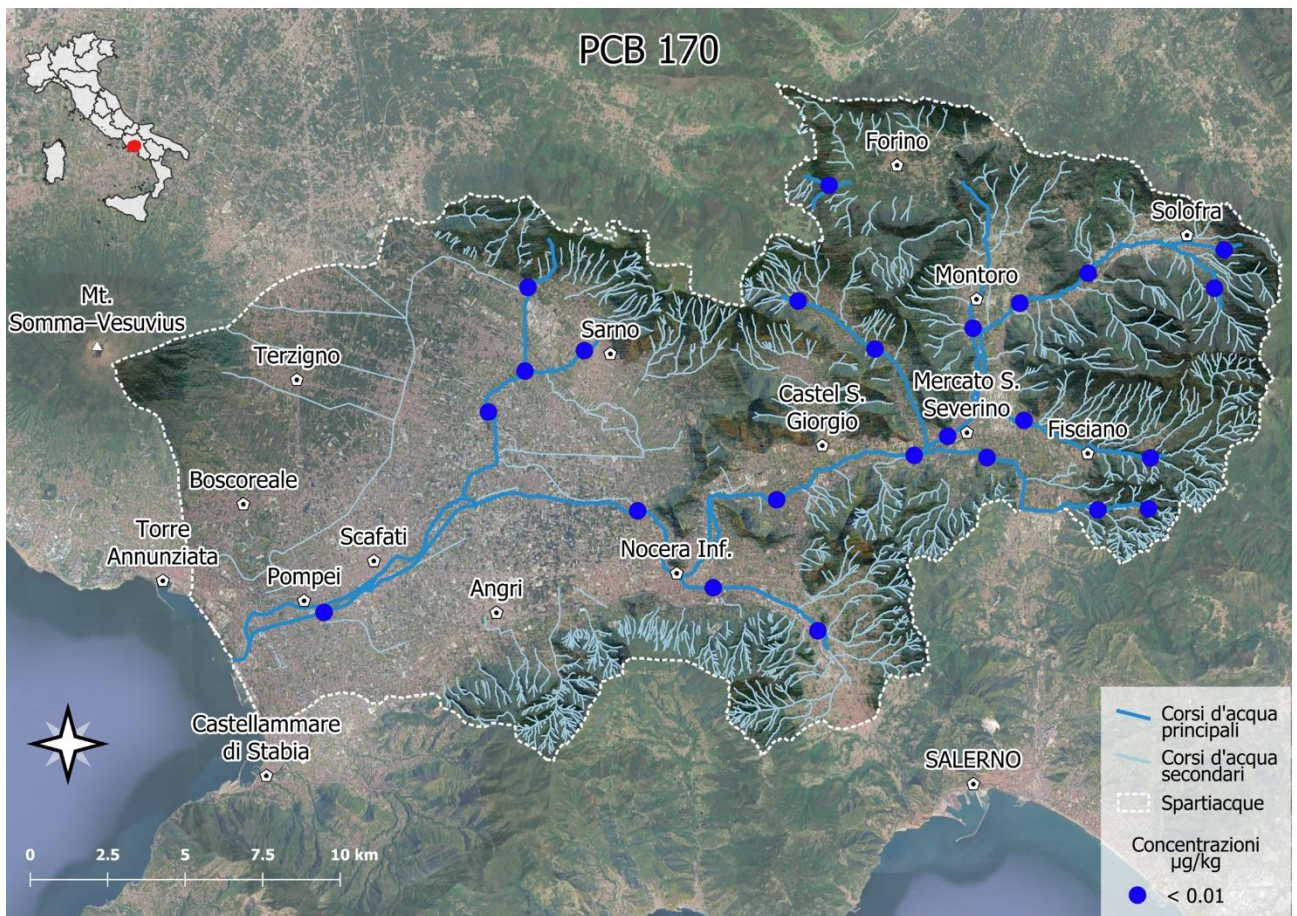








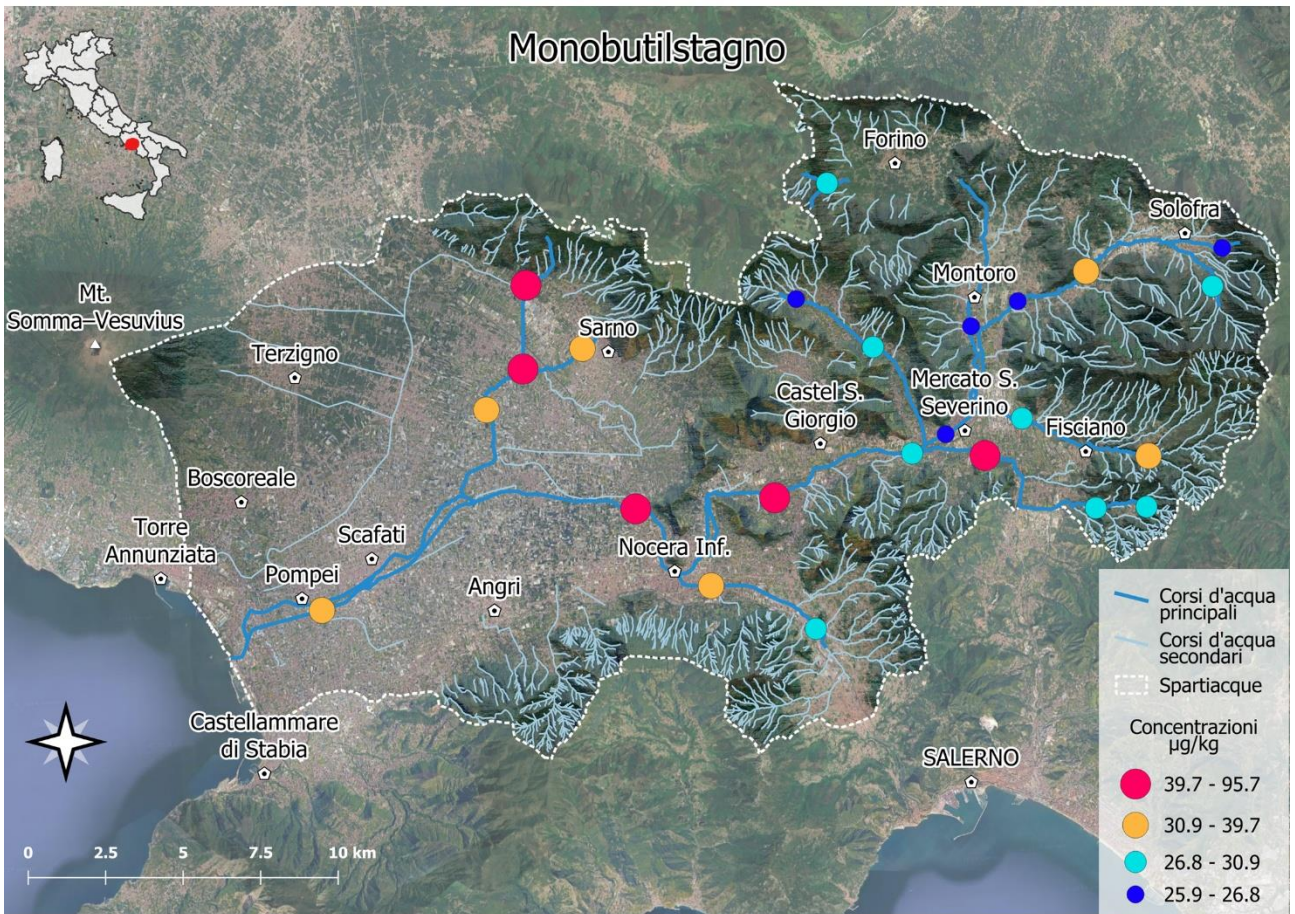




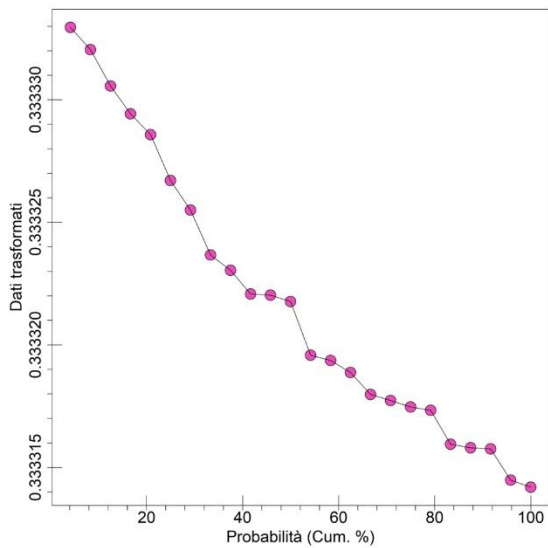
Appendice E – OTIN - mappe di Distribuzione

Mappa delle concentrazioni degli OTIN nei sedimenti fluviali dell'area di studio. I punti colorati rappresentano i siti di campionamento, classificati in base ai livelli di OTIN ($\mu\text{g}/\text{kg}$). Sono riportati i corsi d'acqua principali e secondari, oltre ai limiti idrografici del bacino. In basso, la curva di probabilità cumulativa e il boxplot descrivono la distribuzione statistica delle concentrazioni misurate nei sedimenti fluviali.

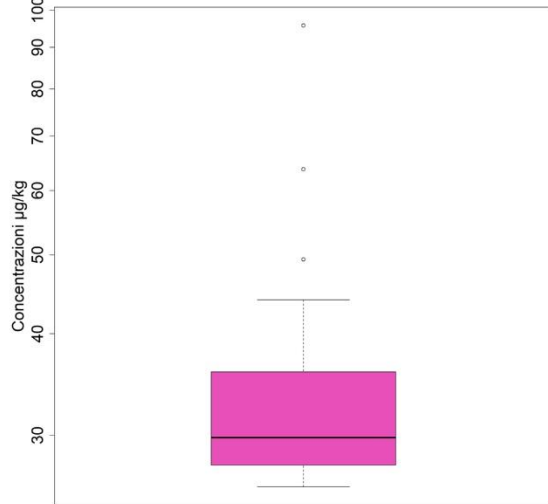
- E1. Monobutilstagno
- E2. Dibutilstagno
- E3. Tributilstagno
- E4. Monofenilstagno
- E5. Difenilstagno
- E6. Trifenilstagno

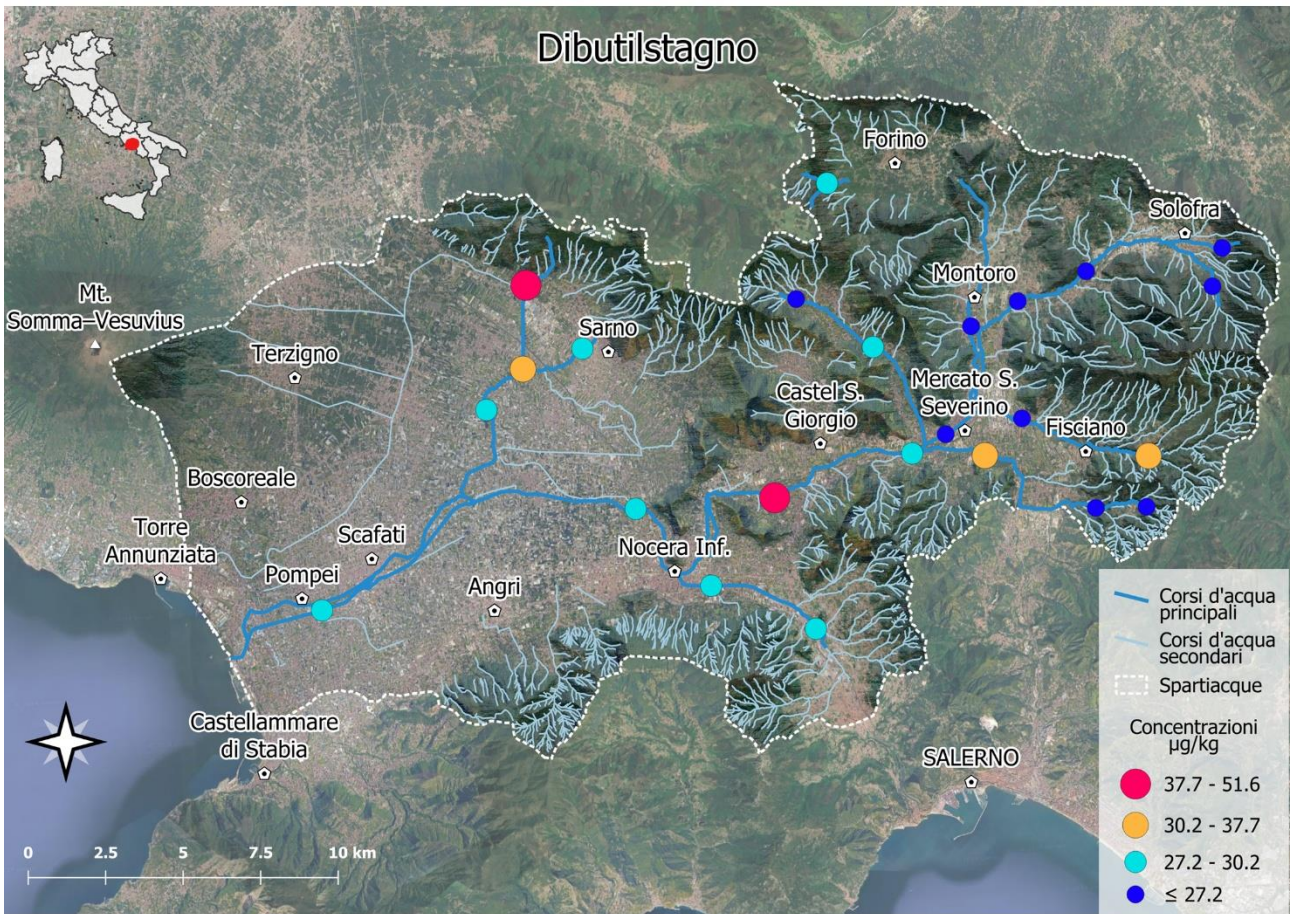


**Monobutilstagno
Sedimenti fluviali**

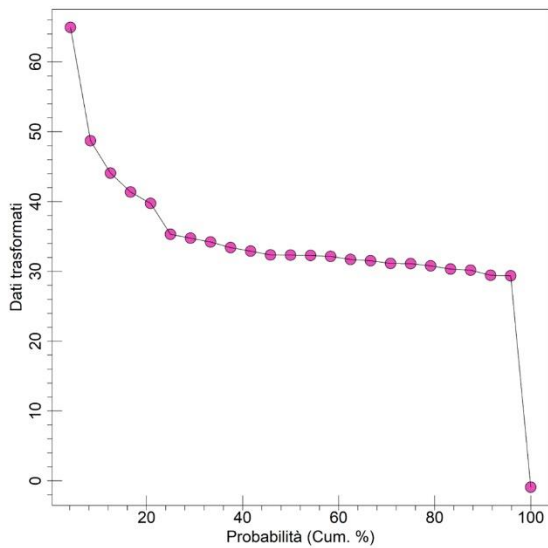


**Monobutilstagno
Sedimenti fluviali**

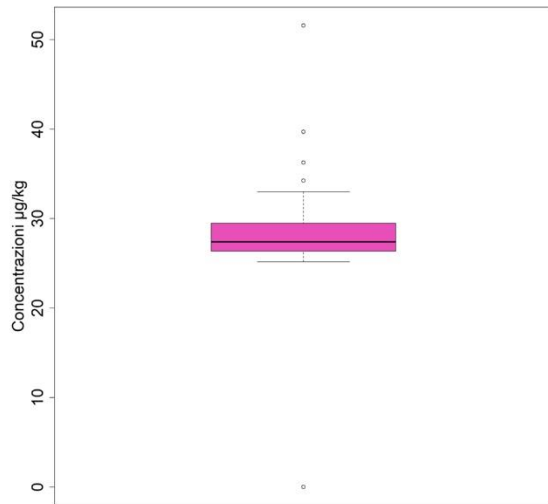




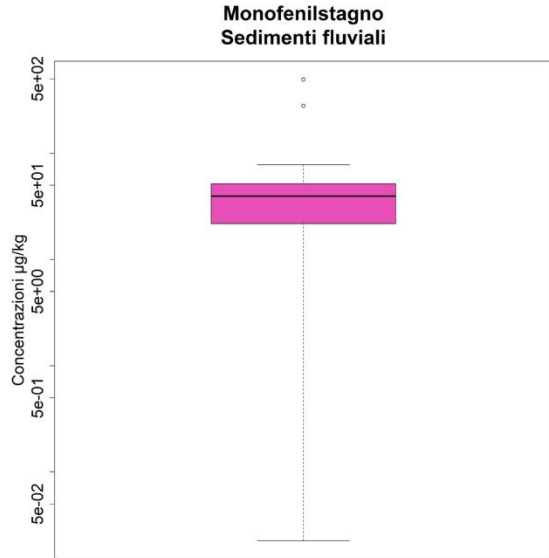
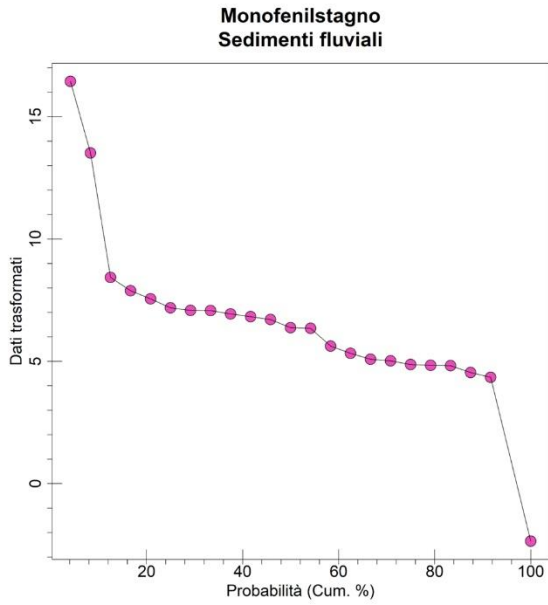
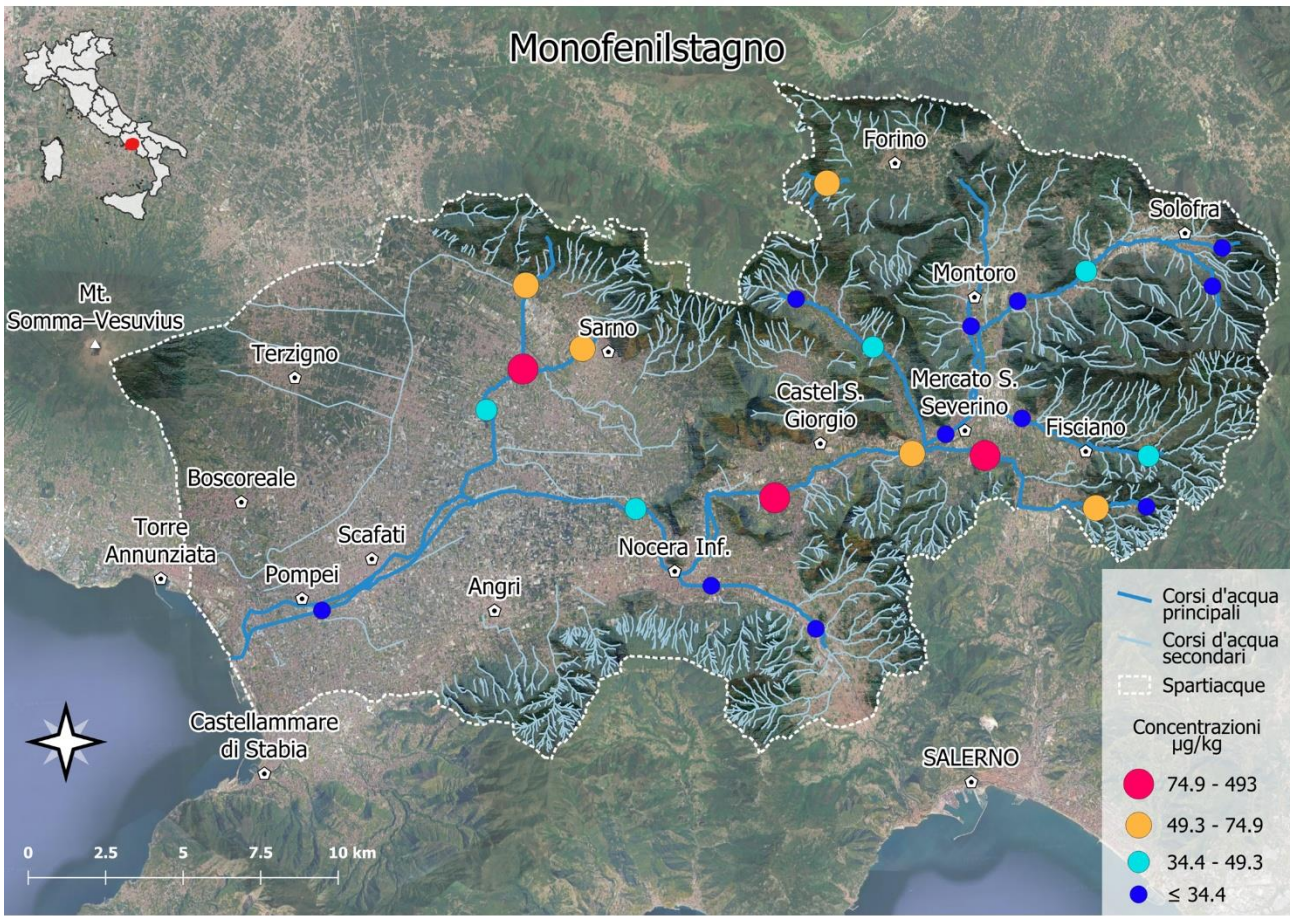
**Dibutilstagno
Sedimenti fluviali**

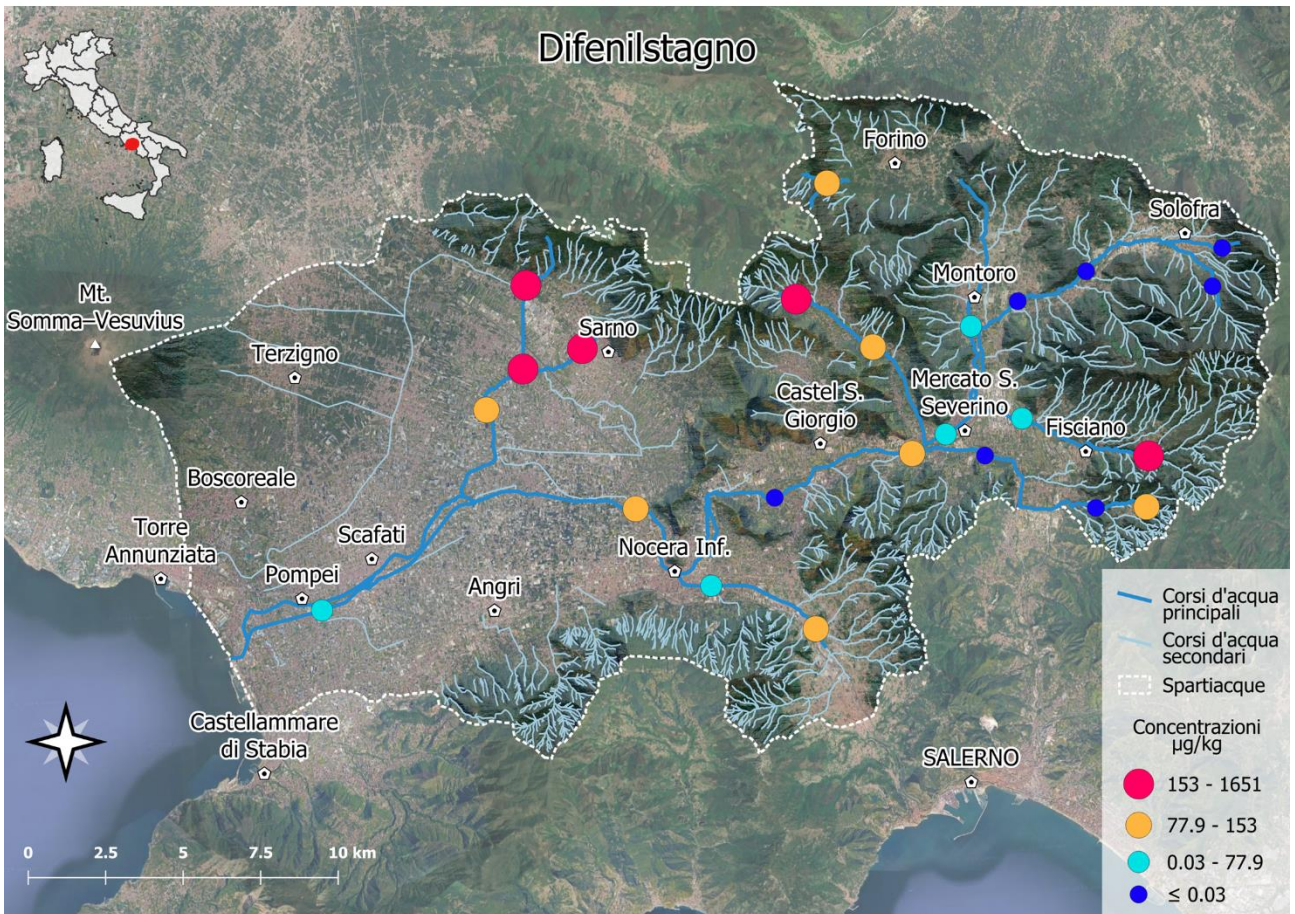


**Dibutilstagno
Sedimenti fluviali**

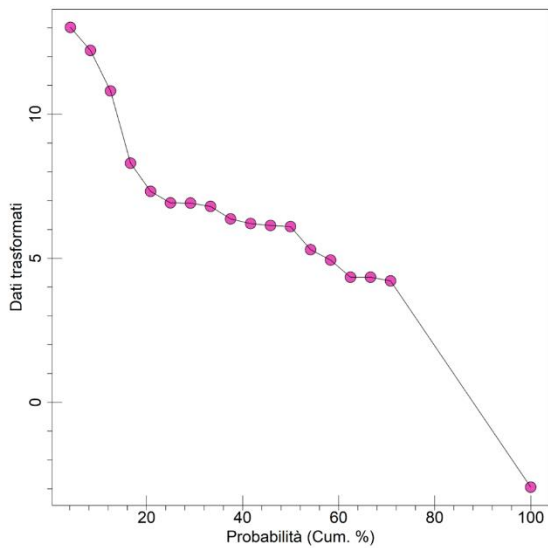




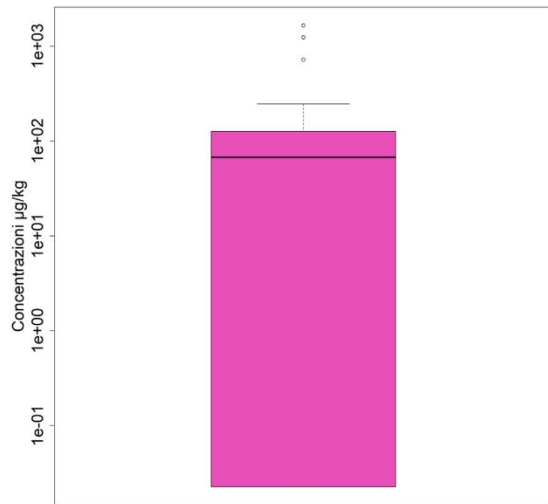


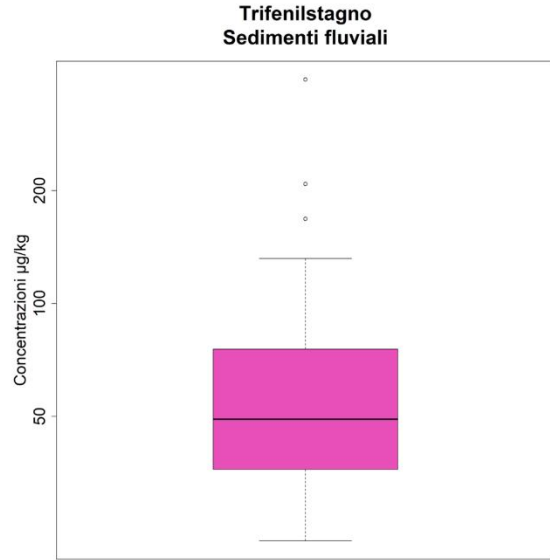
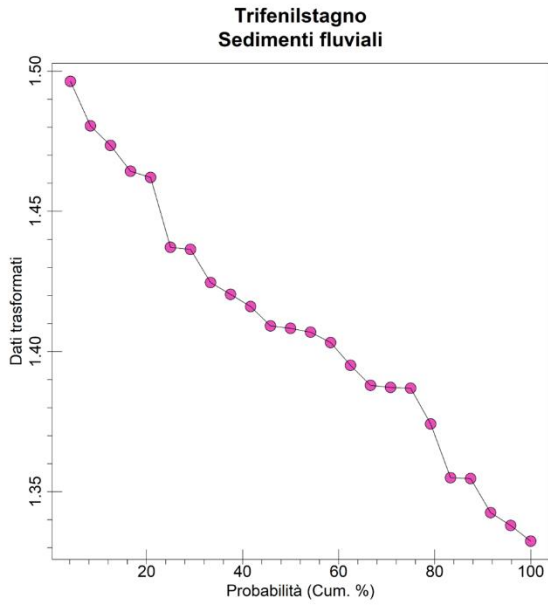
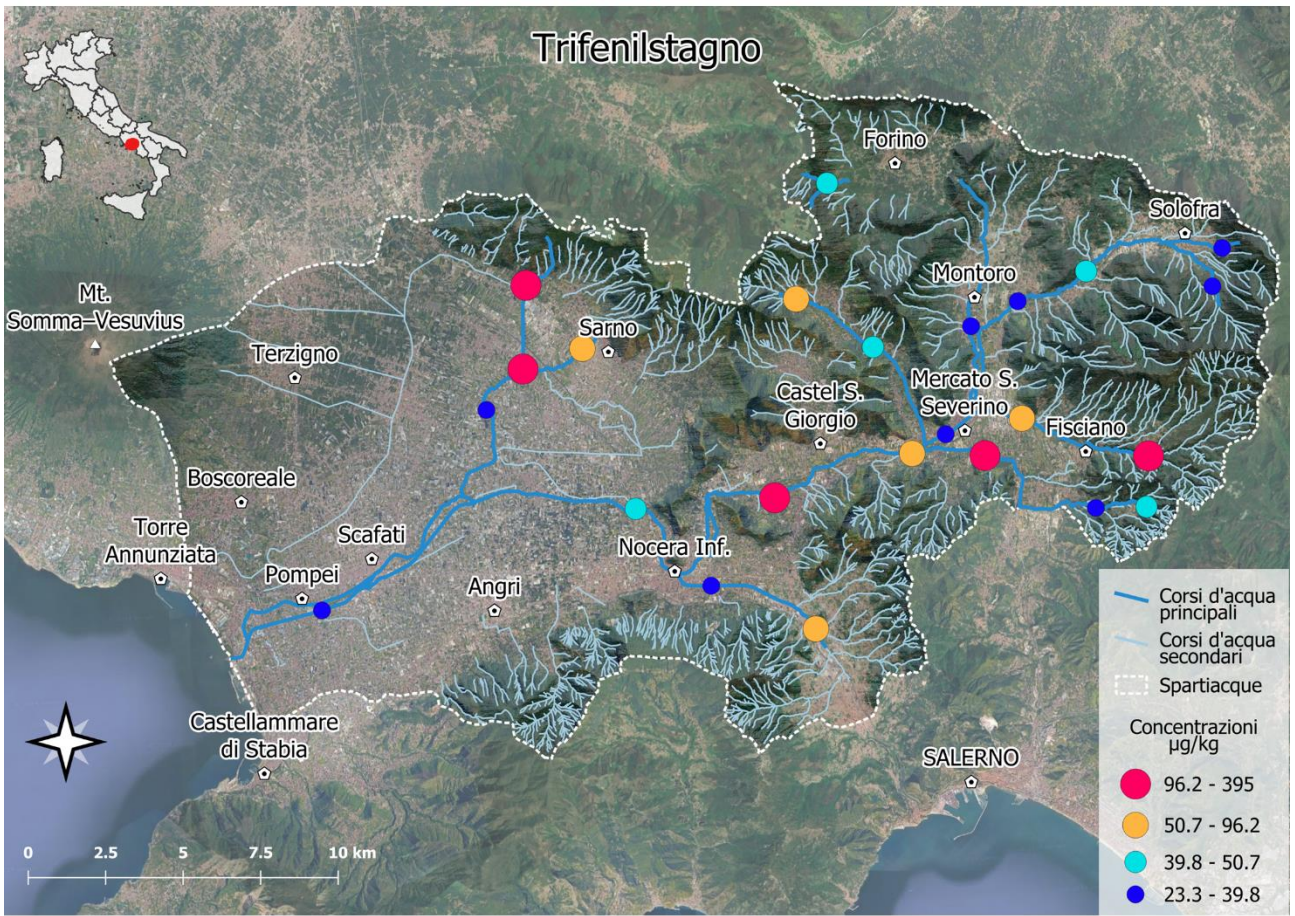


**Difenilstagno
Sedimenti fluviali**



**Difenilstagno
Sedimenti fluviali**





Appendice F – Schede granulometriche

Schede granulometriche dei campioni di sedimento dei punti di campionamento dell'area di studio.

- F1. Campione 01 (SAR_24_001)
- F2. Campione 02 (SAR_24_002)
- F3. Campione 03 (SAR_24_003)
- F4. Campione 04 (SAR_24_004)
- F5. Campione 05 (SAR_24_005)
- F6. Campione 06 (SAR_24_006)
- F7. Campione 07 (SAR_24_007)
- F8. Campione 08 (SAR_24_008)
- F9. Campione 09 (SAR_24_009)
- F10. Campione 10 (SAR_24_010)
- F11. Campione 11 (SAR_24_011)
- F12. Campione 12 (SAR_24_012)
- F13. Campione 13 (SAR_24_013)
- F14. Campione 14 (SAR_24_014)
- F15. Campione 15 (SAR_24_015)
- F16. Campione 16 (SAR_24_016)
- F17. Campione 18 (SAR_24_018)
- F18. Campione 20 (SAR_24_020)
- F19. Campione 21 (SAR_24_021)
- F20. Campione 22 (SAR_24_022)
- F21. Campione 23 (SAR_24_023)
- F22. Campione 24 (SAR_24_024)
- F23. Campione 26 (SAR_24_026)
- F24. Campione 27 (SAR_24_027)

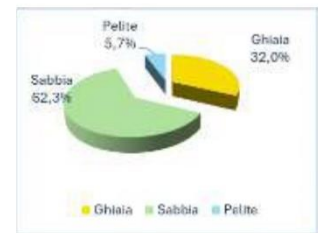
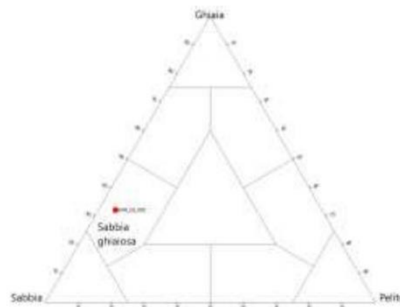
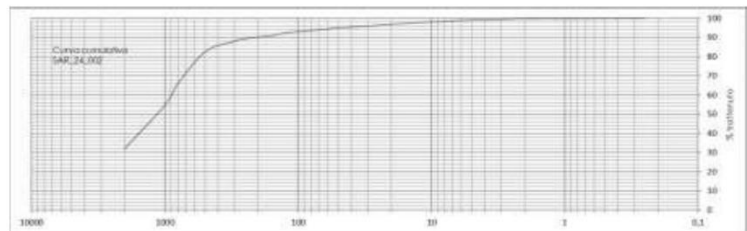
Progetto



Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	13/05/2024
Codice campione	SAR_24_002
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 µm	94,3%
% < 63 µm	5,7%

Frazione grossolana > 63 µm 94,3%				Frazione pelitica < 63 µm 5,7%	
% Ghiaia 32,0	% Sabbia 62,3	% Sabbia molto grossolana	22,6	% Limo 4,9	% Argilla 0,8
		% Sabbia grossolana	27,9		
		% Sabbia media	6,9		
		% Sabbia fine	3,1		
		% Sabbia finissima	1,8		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	32,04	32,04
0	1,00	22,56	54,60
0,5	0,71	11,20	65,80
1	0,50	16,76	82,56
1,5	0,35	5,12	87,68
2	0,25	1,74	89,42
2,5	0,177	1,58	91,00
3	0,125	1,48	92,48
3,5	0,088	0,58	93,06
4	0,063	1,28	94,34
4,5	0,050	0,74	95,08
5	0,032	0,78	95,86
5,5	0,024	0,74	96,59
6	0,016	0,75	97,35
6,5	0,012	0,55	97,90
7	0,008	0,46	98,36
7,5	0,006	0,53	98,89
8	0,004	0,31	99,20
8,5	0,003	0,34	99,54
9	0,002	0,25	99,78
9,5	0,0015	0,03	99,82
10	0,0010	0,08	99,90
10,5	0,00075	0,03	99,94
11	0,00050	0,01	99,94
<11	<0,00050	0,06	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***

Sabbia ghiaiosa

Parametri statistici	
Mean (Φ)	0,275
Mode	-1
Median	-0,263
Skewness (asimmetria)	1,305
Kurtosis (appuntimento)	2,725
Standard deviation	0,899
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	
16	
25	
50	-0,263
75	0,621
84	1,089
95	4,133

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

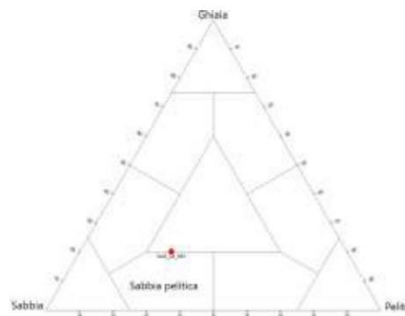
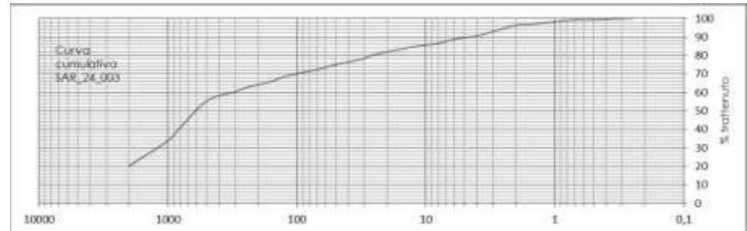
Progetto



Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	13/05/2024
Codice campione	SAR_24_003
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 µm	73,0%
% < 63 µm	27,0%

Frazione grossolana > 63 µm 73,0%				Frazione pelitica < 63 µm 27,0%	
% Ghiaia 20,1	% Sabbia 52,9	% Sabbia molto grossolana	13,6	% Limo 17,5	% Argilla 9,5
		% Sabbia grossolana	21,5		
		% Sabbia media	7,2		
		% Sabbia fine	6,0		
		% Sabbia finissima	4,6		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	20,12	20,12
0	1,00	13,64	33,76
0,5	0,71	7,16	40,92
1	0,50	14,36	55,28
1,5	0,35	4,64	59,92
2	0,25	2,58	62,50
2,5	0,177	3,22	65,72
3	0,125	2,76	68,48
3,5	0,088	1,50	69,98
4	0,063	3,06	73,04
4,5	0,050	1,89	74,93
5	0,032	2,88	77,81
5,5	0,024	2,86	80,67
6	0,016	2,51	83,18
6,5	0,012	1,70	84,88
7	0,008	1,56	86,44
7,5	0,006	2,29	88,73
8	0,004	1,78	90,51
8,5	0,003	2,43	92,94
9	0,002	3,34	96,28
9,5	0,0015	0,54	96,82
10	0,0010	1,29	98,11
10,5	0,00075	0,89	99,00
11	0,00050	0,19	99,19
< 11	<0,00050	0,81	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***

Sabbia pelitica

Parametri statistici	
Mean (Φ)	2,334
Mode	-1
Median	0,737
Skewness (asimmetria)	0,797
Kurtosis (appuntimento)	0,716
Standard deviation	2,876
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	
16	
25	-0,766
50	0,737
75	4,184
84	6,265
95	8,644

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

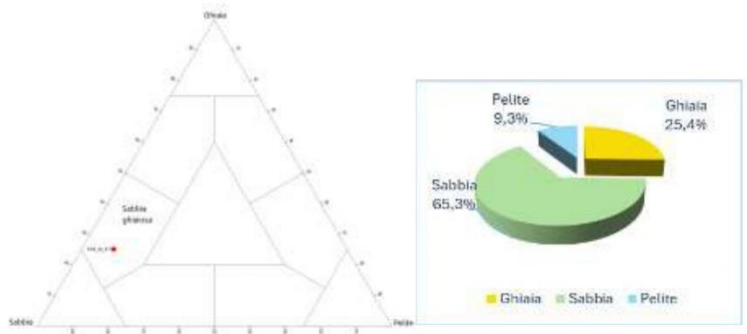
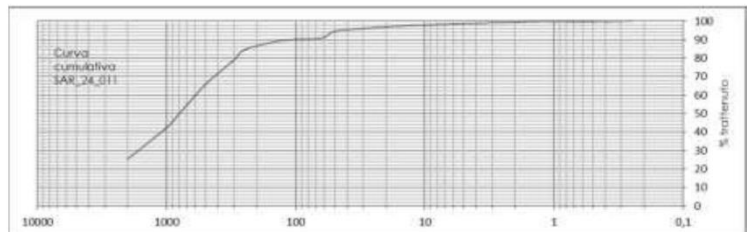
***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

Progetto

Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	11/06/2024
Codice campione	SAR_24_011
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 μm	90,7%
% < 63 μm	9,3%

Frazione grossolana > 63 μm 90,7%				Frazione pelitica < 63 μm 9,3%	
% Ghiaia 25,4	% Sabbia 65,3	% Sabbia molto grossolana	17,0	% Limo	% Argilla
		% Sabbia grossolana	23,3		
		% Sabbia media	18,7		
		% Sabbia fine	5,1		
		% Sabbia finissima	1,2		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	25,40	25,40
0	1,00	17,00	42,40
0,5	0,71	7,38	49,78
1	0,50	15,90	65,68
1,5	0,35	12,10	77,78
2	0,25	6,60	84,38
2,5	0,177	3,74	88,12
3	0,125	1,36	89,48
3,5	0,088	0,52	90,00
4	0,063	0,72	90,72
4,5	0,050	3,71	94,43
5	0,032	1,32	95,75
5,5	0,024	0,76	96,51
6	0,016	0,68	97,19
6,5	0,012	0,46	97,65
7	0,008	0,36	98,01
7,5	0,006	0,41	98,42
8	0,004	0,29	98,71
8,5	0,003	0,33	99,04
9	0,002	0,33	99,38
9,5	0,0015	0,19	99,56
10	0,0010	0,11	99,68
10,5	0,00075	0,06	99,74
11	0,00050	0,01	99,75
<11	<0,00050	0,25	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***

Sabbia ghiaiosa

Parametri statistici	
Mean (Φ)	0,755
Mode	-1
Median	0,322
Skewness (asimmetria)	0,762
Kurtosis (appuntimento)	1,278
Standard deviation	1,164
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	
16	
25	
50	0,322
75	1,434
84	1,943
95	4,474

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

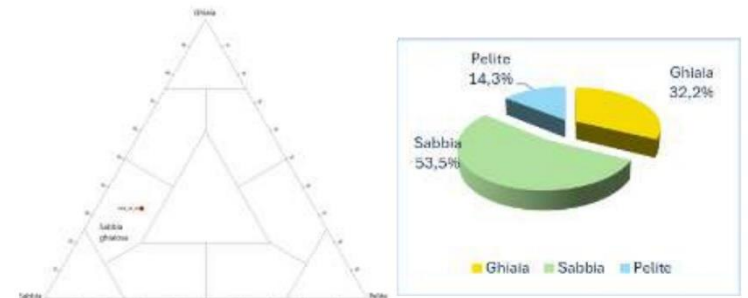
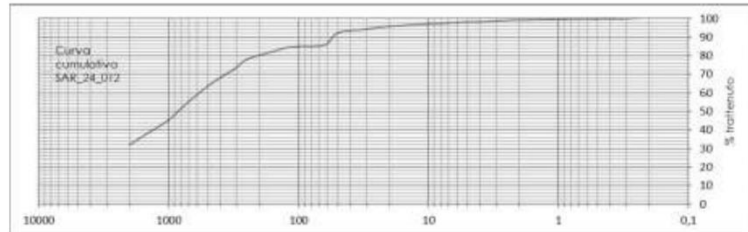
Progetto



Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	11/06/2024
Codice campione	SAR_24_012
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 µm	85,7%
% < 63 µm	14,3%

Frazione grossolana > 63 µm 85,7%				Frazione pelitica < 63 µm 14,3%	
% Ghiaia 32,2	% Sabbia 53,5	% Sabbia molto grossolana	13,3	% Limo 12,5	% Argilla 1,8
		% Sabbia grossolana	18,2		
		% Sabbia media	14,3		
		% Sabbia fine	6,2		
		% Sabbia finissima	1,5		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	32,18	32,18
0	1,00	13,26	45,44
0,5	0,71	6,30	51,74
1	0,50	11,92	63,66
1,5	0,35	9,08	72,74
2	0,25	5,26	78,00
2,5	0,177	4,12	82,12
3	0,125	2,06	84,18
3,5	0,088	0,72	84,90
4	0,063	0,82	85,72
4,5	0,050	6,53	92,25
5	0,032	1,74	93,99
5,5	0,024	1,19	95,17
6	0,016	0,99	96,16
6,5	0,012	0,66	96,82
7	0,008	0,50	97,32
7,5	0,006	0,56	97,87
8	0,004	0,30	98,17
8,5	0,003	0,51	98,69
9	0,002	0,41	99,10
9,5	0,0015	0,21	99,31
10	0,0010	0,16	99,47
10,5	0,00075	0,07	99,54
11	0,00050	0,04	99,59
<11	<0,00050	0,41	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***	Sabbia ghiaiosa
---------------------------------------------------	------------------------

Parametri statistici	
Mean (Φ)	1,210
Mode	-1
Median	0,234
Skewness (asimmetria)	0,903
Kurtosis (appuntimento)	1,904
Standard deviation	2,142
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	
16	
25	
50	0,234
75	1,837
84	3,396
95	8,533

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

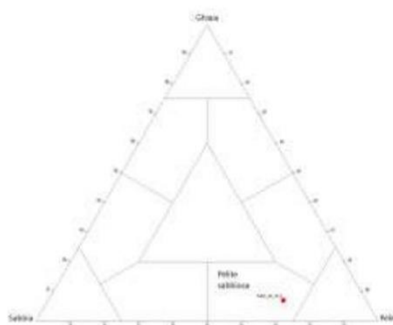
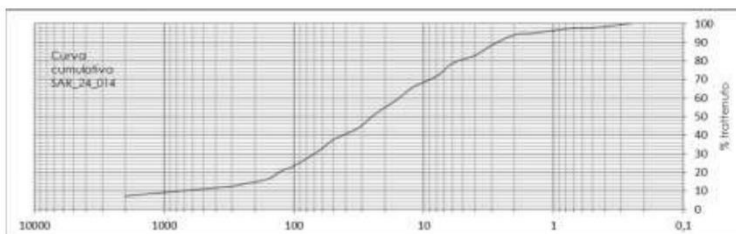
**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	22/05/2024
Codice campione	SAR_24_014
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 μm	31,9%
% < 63 μm	68,1%

Frazione grossolana > 63 μm 31,9%				Frazione pelitica < 63 μm 68,1%	
% Ghiaia 7,0	% Sabbia 24,9	% Sabbia molto grossolana	2,0	% Limo 51,1	% Argilla 17,0
		% Sabbia grossolana	1,9		
		% Sabbia media	2,7		
		% Sabbia fine	7,1		
		% Sabbia finissima	11,2		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	7,04	7,04
0	1,00	1,98	9,02
0,5	0,71	0,62	9,64
1	0,50	1,24	10,88
1,5	0,35	1,40	12,28
2	0,25	1,30	13,58
2,5	0,177	2,60	16,18
3	0,125	4,50	20,68
3,5	0,088	2,64	23,32
4	0,063	8,60	31,92
4,5	0,050	5,45	37,37
5	0,032	6,40	43,77
5,5	0,024	7,22	50,98
6	0,016	8,24	59,22
6,5	0,012	6,67	65,89
7	0,008	5,65	71,54
7,5	0,006	7,08	78,62
8	0,004	4,36	82,98
8,5	0,003	5,38	88,36
9	0,002	5,58	93,94
9,5	0,0015	0,75	94,69
10	0,0010	1,57	96,26
10,5	0,00075	1,16	97,41
11	0,00050	0,34	97,75
<11	<0,00050	2,25	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***	Pelite sabbiosa
---------------------------------------------------	------------------------

Parametri statistici	
Mean (Φ)	4,884
Mode	4
Median	6,059
Skewness (asimmetria)	-0,372
Kurtosis (appuntimento)	1,055
Standard deviation	3,327
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	
16	0,515
25	3,474
50	6,059
75	7,158
84	8,078
95	9,480

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

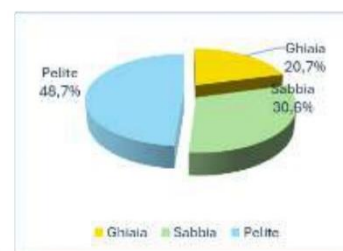
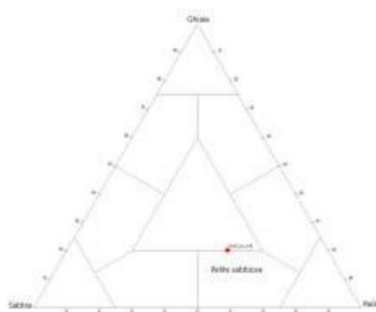
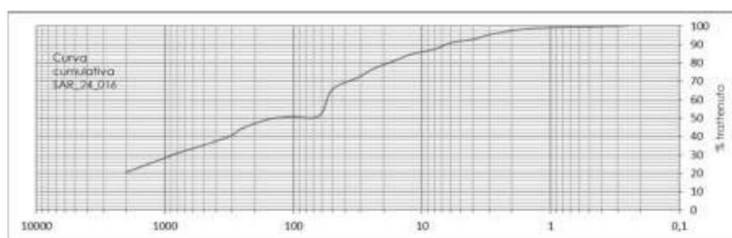
Progetto



Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	11/06/2024
Codice campione	SAR_24_016
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 µm	51,3%
% < 63 µm	48,7%

Frazione grossolana > 63 µm 51,3%				Frazione pelitica < 63 µm 48,7%	
% Ghiaia 20,7	% Sabbia 30,6	% Sabbia molto grossolana	7,8	% Limo 41,5	% Argilla 7,2
		% Sabbia grossolana	6,9		
		% Sabbia media	9,2		
		% Sabbia fine	5,8		
		% Sabbia finissima	0,9		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	20,70	20,70
0	1,00	7,78	28,48
0,5	0,71	2,60	31,08
1	0,50	4,28	35,36
1,5	0,35	4,82	40,18
2	0,25	4,40	44,58
2,5	0,177	4,66	49,24
3	0,125	1,20	50,44
3,5	0,088	0,42	50,86
4	0,063	0,44	51,30
4,5	0,050	14,27	65,57
5	0,032	6,23	71,80
5,5	0,024	4,87	76,67
6	0,016	4,77	81,45
6,5	0,012	3,31	84,76
7	0,008	2,63	87,39
7,5	0,006	3,46	90,84
8	0,004	1,95	92,79
8,5	0,003	2,44	95,23
9	0,002	2,24	97,47
9,5	0,0015	0,97	98,44
10	0,0010	0,58	99,03
10,5	0,00075	0,34	99,37
11	0,00050	0,05	99,42
<11	<0,00050	0,58	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***	Pelite sabbiosa
---------------------------------------------------	------------------------

Parametri statistici	
Mean (Φ)	3,353
Mode	-1
Median	3,900
Skewness (asimmetria)	-0,078
Kurtosis (appuntimento)	0,631
Standard deviation	2,868
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	
16	
25	-0,485
50	3,900
75	5,211
84	6,158
95	8,764

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

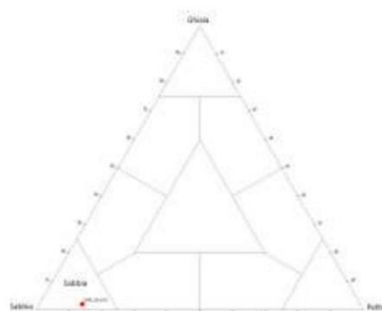
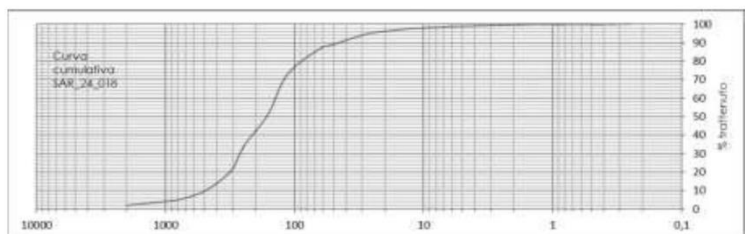
***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

Progetto

Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	22/05/2024
Codice campione	SAR_24_018
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 μm	86,8%
% < 63 μm	13,2%

Frazione grossolana > 63 μm 86,8%				Frazione pelitica < 63 μm 13,2%	
% Ghiaia 2,0	% Sabbia 84,8	% Sabbia molto grossolana	2,0	% Limo 12,1	% Argilla 1,1
		% Sabbia grossolana	5,5		
		% Sabbia media	23,9		
		% Sabbia fine	34,7		
		% Sabbia finissima	18,7		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	2,00	2,00
0	1,00	2,02	4,02
0,5	0,71	0,96	4,98
1	0,50	4,58	9,56
1,5	0,35	10,68	20,24
2	0,25	13,24	33,48
2,5	0,177	17,74	51,22
3	0,125	16,96	68,18
3,5	0,088	8,60	76,78
4	0,063	10,06	86,84
4,5	0,050	2,11	88,95
5	0,032	4,45	93,39
5,5	0,024	2,01	95,41
6	0,016	1,41	96,82
6,5	0,012	0,82	97,63
7	0,008	0,54	98,17
7,5	0,006	0,55	98,72
8	0,004	0,26	98,99
8,5	0,003	0,32	99,30
9	0,002	0,25	99,55
9,5	0,0015	0,05	99,61
10	0,0010	0,11	99,71
10,5	0,00075	0,08	99,79
11	0,00050	0,01	99,80
<11	<0,00050	0,20	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***	Sabbia
---------------------------------------------------	---------------

Parametri statistici	
Mean (Φ)	2,624
Mode	3
Median	2,515
Skewness (asimmetria)	0,175
Kurtosis (appuntimento)	1,813
Standard deviation	1,468
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	0,358
16	1,415
25	1,811
50	2,515
75	3,059
84	3,943
95	5,878

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

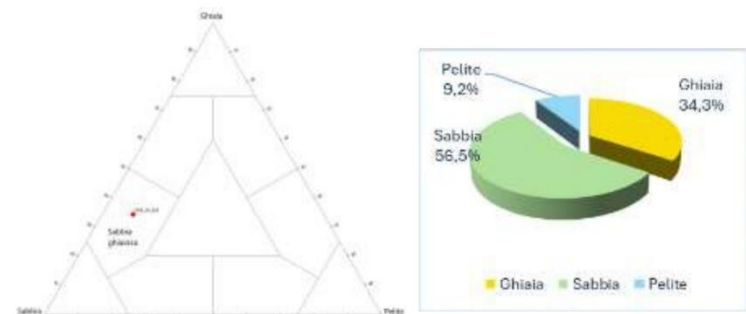
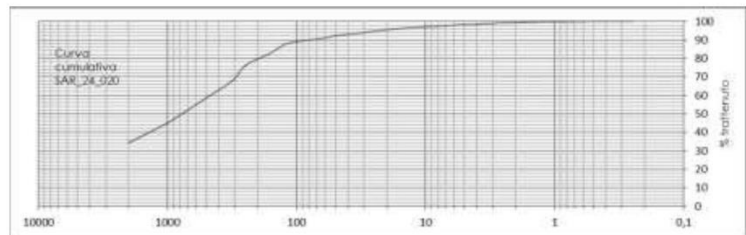
**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	14/05/2024
Codice campione	SAR_24_020
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 µm	90,8%
% < 63 µm	9,2%

Frazione grossolana > 63 µm 90,8%				Frazione pelitica < 63 µm 9,2%	
% Ghiaia 34,3	% Sabbia 56,5	% Sabbia molto grossolana	10,8	% Limo 7,6	% Argilla 1,6
		% Sabbia grossolana	13,54		
		% Sabbia media	17,5		
		% Sabbia fine	11,3		
		% Sabbia finissima	3,44		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	34,26	34,26
0	1,00	10,78	45,04
0,5	0,71	4,22	49,26
1	0,50	9,32	58,58
1,5	0,35	9,30	67,88
2	0,25	8,16	76,04
2,5	0,177	6,70	82,74
3	0,125	4,60	87,34
3,5	0,088	1,70	89,04
4	0,063	1,74	90,78
4,5	0,050	1,44	92,22
5	0,032	1,43	93,65
5,5	0,024	1,22	94,86
6	0,016	1,19	96,05
6,5	0,012	0,72	96,77
7	0,008	0,58	97,35
7,5	0,006	0,62	97,97
8	0,004	0,44	98,41
8,5	0,003	0,48	98,89
9	0,002	0,44	99,34
9,5	0,0015	0,18	99,51
10	0,0010	0,18	99,70
10,5	0,00075	0,12	99,82
11	0,00050	0,17	99,98
<11	<0,00050	0,02	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***	Sabbia ghiaiosa
---------------------------------------------------	------------------------

Parametri statistici	
Mean (Φ)	1,010
Mode	1
Median	0,340
Skewness (asimmetria)	0,817
Kurtosis (appuntimento)	1,278
Standard deviation	1,590
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	
16	
25	
50	0,340
75	1,943
84	2,690
95	6,059

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

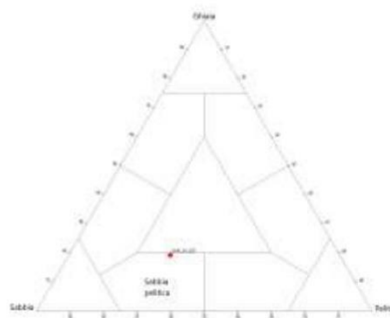
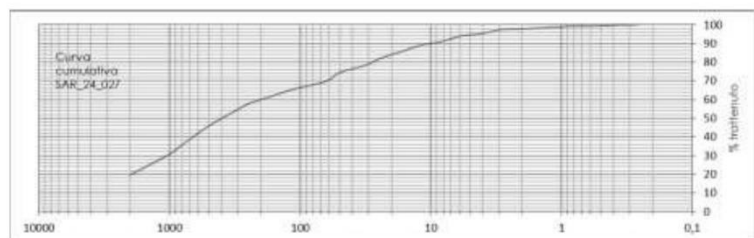
**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

Nome campagna	Return_Fiume Sarno
Data campionamento	14/05/2024
Codice campione	SAR_24_027
Tipologia	Stream sediment
Peso totale (g)	50
% > 63 μm	69,7%
% < 63 μm	30,3%

Frazione grossolana > 63 μm 69,7%				Frazione pelitica < 63 μm 30,3%	
% Ghiaia 19,6	% Sabbia 50,1	% Sabbia molto grossolana	11,1	% Limo 25,6	% Argilla 4,7
		% Sabbia grossolana	15,1		
		% Sabbia media	11,8		
		% Sabbia fine	6,9		
		% Sabbia finissima	5,2		

Dimensioni		Frequenza semplice	Frequenza cumulata
(Φ)	(mm)	(%)	(%)
-1	2,00	19,60	19,60
0	1,00	11,12	30,72
0,5	0,71	5,00	35,72
1	0,50	10,16	45,88
1,5	0,35	7,92	53,80
2	0,25	3,84	57,64
2,5	0,177	4,36	62,00
3	0,125	2,56	64,56
3,5	0,088	1,78	66,34
4	0,063	3,38	69,72
4,5	0,050	4,60	74,32
5	0,032	3,85	78,17
5,5	0,024	3,94	82,10
6	0,016	3,97	86,07
6,5	0,012	2,82	88,89
7	0,008	2,30	91,19
7,5	0,006	2,60	93,79
8	0,004	1,48	95,28
8,5	0,003	1,88	97,15
9	0,002	0,55	97,70
9,5	0,0015	0,48	98,18
10	0,0010	0,67	98,85
10,5	0,00075	0,39	99,24
11	0,00050	0,09	99,33
<11	<0,00050	0,67	100,00



Classificazione secondo Shepard ** modificato ***

Sabbia pelitica

Parametri statistici	
Mean (Φ)	2,429
Mode	-1
Median	1,322
Skewness (asimmetria)	0,487
Kurtosis (appuntimento)	0,368
Standard deviation	2,179
Folk & Ward (1957)	

Percentili	Phi (Φ)
5	
16	
25	-0,585
50	1,322
75	4,474
84	5,966
95	4,540

*Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J Sediment Petrol. 1957;27:3-26

**Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J Sediment Petrol. 1954;24:151-158

***Romano, E. et al. F. Analisi Granulometriche Dei Sedimenti Marini. Linee Guida SNPA 18/2018 ISPRA Roma, Italy, 2018

enea.it

