

PROGETTO MAPP

PRIMA STIMA DELLA QUANTITÀ E COMPOSIZIONE DEL *FLOATING PLASTIC* *LITTER* NEL FIUME PO

Relazione finale – dicembre 2023

Relazione a cura di:

Giuseppe Dodaro, Marco Monaci, Flaminia Squitieri - Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile

Michele Manghi – Nauta scientific srl

Simone Bizzi, Elisa Bozzolan, Andrea Brenna, Francesco Ciocchetti – Università di Padova

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. ATTIVITÀ.....	5
2.1 MONITORAGGIO DI <i>FLOATING PLASTIC LITTER</i> ATTRAVERSO VISUAL OBSERVATION DA PONTE O PUNTO SOPRAELEVATO.....	5
<i>Metodi</i>	5
<i>Risultati</i>	14
<i>Considerazioni conclusive</i>	60
2.2 MONITORAGGIO DEI RIFIUTI PRESENTI LUNGO LE SPONDE ATTRAVERSO VISUAL OBSERVATION.....	63
<i>Metodi</i>	63
<i>Risultati</i>	64
<i>Considerazioni conclusive</i>	66
2.3 MONITORAGGIO DELLE MODALITÀ DI TRASPORTO DEL <i>FLOATING PLASTIC LITTER</i> CON TRACKING SATELLITARE (JunkTrack ®).....	67
<i>Metodi</i>	67
<i>Risultati</i>	69
<i>Considerazioni conclusive</i>	89
2.4 INDIVIDUAZIONE E MONITORAGGI DI <i>FLOATING PLASTIC LITTER</i> MEDIANTE ANALISI SPETTRALE DI DATI SATELLITARI.....	91
<i>Metodi</i>	91
<i>Risultati</i>	93
<i>Applicazioni potenziali</i>	109
<i>Considerazioni conclusive</i>	133
3 SINTESI DEI RISULTATI E POSSIBILI ATTIVITÀ FUTURE.....	135
BIBLIOGRAFIA.....	139
SITOGRAFIA.....	142
ALLEGATI.....	143
Allegato 1. “The Joint List of Litter Categories (J-CODE list)” di JRC (Fleet et al., 2021).....	143
Allegato 2. Scheda riassuntiva dei trasmettitori rilasciati nel bacino del fiume Po.....	149
Allegato 3. Mappe di dettaglio delle tracce dei trasmettitori.....	157
Allegato 4. Composizione degli indici che qualificano le celle esagonali.....	199
Allegato 5. Rappresentazione delle zone di accumulo e delle zone con percentuale di accumulo maggiore di 5%.....	205

1. PREMESSA

La quantità elevata e in progressivo aumento di rifiuti marini rappresenta un grave problema ambientale su scala globale, che incide negativamente sulla conservazione degli ecosistemi e della biodiversità, così come sulla sussistenza di numerose attività economiche quali la pesca, le attività turistiche e ricreative, i trasporti marittimi (UNEP, 2021).

Una delle componenti principali del *marine litter* è costituita dai rifiuti di plastica (*plastic litter*) abbandonati nell'ambiente (González-Fernández et al., 2021). Secondo un rapporto pubblicato nel 2016 dal Programma Ambientale delle Nazioni Unite (Kershaw, 2016), durante il 2010 sarebbero state scaricate in tutti i mari del pianeta 8 milioni di tonnellate di plastica e tale quantità si stima essere in crescita.

Per queste ragioni il contrasto al *plastic litter* è divenuto uno dei maggiori obiettivi ambientali a livello internazionale e sono numerose le iniziative politiche e scientifiche rivolte a questo scopo. Tra i tanti si cita l'*Action Plan on Marine Litter* sottoscritto dai vertici del G20 nel 2017 e, successivamente, l'*Osaka Blue Ocean Vision* condiviso nel 2019 dalla presidenza giapponese del G20, focalizzato sulla riduzione a zero dell'ulteriore inquinamento causato dai rifiuti di plastica marini entro il 2050.

La dimensione globale del fenomeno non risparmia i nostri mari. Diversi studi (Crosti et al., 2018; Castro-Jiménez et al., 2019; González-Fernández et al., 2021), infatti, hanno confermato la criticità della situazione anche nel Mediterraneo aggravata dalle sue caratteristiche, che ne fanno sostanzialmente un bacino chiuso. L'impatto che le materie plastiche di medie e grandi dimensioni (> 2,5 cm), le cosiddette macro e mega-plastiche, possono avere sull'ambiente marino è oggetto di continua ricerca ambientale, e diverse misure normative originate da Direttive Unionali, come la Direttiva quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (*Marine Strategy Framework Directive, MSFD* - Commissione Europea, 2008) e la Direttiva SUP (*Single-Use Plastics Directive, SUPD* - Commissione Europea, 2019), e prevedono la prevenzione, il monitoraggio e la riduzione di rifiuti nell'ambiente, oltre alla responsabilità del produttore.

Lo sforzo verso la minimizzazione della quantità dei rifiuti che giungono a mare passa inevitabilmente attraverso la corretta individuazione delle fonti di produzione sulla terraferma. Secondo stime UNEP/MAP (2015), circa l'80 % del *marine litter* proviene da fonti terrestri. Si presume che un'alta percentuale di rifiuti in ingresso nel mare sia portata dai corsi d'acqua (Schmidt et al., 2017; Lebreton et al., 2017; Meijer et al., 2021; UNEP, 2021), anche se ad oggi né la quantità né la composizione sono note. Per il Mediterraneo solo pochi studi recenti hanno stimato gli apporti da specifici corsi d'acqua attraverso dati raccolti in campo (Crosti et al., 2018; Cesarini et al., 2023). In passato, anche a livello globale, le ipotesi erano basate su modelli matematici che utilizzano informazioni di contesto quali popolazione, dimensione dei bacini idrografici, gestione rifiuti; **con questo metodo sono state stimate, ad esempio, 10 tonnellate anno di rifiuti che dal Po finiscono ogni anno in Adriatico** (Lebreton et al., 2017).

Per questa ragione negli ultimi anni l'attenzione sul *riverine litter* è notevolmente aumentata. La mancanza di dati e conoscenze sui flussi di rifiuti portati al mare dai corsi d'acqua (indicatori di output) ostacola, di fatto, una valutazione sull'attuazione delle normative ambientali ed una verifica dell'impatto regolatorio (DPCM 2009) delle relative misure di prevenzione (González-Fernández & Hanke, 2017).

In questa ottica, la ricerca avviata da Autorità di Bacino Distrettuale del Po e dalla Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile ha inteso costruire un quadro conoscitivo aggiornato e credibile – basato su

dati raccolti attraverso l'applicazione di protocolli scientifici riconosciuti a livello internazionale – relativamente alla quantità e composizione di rifiuti plastici galleggianti che vengono effettivamente veicolati a mare dal fiume Po.

Le attività svolte hanno definito un sistema di indagine che ha previsto la raccolta ed elaborazione di dati secondo un approccio *source to sink*, finalizzato anche a fornire prime indicazioni riguardo alle modalità di trasporto del *floating plastic litter* e alla localizzazione delle principali aree potenziali di deposito.

2. ATTIVITÀ

L'indagine oggetto del progetto MAPP è stata effettuata attraverso lo svolgimento di tre attività distinte e complementari, svolte in parallelo e in modo indipendente tra settembre 2021 e giugno 2023:

1. monitoraggio di *floating plastic litter* attraverso visual observation;
2. monitoraggio delle modalità di trasporto del *floating plastic litter* con tracking satellitare (JunkTrack®)
3. individuazione e monitoraggio di *floating plastic litter* mediante analisi spettrale di dati satellitari

Attraverso osservazione visiva (*visual observation*) sul fiume Po, sono stati raccolti dati diretti per l'analisi di rifiuti plastici già galleggianti e di rifiuti, di diverse categorie di materiale, ancora sequestrati lungo le sponde, ma presumibilmente destinati a finire in acqua durante le periodiche piene. Il censimento visivo non dà però informazioni relative alle dinamiche di trasporto del litter galleggiante né alle modalità di rimobilizzazione dei rifiuti sulle sponde. Con l'obiettivo di analizzare anche questi aspetti, è stato progettato e testato il cosiddetto JunkTrack®, un sistema di tracciamento GPS costituito da: una serie di trasmettitori di posizione e un webGIS di corredo per l'organizzazione e la visualizzazione dei dati inviati dai trasmettitori.

Infine, è stata testata l'efficacia di moderne tecniche di telerilevamento satellitare (*remote sensing*), in particolare mediante l'utilizzo di immagini messe a disposizione dal satellite multispettrale Sentinel 2 sviluppato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), per l'individuazione di accumuli di rifiuti plastici galleggianti trasportati dal fiume Po.

In questo capitolo sono descritti i metodi e sono riportati i risultati di ciascuna delle attività svolte.

2.1 MONITORAGGIO DI *FLOATING PLASTIC LITTER* ATTRAVERSO VISUAL OBSERVATION DA PONTE O PUNTO SOPRAELEVATO

Metodi

Il monitoraggio delle plastiche galleggianti (*floating plastic litter*) veicolate dal fiume Po è stato eseguito mediante osservazione da punti fissi localizzati su ponti stradali e sponde, secondo quanto previsto dalla metodologia messa a punto nell'ambito del progetto RIMMEL "*Riverine and Marine floating macro litter Monitoring and Modelling of Environmental Loading*" (JRC Exploratory Research Project) e descritta da González-Fernández and Hanke (2017).

La metodologia prevede di quantificare il numero di frammenti di materiale plastico di diversa pezzatura che attraversano una prefissata porzione della sezione del corso d'acqua, in un orizzonte temporale predefinito.

Le tipologie di materiale plastico oggetto di osservazione e le categorie di dimensioni oggetto di rilievo sono indicate in Figura 1.



Figura 1. Tipologie di materiale plastico oggetto di osservazione e classi dimensionali da rilevare

Il progetto RIMMEL ha riguardato il monitoraggio di macro litter (> 2,5 cm) e in questo progetto alle categorie proposte dalla metodologia RIMMEL è stata aggiunta la classe dimensionale < 2,5 cm, al fine di avere informazioni più esaustive del *floating plastic litter* nel fiume Po. Per ogni punto di osservazione è stata indicata dagli osservatori la “*misura best*,” che rappresenta la dimensione minima degli oggetti galleggianti certamente riconoscibili e di conseguenza con errore di campionamento tendente a zero.

La metodologia ufficiale (EC JRC, 2016) prevede sessioni di monitoraggio brevi e regolari (30-60 minuti) nella sezione del fiume in prossimità della foce. L’orizzonte temporale di osservazione è stato scelto pari ad 1 ora.

Per quanto riguarda la dimensione della porzione di corso d’acqua da osservare, la metodologia prevede di prendere in considerazione almeno metà della sezione trasversale del tratto di fiume considerato, con osservazione del flusso idrico dall’alto, preferibilmente da un ponte.

Nell’ambito della presente ricerca sono stati inizialmente identificati 5 ponti idonei alle attività di monitoraggio e situati in località dislocate dal Piemonte fino alla foce: Verolengo, Isola Serafini, Boretto, Pontelagoscuro e Porto Tolle (Figura 2), così da poter avere un controllo adeguato della presenza del *floating plastic litter* quasi sull’intera asta e comunque nei tratti presumibilmente maggiormente interessati da fenomeni di accumulo dei rifiuti. Nelle stazioni di Boretto e Pontelagoscuro, però, si è deciso successivamente di realizzare l’osservazione da punti sopraelevati sulla riva. Questa scelta si è resa necessaria poiché l’altezza dei ponti ha reso difficoltosa la distinzione delle plastiche di dimensione inferiore ai 5 cm dalle schiume e da altri frammenti che galleggiano sulla superficie. Tale problematica è stata resa ancora più acuta dalle particolari condizioni meteorologiche del 2022 e dalla conseguente permanenza di un livello idrometrico basso per molti mesi.

L’osservazione da punti sopraelevati sulla riva – localizzati comunque in corrispondenza dei ponti identificati in precedenza – ha comportato un adeguamento del metodo di stima della quantità complessiva di *floating plastic litter* che transita in quelle sezioni.

I ponti utilizzati per il monitoraggio visivo, la cui localizzazione è mostrata in Figura 2, sono:

- **Ponte di “Verolengo” sulla SP94** (Comune di Verolengo, TO) (45°10'21.01"N - 7°56'34.07"E: Google Earth) (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e Figura 4)
- **Ponte di “Isola Serafini” sulla SP10** (Comune di Monticelli d’Ongina, PC; Comune di Castelnuovo Bocca d’Adda, LO) (45° 4'53.64"N - 9°53'54.91"E: Google Earth) (Figura 5 e Figura 6)
- **Ponte di “Boretto” sulla SP111** (Comune di Boretto, RE; Comune di Viadana, MN) (44°54'44.74"N - 10°32'10.84"E: Google Earth) (Figura 7 e Figura 8)
- **Ponte di “Pontelagoscuro” sulla SS16** (Comune di Pontelagoscuro, FE; Comune di Occhiobello, RO) (44°53'19.42"N - 11°36'29.53"E: Google Earth) (Figura 9 e Figura 10)
- **Ponte di “Porto Tolle”** (Comune di Porto Tolle, RO) (44°57'24.81"N - 12°21'41.68"E: Google Earth) (Figura 11 e Figura 12).

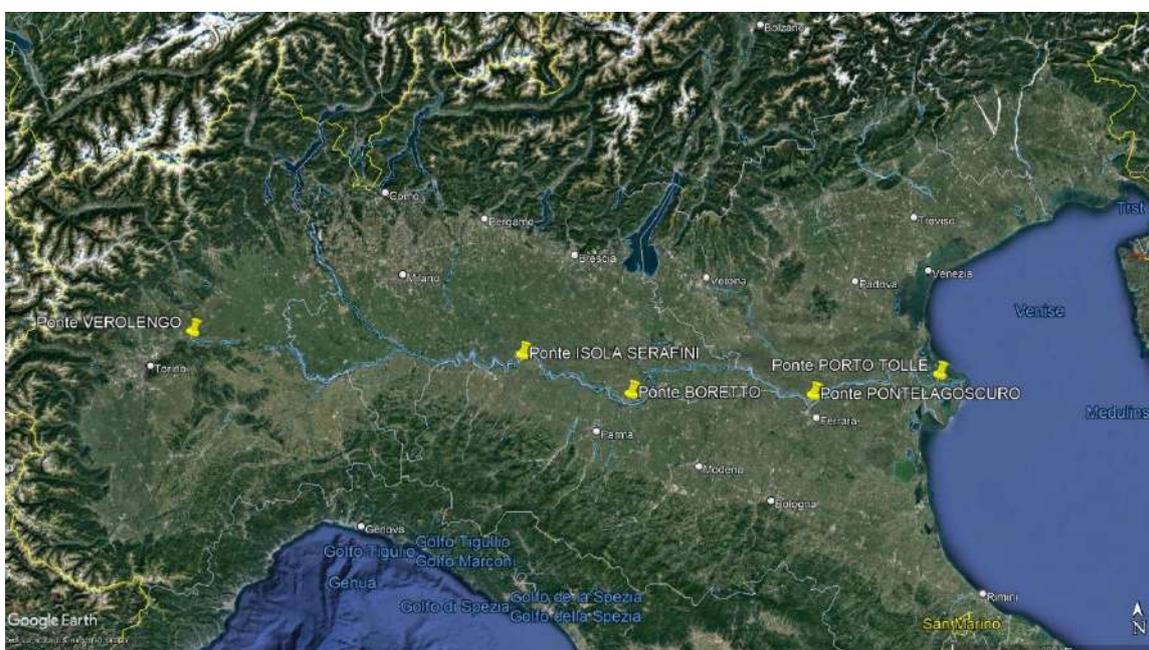


Figura 2. Localizzazione dei ponti utilizzati per il monitoraggio visivo delle plastiche lungo il fiume Po (Fonte: Google Earth)

Nelle stazioni di Verolengo (TO), Isola Serafini (PC) e Porto Tolle (RO) le osservazioni sono state realizzate dai rispettivi ponti. Ciascuna sessione ha avuto una durata complessiva di 60 minuti e ha interessato la metà dell’alveo, suddiviso in strisce da 25 m o 30 m, per garantire una adeguata visibilità, così come previsto dal metodo di JRC.

Nelle stazioni di Boretto (RE) e Pontelagoscuro (FE) le osservazioni sono state realizzate da un punto sopraelevato sulla sponda, localizzato nelle immediate vicinanze del ponte. In via cautelativa è stata attribuita alla fascia spondale (larga circa 25 m) una quantità di *floating litter* pari al 65 % del totale, un valore leggermente più elevato della media riscontrata nelle tre stazioni in cui sono state compiute le osservazioni da ponte (62,4 %).

In ogni stazione sono state realizzate 5 giornate di osservazione per ciascuna stagione, distribuite tra autunno 2021 ed estate 2022 (Tabella 1).

Tabella 1 - Giornate di osservazione compiute nel periodo autunno 2021 - estate 2022

AUTUNNO					
Stazione	Visita 1	Visita 2	Visita 3	Visita 4	Visita 5
Verolengo	07/09/2021	09/10/2021	21/10/2021	13/11/2021	23/11/2021
Isola Serafini	07/09/2021	09/10/2021	21/10/2021	13/11/2021	23/11/2021
Boretto	07/09/2021	09/10/2021	21/10/2021	13/11/2021	23/11/2021
Pontelagoscuro	07/09/2021	09/10/2021	21/10/2021	13/11/2021	23/11/2021
Porto Tolle	08/09/2021	10/10/2021	28/10/2021	14/11/2021	24/11/2021
INVERNO					
Stazione	Visita 1	Visita 2	Visita 3	Visita 4	Visita 5
Verolengo	14/12/2021	14/1/2022	28/1/2022	4/2/2022	19/2/2022
Isola Serafini	2/12/2021	16/12/2021	27/1/2021	11/2/2022	21/2/2022
Boretto	2/12/2021	16/12/2021	27/1/2021	11/2/2022	21/2/2022
Pontelagoscuro	2/12/2021	17/12/2021	28/1/2021	12/2/2022	22/2/2022
Porto Tolle	15/12/2021	15/1/2022	29/1/2022	11/2/2022	25/2/2022
PRIMAVERA					
Stazione	Visita 1	Visita 2	Visita 3	Visita 4	Visita 5
Verolengo	3/3/2022	4/3/2022	6/4/2022	20/5/2022	23/5/2022
Isola Serafini	27/3/2022	22/4/2022	10/5/2022	24/5/2022	31/5/2022
Boretto	27/3/2022	22/4/2022	10/5/2022	24/5/2022	31/5/2022
Pontelagoscuro	27/3/2022	22/4/2022	10/5/2022	23/5/2022	30/5/2022
Porto Tolle	5/3/2022	22/3/2022	7/4/2022	24/5/2022	29/5/2022
ESTATE					
Stazione	Visita 1	Visita 2	Visita 3	Visita 4	Visita 5
Verolengo	2/6/2022	3/6/2022	29/7/2022	7/8/2022	28/8/2022
Isola Serafini	6/6/2022	13/7/2022	20/7/2022	19/8/2022	30/8/2022
Boretto	7/6/2022	13/7/2022	20/7/2022	19/8/2022	30/8/2022
Pontelagoscuro	7/6/2022	13/7/2022	21/7/2022	10/8/2022	22/8/2022
Porto Tolle	4/6/2022	1/7/2022	19/7/2022	6/8/2022	27/8/2022

Per tutte le stazioni i dati osservati sono stati rapportati all'intero alveo, per ottenere una stima di tutti gli oggetti trasportati dal fiume. Per ogni stazione di osservazione e sulla base dei valori quantificati per ciascuna giornata, è stata calcolata, per ognuna delle quattro stagioni, la media stagionale del numero oggetti/ora con un intervallo di confidenza al 95 %.

Le figure successive, da Figura 3 a Figura 12, mostrano i ponti da cui è stata svolta l'attività di monitoraggio e le loro rispettive localizzazioni geografiche.

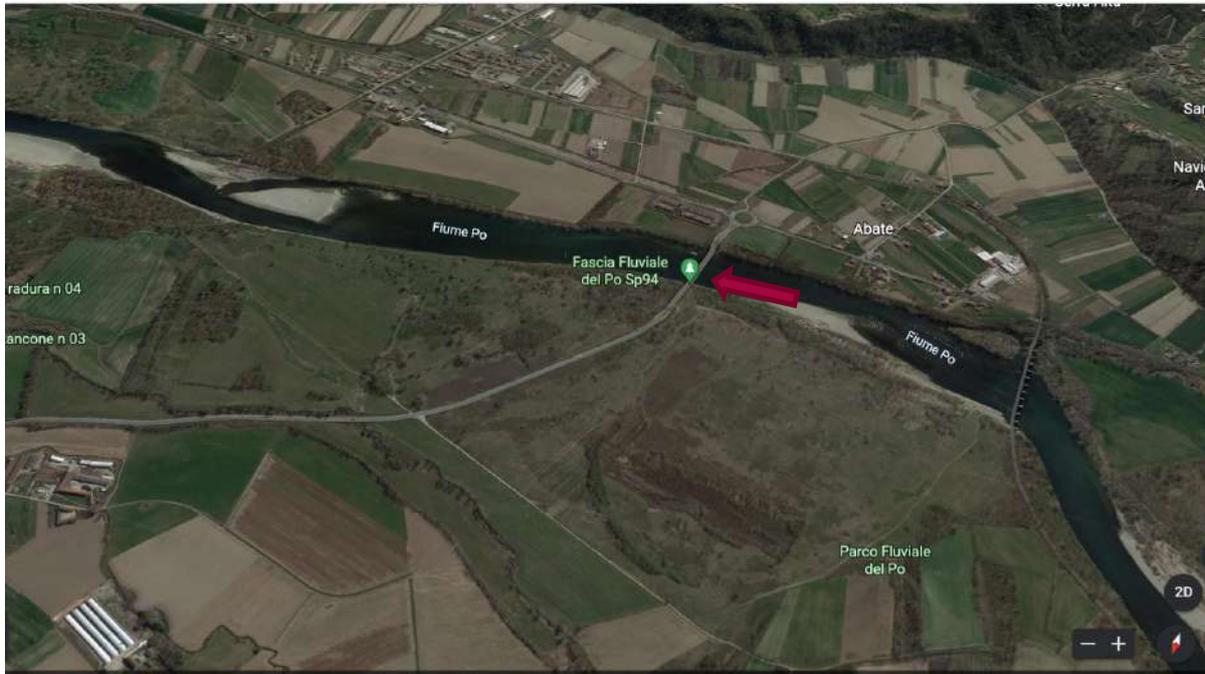


Figura 3. Localizzazione geografica del ponte di "Verolengo" (TO) sulla SP94



Figura 4. Vista dal ponte di "Verolengo" (TO) sulla SP 94



Figura 5. Localizzazione geografica del ponte di "Isola Serafini" (PC) sulla SP27



Figura 6. Vista da sponda del ponte di "Isola Serafini" (PC) sulla SP27

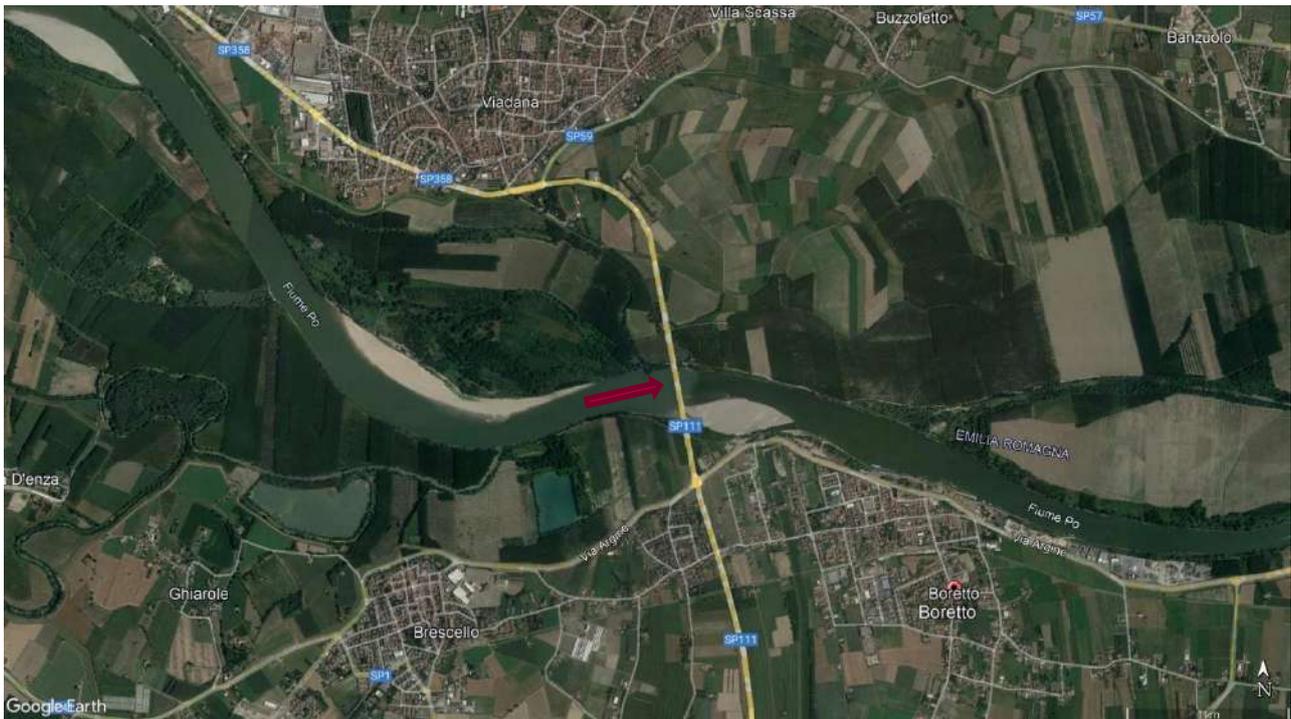


Figura 7. Localizzazione geografica del ponte di "Boretto" (RE) sulla SP111



Figura 8. Vista del ponte di "Boretto" (RE) sulla SP111

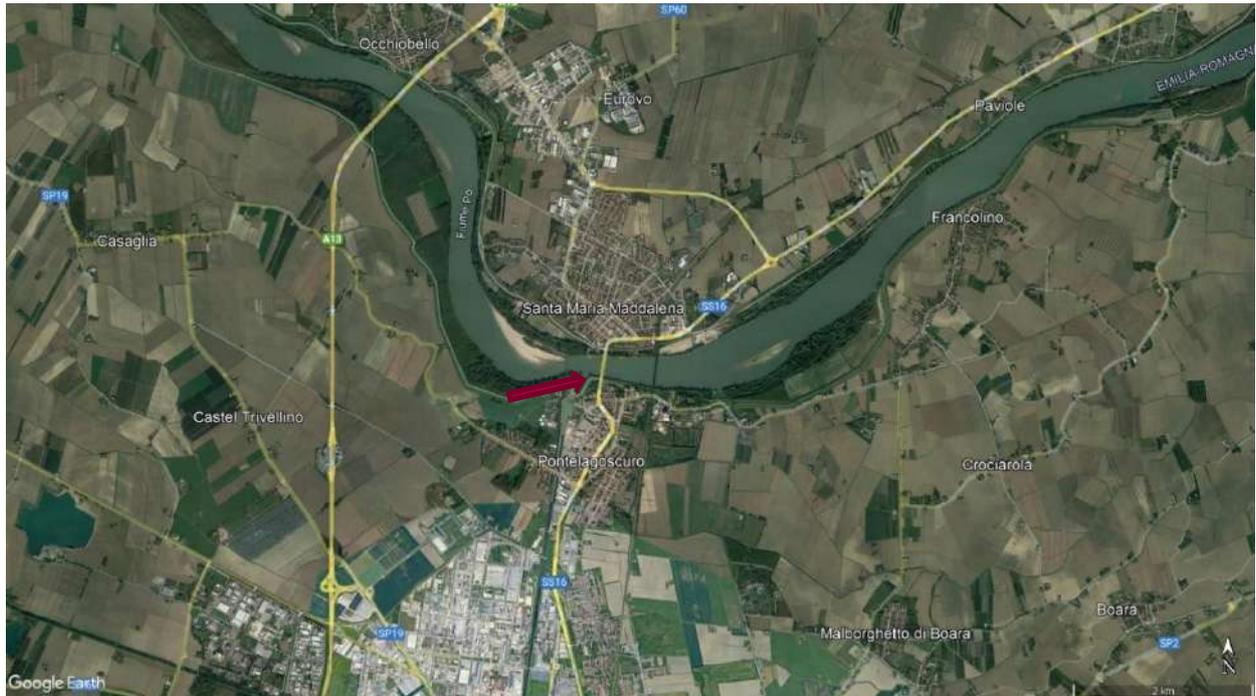


Figura 9. Localizzazione geografica del ponte di "Pontelagoscuro" (FE) sulla SS16



Figura 10. Vista del ponte di "Pontelagoscuro" (FE) sulla SS16



Figura 11. Localizzazione geografica del ponte di "Porto Tolle" (RO)



Figura 12. Vista dal ponte di "Porto Tolle" (RO)

Risultati

Nei paragrafi successivi vengono illustrati i dati raccolti nelle singole stazioni, con una analisi dei risultati riferita alle variazioni stagionali e alla caratterizzazione dimensionale del *floating litter* osservato nelle diverse stazioni. Segue poi il dettaglio dei risultati complessivi rilevati durante i diversi periodi di indagine.

ANALISI PER STAZIONE DI MONITORAGGIO

Stazione 1 – Monitoraggio Ponte di “Verolengo” (TO) sulla SP10

Il monitoraggio è stato eseguito sul 50 % (75 m) della larghezza dell'alveo (circa 150 m). Per questo punto di osservazione (Figura 13) la **misura best** è 5 cm.

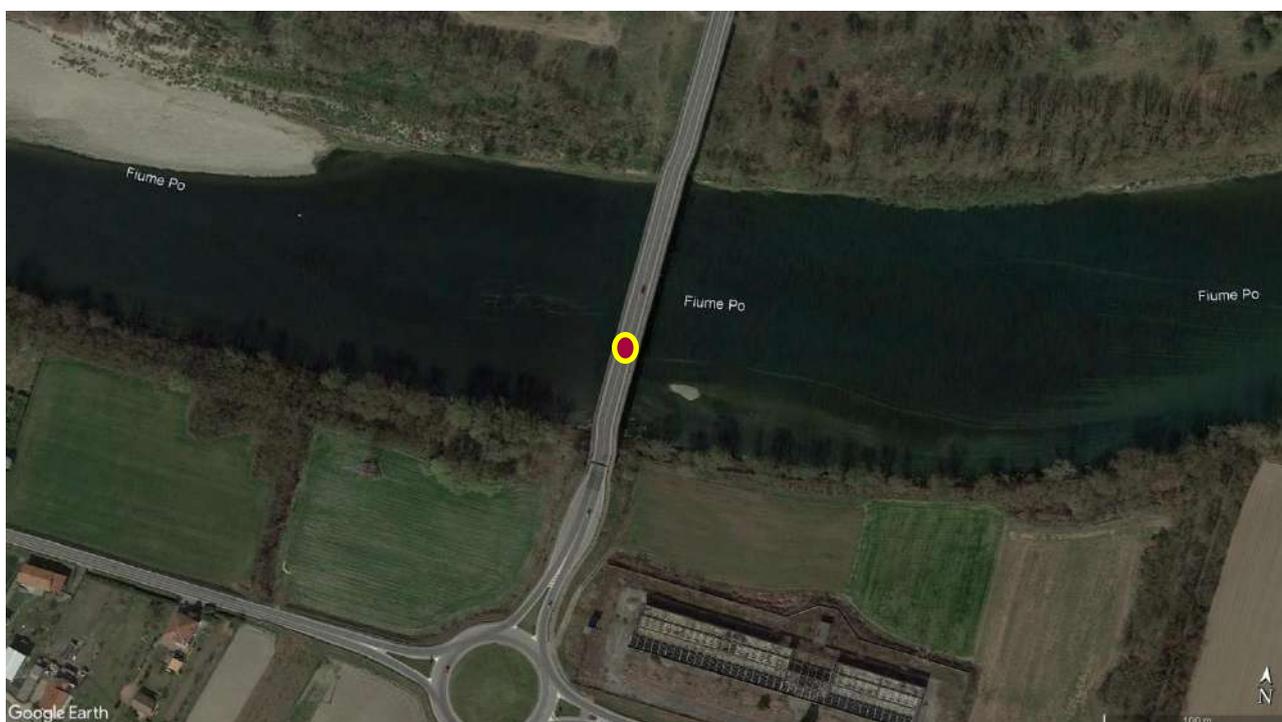


Figura 13. Punto di monitoraggio in corrispondenza del ponte di Verolengo

L'analisi dei dati raccolti nel corso delle quattro stagioni di monitoraggio evidenzia alcuni elementi:

- la prevalenza di materiali plastici di dimensioni inferiori ai 10 cm, che rappresentano poco meno dell'80 % del totale degli items rilevati, come mostrato in Figura 14;
- nel range inferiore a 10 cm la classe dimensionale maggiormente rappresentata è 2,5-5 cm, con 524 items totali). Per entrambe le classi dimensionali più piccole (<2,5 cm e 2,5-5 cm) il dato potrebbe essere sottostimato, a causa della difficoltà di avvistamento e distinzione dei frammenti, specialmente durante i periodi di magra;
- i materiali avvistati – limitatamente a quelli per i quali è stato possibile realizzare un riconoscimento certo - sono in maggioranza **frammenti di sacchetti** utilizzati per la spesa o per la raccolta dell'immondizia, **tappi di bottiglia**, **anelli di tappi di bottiglia**;

- durante le stagioni autunnale e invernale è stato osservato un numero di rifiuti di plastica decisamente più elevato. Ciò è dovuto certamente alla portata più elevata e quindi alla maggiore capacità di trasporto del fiume, fortemente acuita dalle particolari condizioni idrologiche del 2022, che non hanno avviato una possibile dinamica di rimovimentazione del litter fermo sulle sponde e incastrato nella vegetazione riparia;
- il valore della media di osservazione del *litter* varia tra i **129,20 (± 19,44) oggetti/ora** della **stagione autunnale** e i **37,00 (± 13,52) oggetti/ora** di quella **estiva**; il valore più basso registrato in tutte e 5 le stazioni.
- il valore stimato per l'intero alveo evidenzia come la larga maggioranza – poco meno del 70 % - del *floating litter* passi lungo le fasce spondali (25 m da ciascuna riva), come mostrato in Figura 15;

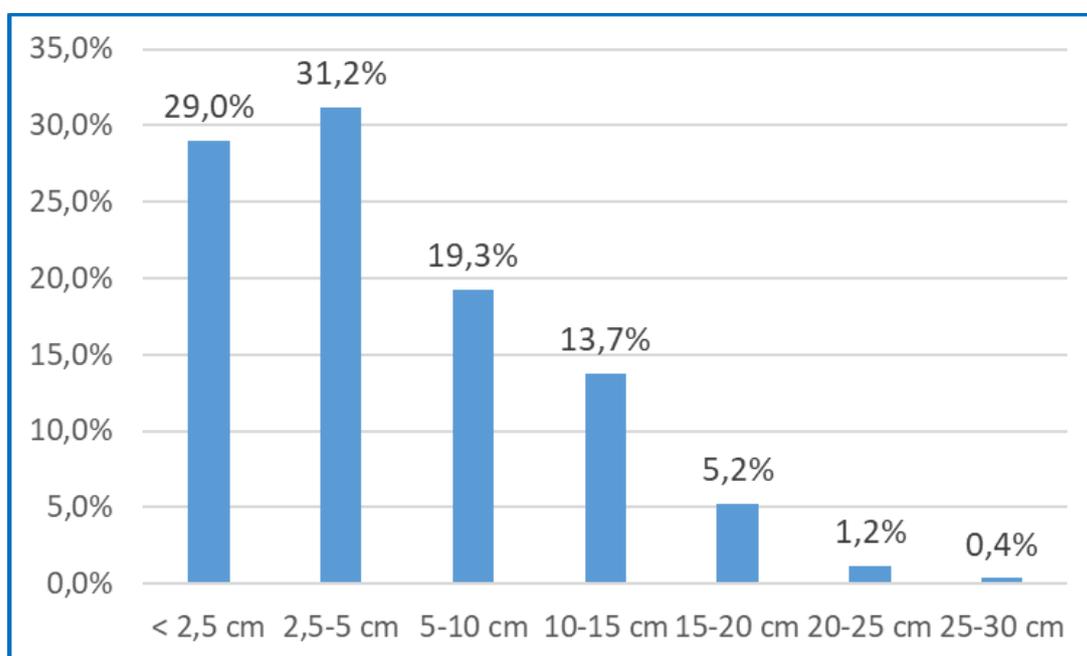


Figura 14. Distribuzione nelle diverse classi dimensionali del plastic litter osservata presso la stazione di Verolengo

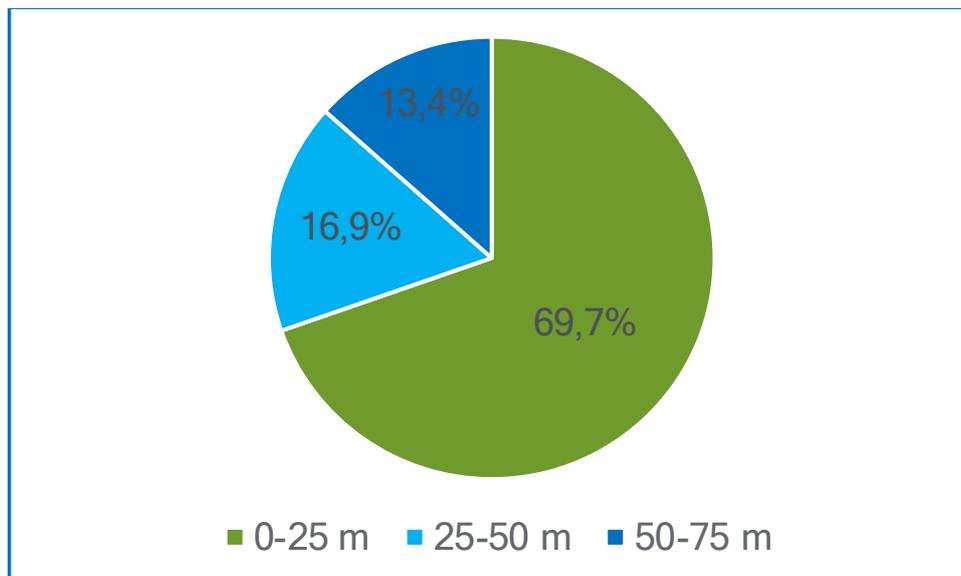


Figura 15. Percentuale di plastic litter riscontrato nelle diverse porzioni di fiume negli intervalli di misura che indicano la distanza dalla sponda

Le tabelle e i grafici successivi mostrano il dettaglio dei dati relativi al numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale osservati nelle singole stagioni:

- i dati relativi alla stagione autunnale 2021, riassunti in Tabella 2, sono mostrati in Figura 16
- i dati relativi alla stagione invernale 2021/2022, riassunti in Tabella 3, sono mostrati in Figura 17
- i dati relativi alla stagione primaverile 2022, riassunti in Tabella 4, sono mostrati in Figura 18
- i dati relativi alla stagione estiva 2022, riassunti in Tabella 5, sono mostrati in Figura 19.

Tabella 2 - Monitoraggio AUTUNNO 2021 - Ponte di "Verolengo" sulla SP94 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	07/09/2021	09/10/2021	21/10/2021	13/11/2021	23/11/2021	Totale Autunno 2021
< 2,5 cm	38	66	24	32	44	204
2,5-5 cm	42	60	48	50	36	236
5-10 cm	28	14	24	22	18	106
10-15 cm	14	6	14	22	12	68
15-20 cm	2	6	0	6	12	26
20-25 cm	2	2	0	0	0	4
25-30 cm	0	0	2	0	0	2
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	126	154	112	132	122	646

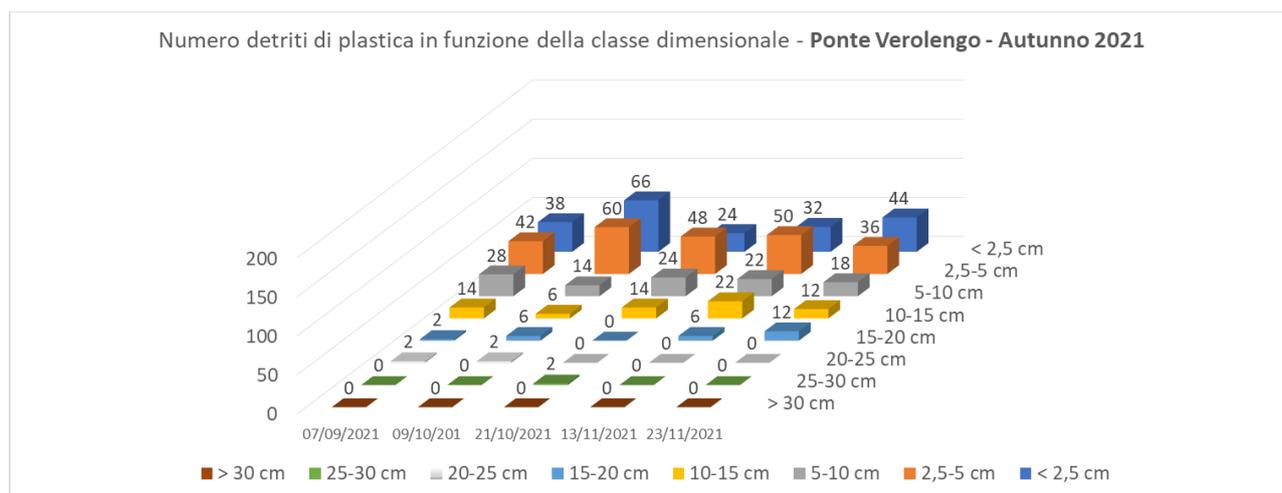


Figura 16. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Verolengo" - Autunno 2021

Tabella 3 - Monitoraggio INVERNO 2021/2022 - Ponte di "Verolengo" sulla SP94 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	14/12/2021	14/1/2022	28/1/2022	4/2/2022	19/2/2022	Totale Inverno 2021/2022
< 2,5 cm	26	78	46	26	52	228
2,5-5 cm	52	46	46	28	30	202
5-10 cm	24	10	12	22	16	84
10-15 cm	14	4	28	18	14	78
15-20 cm	4	6	4	6	14	34
20-25 cm	0	2	2	0	4	8
25-30 cm	0	0	2	0	0	2
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	120	146	140	100	130	636

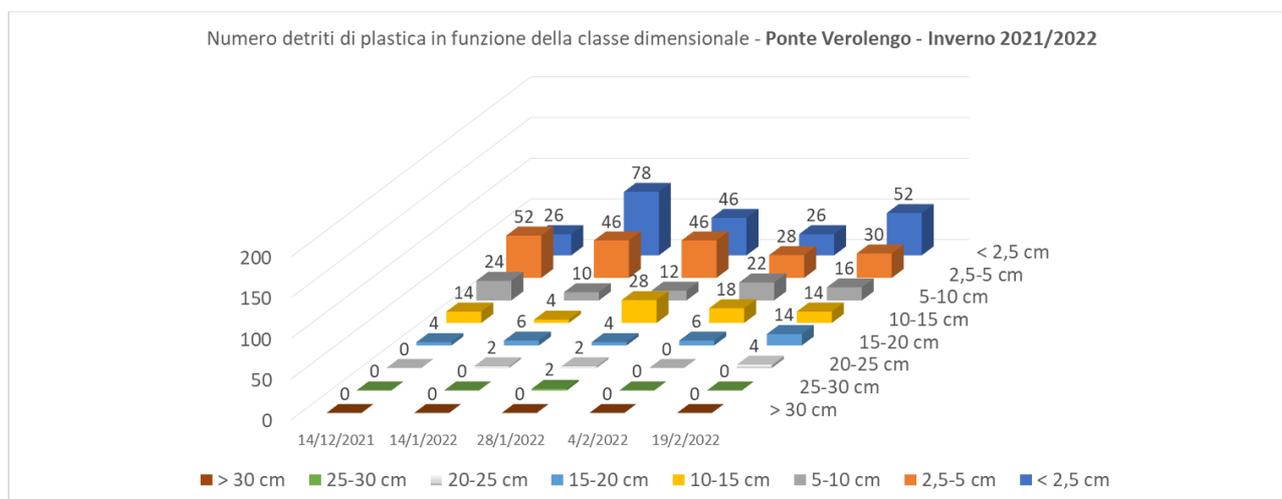


Figura 17. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Verolengo" - Inverno 2021/2022

Tabella 4 - Monitoraggio PRIMAVERA 2022 - Ponte di "Verolengo" sulla SP94 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	3/3/2022	4/3/2022	6/4/2022	20/5/2022	23/5/2022	Totale Primavera 2022
< 2,5 cm	4	6	6	10	6	32
2,5-5 cm	6	10	12	12	6	46
5-10 cm	20	10	12	10	20	72
10-15 cm	10	14	18	2	4	48
15-20 cm	2	0	8	0	0	10
20-25 cm	0	2	2	0	0	4
25-30 cm	0	2	0	0	0	2
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	42	44	58	34	36	214

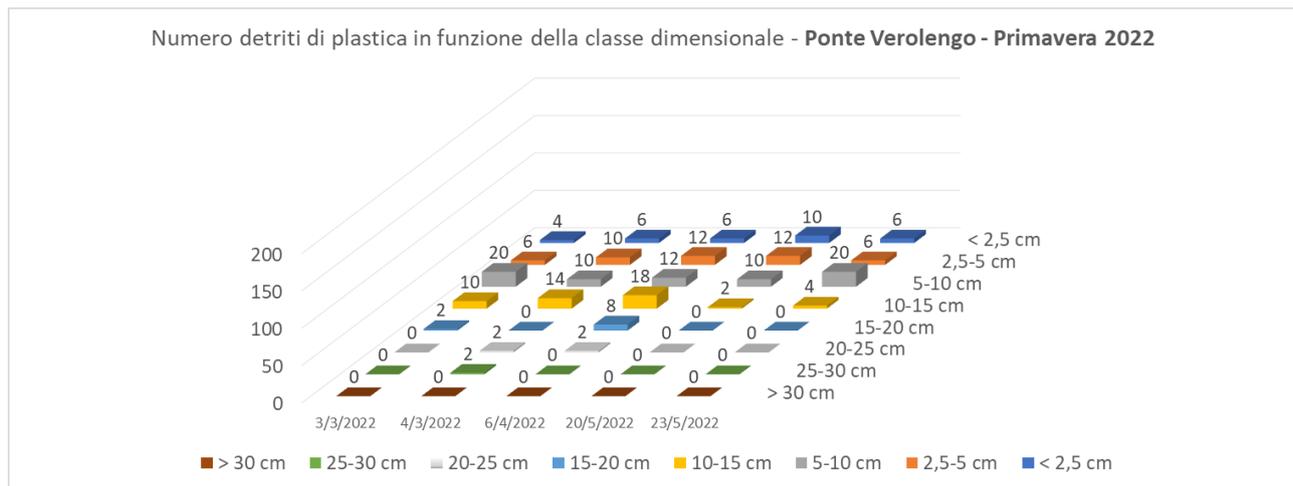


Figura 18. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Verolengo" - Primavera 2022

Tabella 5 - Monitoraggio ESTATE 2022 - Ponte di "Verolengo" sulla SP94 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	2/6/2022	3/6/2022	29/7/2022	7/8/2023	28/8/2023	Totale Estate 2022
< 2,5 cm	3	10	2	5	4	24
2,5-5 cm	7	9	5	12	7	40
5-10 cm	11	12	13	16	10	62
10-15 cm	3	7	7	12	8	37
15-20 cm	1	2	5	7	3	18
20-25 cm	0	0	1	2	1	4
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	25	40	33	54	33	185

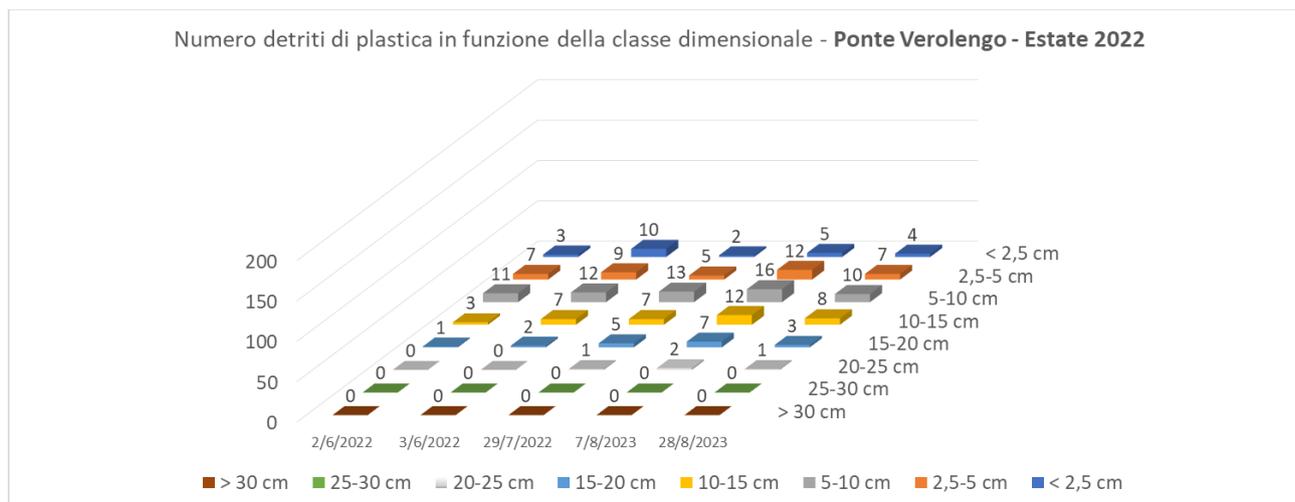


Figura 19. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Verolengo" - Estate 2022

Stazione 2 - Monitoraggio Ponte di “Isola Serafini” (PC) sulla SP10

Il monitoraggio è stato eseguito sul 50 % (125 m) della larghezza dell'alveo (250 m). Il punto di monitoraggio per questa stagione, la cui **misura best** è pari a **10 cm**, è mostrato in Figura 20.

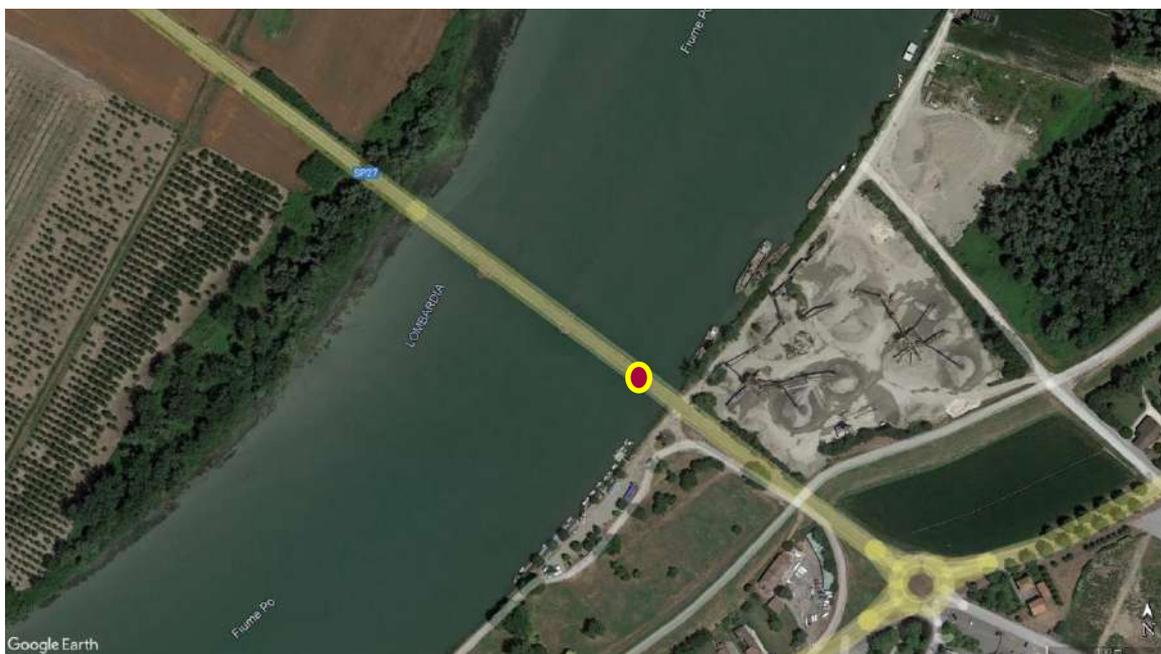


Figura 20. Punto di monitoraggio in corrispondenza del ponte di Isola Serafini, a monte dell'omonima centrale idroelettrica

L'analisi dei dati raccolti durante le visite di monitoraggio e calcolati per l'intero alveo evidenzia i seguenti aspetti rilevanti:

- la **prevalenza** di materiali plastici di dimensioni **inferiori a 10 cm**, che nel complesso rappresentano il 75,7 % del totale degli oggetti osservati, come mostrato in Figura 21;
- nel range inferiore a 10 cm preponderano decisamente le osservazioni relative a oggetti più piccoli di 2,5 cm (1435 items) e a seguire di dimensioni “2,5-5 cm” (1139 items). Anche per questa stazione il dato relativo agli oggetti più piccoli di 10 cm potrebbe essere sottostimato, a causa della difficoltà di avvistamento e identificazione;
- la presenza di un numero cospicuo, **369 oggetti**, di materiali plastici di dimensioni “> 30 cm” che corrispondono all'8,9 % del totale delle osservazioni per questa stazione. È l'unico punto di monitoraggio in cui questa categoria dimensionale è così rappresentata: in totale nelle altre 4 stazioni sono stati osservati solo 42 oggetti “> 30 cm”;
- la composizione merceologica che evidenzia il prevalere di **piccoli frammenti** (ragionevolmente di sacchetti o imballaggi), **pezzi di polistirolo**, **guarnizioni** e **tappi di bottiglia**;
- la presenza lungo le sponde, intrappolati tra la vegetazione acquatica, i sedimenti e i natanti, di materiali plastici e altri rifiuti, di dimensioni maggiormente variabili, dalle pezzature inferiori ai 15 cm fino ad elementi di grandezza maggiore, quali bottiglie, parti di ceste di plastica e altri contenitori, taniche, cassette di polistirolo, sacchetti interi, ecc.;
- la maggioranza delle osservazioni è concentrata nei mesi autunnali e invernali e differenze stagionali meno marcate che in altre stazioni;

- il valore di numero **oggetti/ora** trasportato varia tra i **265,85** ($\pm 129,83$) della **stagione invernale** – il valore più elevato registrato nelle 5 stazioni – e i **108,31** ($\pm 41,71$) di quella **estiva**;
- il valore stimato per l'intero alveo evidenzia che il 62,1 % (Figura 22) delle osservazioni si concentra nelle fasce spondali (25 m da ciascuna riva).

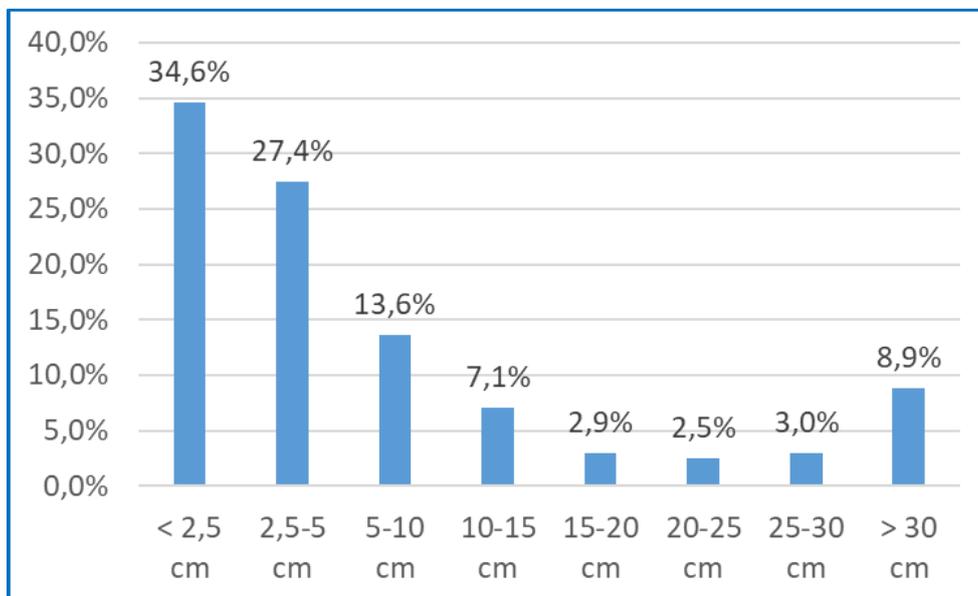


Figura 21. Distribuzione nelle diverse classi dimensionali del plastic litter osservato presso la stazione di Isola Serafini

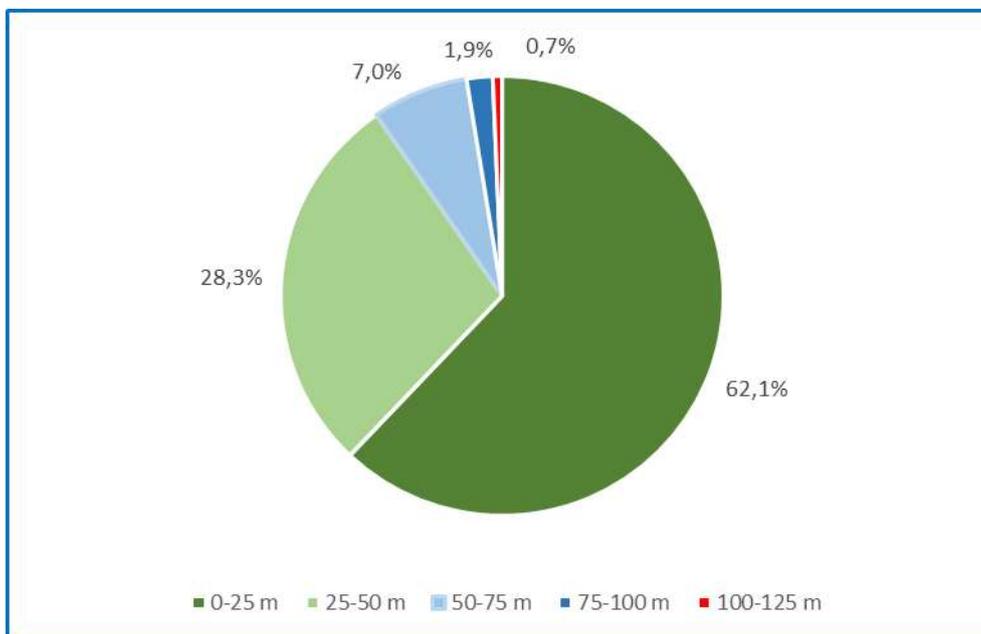


Figura 22. Percentuale di plastic litter riscontrato nelle diverse porzioni di fiume negli intervalli di misura che indicano la distanza dalla sponda

Le tabelle e i grafici successivi mostrano il dettaglio dei dati relativi al numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale osservati nelle singole stagioni:

- i dati relativi alla stagione autunnale 2021, riassunti in Tabella 6, sono mostrati in Figura 23
- i dati relativi alla stagione invernale 2021/2022, riassunti in Tabella 7, sono mostrati in Figura 24
- i dati relativi alla stagione primaverile 2022, riassunti in Tabella 8, sono mostrati in Figura 25
- i dati relativi alla stagione estiva 2022, riassunti in Tabella 9, sono mostrati in Figura 26.

Tabella 6 - Monitoraggio AUTUNNO 2021 - Ponte di "Isola Serafini" sulla SP10 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	07/09/2021	09/10/201	21/10/2021	13/11/2021	23/11/2021	Totale Autunno 2021
< 2,5 cm	123	68	160	111	80	542
2,5-5 cm	68	31	142	49	68	357
5-10 cm	105	6	62	18	18	209
10-15 cm	12	6	0	62	0	80
15-20 cm	6	0	0	0	12	18
20-25 cm	0	0	0	0	0	0
25-30 cm	0	0	12	0	0	12
> 30 cm	6	31	12	0	18	68
Totale	320	142	388	240	197	1286

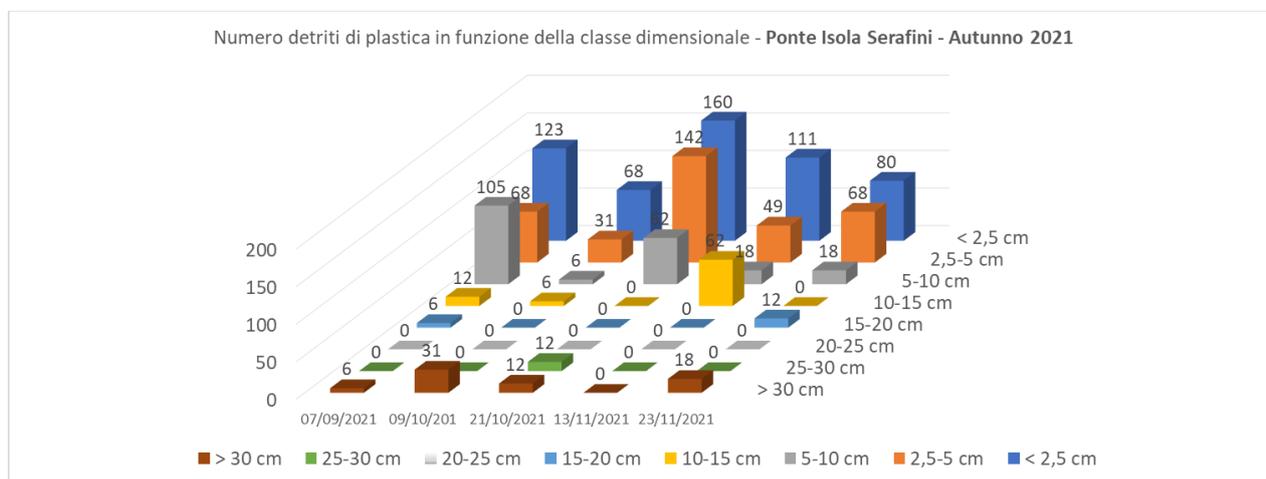


Figura 23. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Isola Serafini" - Autunno 2021

Tabella 7 - Monitoraggio INVERNO 2021/2022 - Ponte di "Isola Serafini" sulla SP10 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	02/12/2021	16/12/2021	27/01/2022	11/02/2022	21/02/2022	Totale Inverno 2021/2022
< 2,5 cm	142	55	166	86	92	542
2,5-5 cm	74	37	148	62	62	382
5-10 cm	98	6	49	6	25	185
10-15 cm	37	0	0	55	0	92
15-20 cm	0	6	6	0	6	18
20-25 cm	0	0	0	0	0	0
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	6	43	25	6	31	111
Totale	357	148	394	215	215	1329

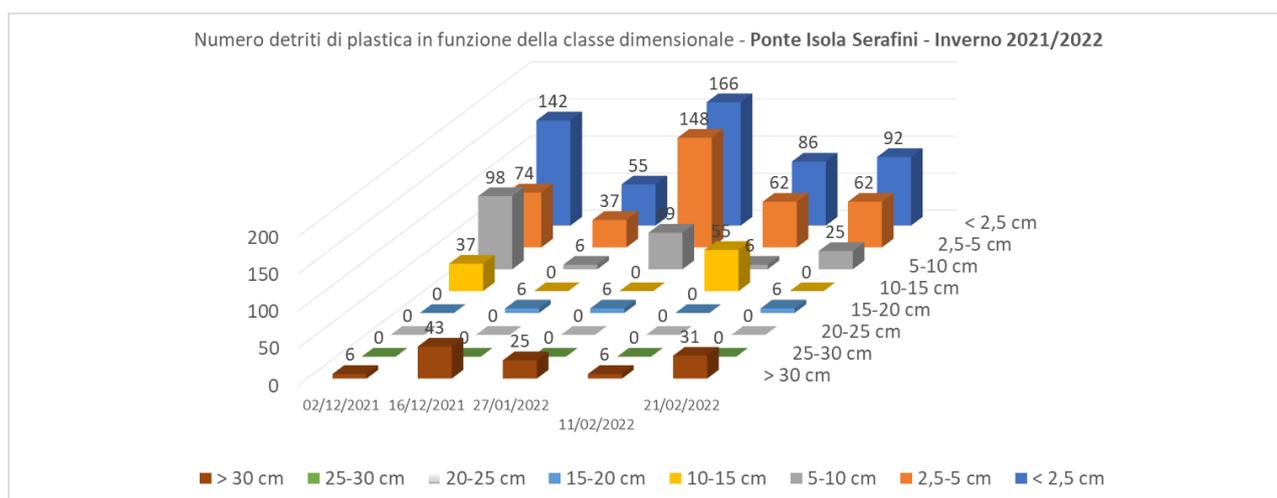


Figura 24. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Isola Serafini" - Inverno 2021/2022

Tabella 8 - Monitoraggio PRIMAVERA 2022 - Ponte di "Isola Serafini" sulla SP10 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	27/03/2022	22/04/2022	10/05/2022	24/05/2022	31/05/2022	Totale Primavera 2022
< 2,5 cm	62	25	62	25	55	228
2,5-5 cm	43	18	74	37	62	234
5-10 cm	37	0	37	25	18	117
10-15 cm	12	0	18	18	6	55
15-20 cm	0	0	12	25	12	49
20-25 cm	0	0	6	18	25	49
25-30 cm	0	0	31	31	31	92
> 30 cm	31	43	55	43	0	172
Totale	185	86	295	222	209	997

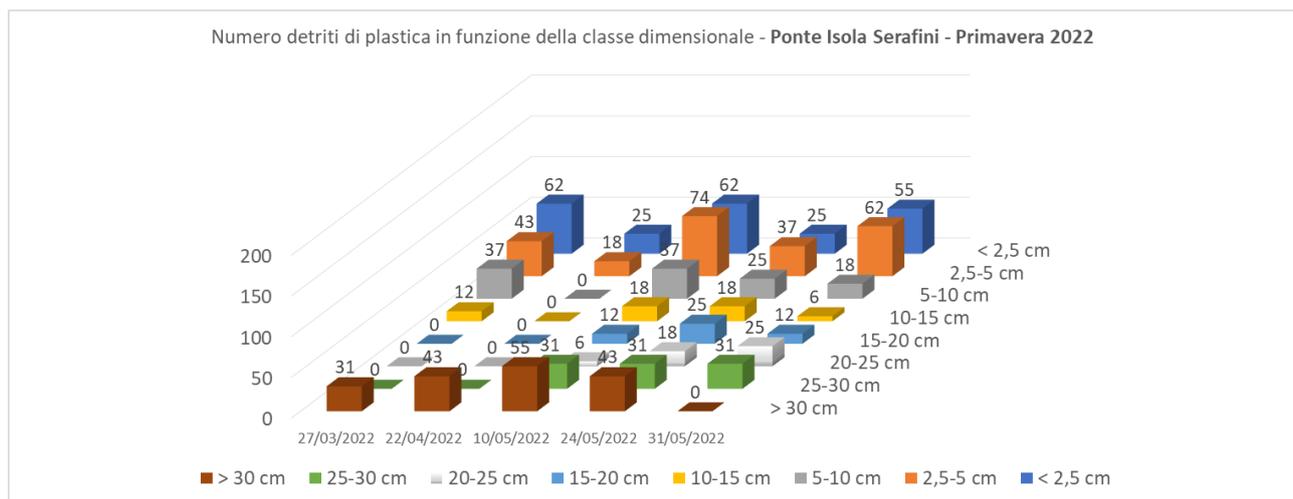


Figura 25. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Isola Serafini" - Primavera 2022

Tabella 9 - Monitoraggio ESTATE 2022 - Ponte di "Isola Serafini" sulla SP10 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	06/07/2022	13/07/2022	20/07/2022	19/08/2022	30/08/2022	Totale Estate 2022
< 2,5 cm	12	25	25	25	37	123
2,5-5 cm	12	25	25	55	49	166
5-10 cm	0	12	12	6	25	55
10-15 cm	12	18	12	0	25	68
15-20 cm	6	12	6	6	6	37
20-25 cm	6	18	18	12	0	55
25-30 cm	6	6	0	6	0	18
> 30 cm	0	12	0	6	0	18
Totale	55	129	98	117	142	542

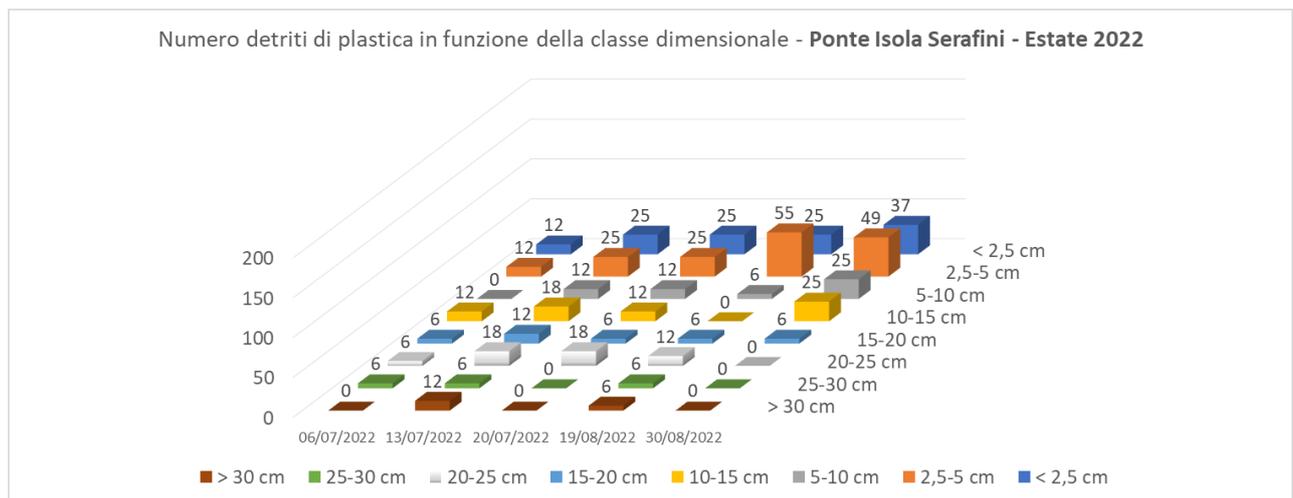


Figura 26. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Isola Serafini" - Estate 2022

Le immagini di seguito (Figura 27, 28, 29) mostrano dettagli della vista dal punto di monitoraggio sul ponte di Isola Serafini.



Figura 27. Vista dal ponte di Isola Serafini: il riconoscimento di frammenti di plastica, schiume e detriti legnosi o di altri materiali di pari dimensioni risulta agevole da questa postazione



Figura 28. Particolare inerente detriti di plastica e legnosi



Figura 29. Accumulo di detriti di varia natura lungo le rive a valle del ponte di Isola Serafini

Stazione 3 - Monitoraggio Ponte di “Boretto” (RE) sulla SP111

A causa dell'altezza del ponte e quindi della difficoltà di individuare e catalogare correttamente gli items, le osservazioni sono state condotte da un punto rialzato lungo la sponda (Figura 30), monitorando un tratto di 25 m rispetto alla larghezza dell'alveo pari a 230 m. Per questo punto di osservazione la **misura best** è **10 cm**.

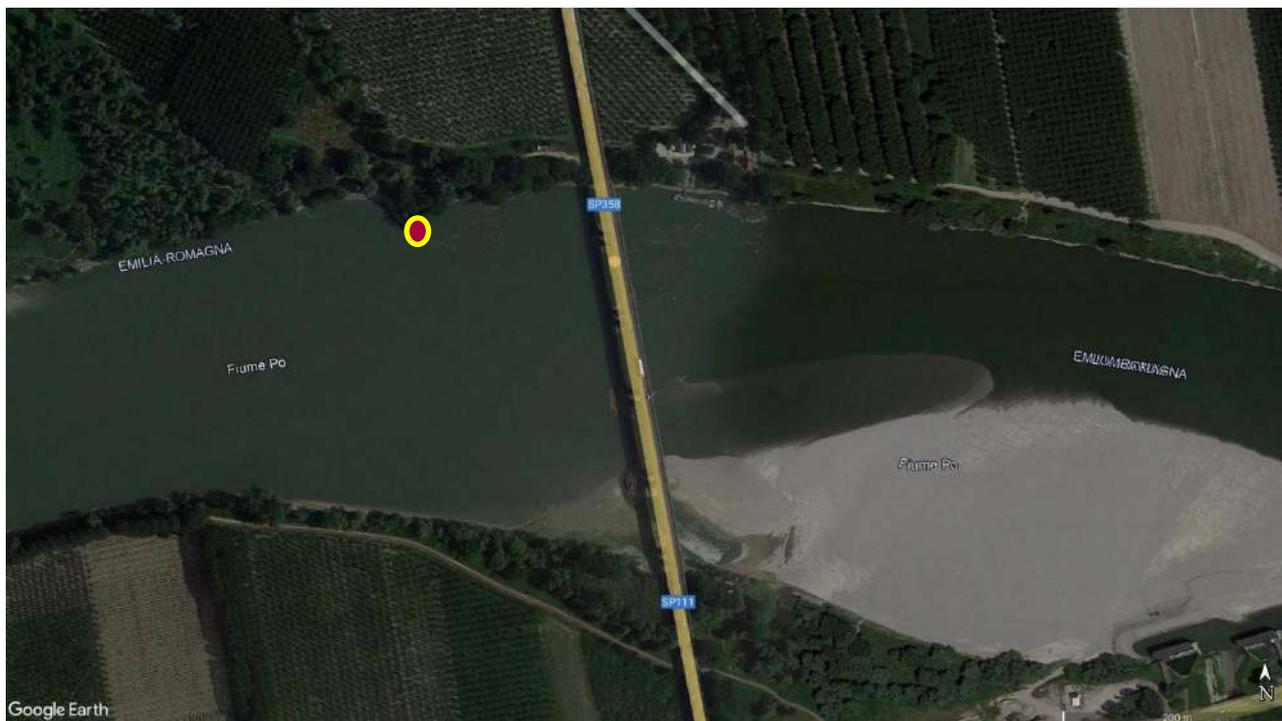


Figura 30. Punto di monitoraggio lungo la riva sinistra a monte del ponte di Boretto (RE)

Come descritto nel paragrafo relativo ai metodi, si è scelto di prendere a riferimento una percentuale intermedia pari al 65 % di riverine litter che passa lungo la sponda, calcolando di conseguenza il totale riferito all'intero alveo.

Di seguito si riportano i principali elementi emersi dall'analisi dei dati raccolti:

- il numero di osservazioni è in valore assoluto decisamente inferiore a quello registrato in corrispondenza della stazione precedente di Isola Serafini;
- prevalgono nettamente i **materiali plastici** di dimensioni **inferiori a 10 cm**, che rappresentano il 96,2 % di tutte le osservazioni (Figura 31), un valore sensibilmente superiore a quello riscontrato nelle altre stazioni. È possibile che questo dato, così come la riduzione complessiva delle osservazioni, sia determinato dalla periodica rimozione di rifiuti di maggiore dimensione che si realizza presso lo sbarramento di Isola Serafini;
- nel range inferiore a 10 cm, sono più frequenti gli oggetti di dimensione inferiore a 2,5 cm, che da soli rappresentano il 47,4 % del totale (Figura 31). Anche in questo caso si tratta del valore più elevato riscontrato lungo il Po;
- l'analisi stagionale mostra una distribuzione più uniforme rispetto alle altre stazioni, con valori non troppo dissimili tra autunno, primavera e inverno;
- il valore di numero **oggetti/ora** trasportato varia tra i **115,38** ($\pm 37,60$) della **stagione autunnale** e i **43,08** ($\pm 19,81$) di quella **estiva**. Il valore massimo è il più basso tra quelli analoghi riscontrati nelle altre stazioni;

- la composizione merceologica che evidenzia il prevalere di **piccoli frammenti di sacchetti e imballaggi**, pezzi di plastica derivanti da **materiali ad uso agricolo, brandelli di polistirolo**.

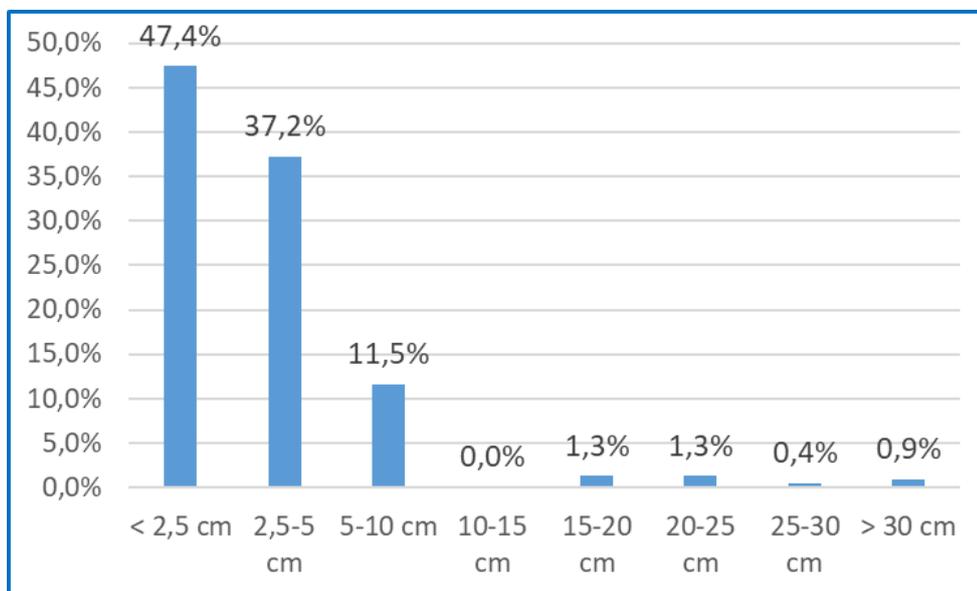


Figura 31. Distribuzione nelle diverse classi dimensionali del plastic litter osservato presso la stazione di Boretto

In questa stazione, avendo effettuato il monitoraggio da sponda, non è possibile attribuire un numero esatto di items per le specifiche sezioni in cui è suddiviso l'alveo e di conseguenza non è stata inserita la relativa rappresentazione grafica.

Le tabelle e i grafici successivi mostrano il dettaglio dei dati relativi al numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale osservati nelle singole stagioni:

- i dati relativi alla stagione autunnale 2021, riassunti in Tabella 10, sono mostrati in Figura 32
- i dati relativi alla stagione invernale 2021/2022, riassunti in Tabella 11, sono mostrati in Figura 33
- i dati relativi alla stagione primaverile 2022, riassunti in Tabella 12, sono mostrati in Figura 34
- i dati relativi alla stagione estiva 2022, riassunti in Tabella 13, sono mostrati in Figura 35.

Tabella 10 - Monitoraggio da sponda AUTUNNO 2021 - Ponte di "Boretto" sulla SP111 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	07/09/2021	09/10/2021	21/10/2021	13/11/2021	23/11/2021	Totale Autunno 2021
< 2,5 cm	62	69	54	69	38	292
2,5-5 cm	54	23	46	46	23	192
5-10 cm	38	0	8	0	8	54
10-15 cm	0	0	0	0	0	0
15-20 cm	0	23	0	0	0	23
20-25 cm	0	0	15	0	0	15
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	154	115	123	115	69	577

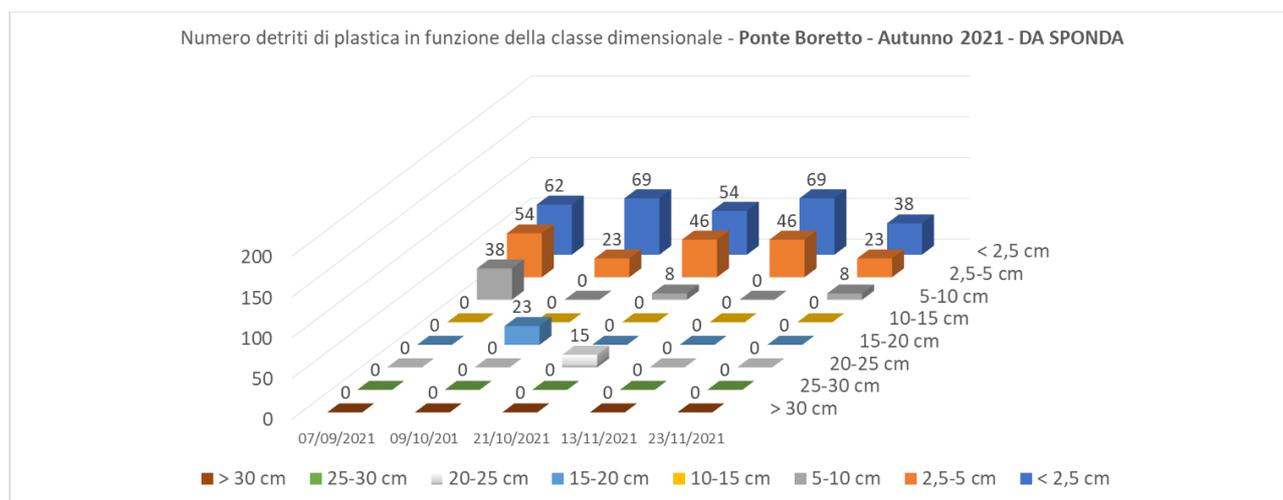


Figura 32. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Boretto" - Autunno 2021

Tabella 11 - Monitoraggio da sponda INVERNO 2021/2022 - Ponte di "Boretto" sulla SP111 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	02/12/2021	16/12/2021	27/01/2022	11/02/2022	21/02/2022	Totale Inverno 2021/2022
< 2,5 cm	31	46	62	69	38	246
2,5-5 cm	31	31	31	46	23	162
5-10 cm	38	0	8	0	8	54
10-15 cm	0	0	0	0	0	0
15-20 cm	0	0	0	0	0	0
20-25 cm	0	0	0	0	0	0
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	100	77	100	115	69	462

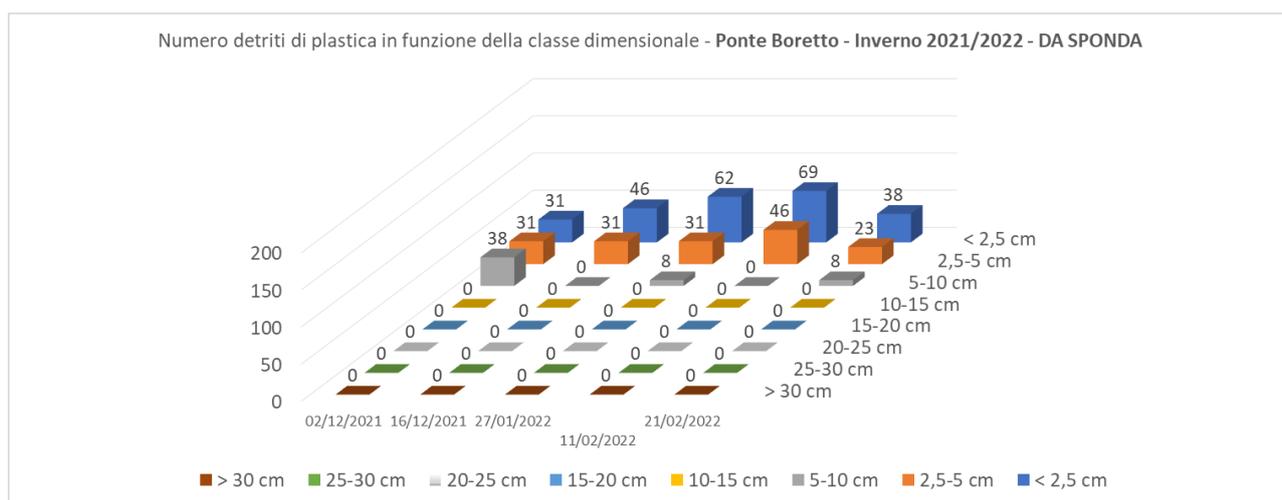


Figura 33. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Boretto" - Inverno 2021/2022

Tabella 12- Monitoraggio da sponda PRIMAVERA 2022 - Ponte di "Boretto" sulla SP111 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	27/03/2022	22/04/2022	10/05/2022	24/05/2022	31/05/2022	Totale Primavera 2022
< 2,5 cm	54	54	46	23	31	208
2,5-5 cm	31	46	46	46	54	223
5-10 cm	23	0	31	15	23	92
10-15 cm	0	0	0	0	0	0
15-20 cm	0	0	0	0	0	0
20-25 cm	0	0	8	0	0	8
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	0	15	0	0	0	15
Totale	108	115	131	85	108	546

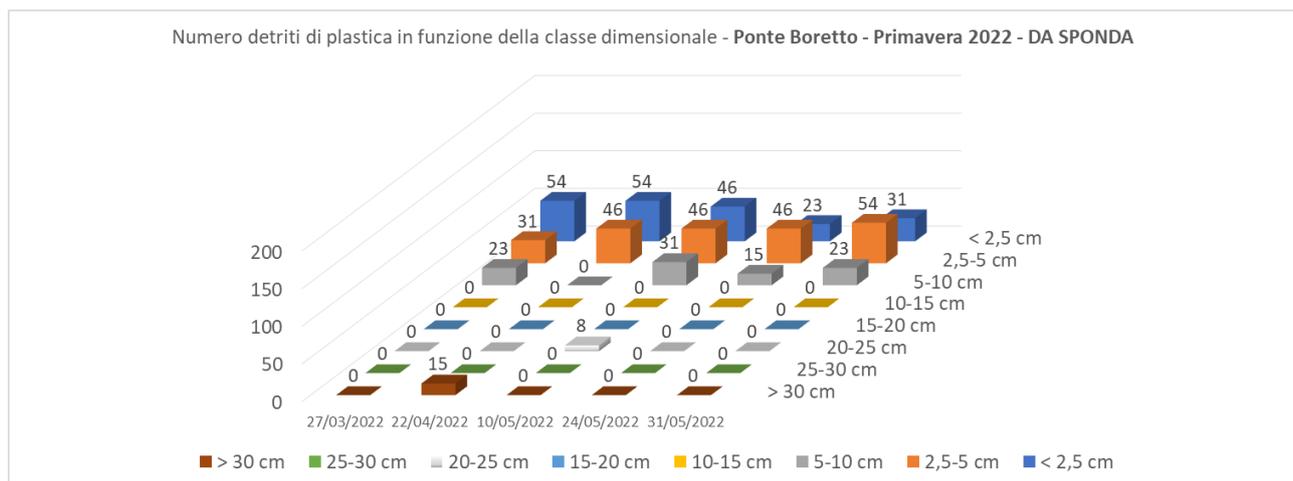


Figura 34. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Boretto" - Primavera 2022

Tabella 13 - Monitoraggio da sponda ESTATE 2022- Ponte di "Boretto" sulla SP111 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	07/06/2022	13/07/2022	20/07/2022	19/08/2022	30/08	Totale Estate 2022
< 2,5 cm	23	23	15	23	23	108
2,5-5 cm	38	8	8	23	15	92
5-10 cm	0	0	0	0	8	8
10-15 cm	0	0	0	0	0	0
15-20 cm	0	0	0	0	0	0
20-25 cm	0	0	0	0	0	0
25-30 cm	0	0	0	0	8	8
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	62	31	23	46	54	215

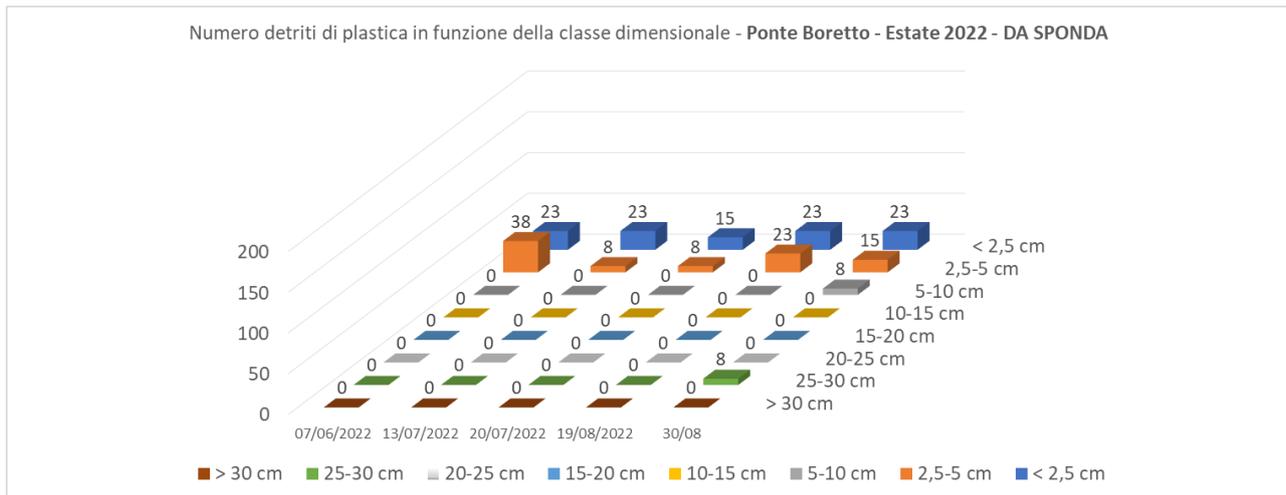


Figura 35. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Boretto" - Estate 2022

Le immagini di seguito (Figura 36, 37, 38) mostrano dettagli della vista dal punto di monitoraggio lungo la riva sinistra a monte del ponte di Boretto (RE).



Figura 36 - Vista dalla riva sinistra del fiume Po a monte del ponte di Boretto: da questa postazione risultano facilmente distinguibili i frammenti di plastica da schiume di analoghe dimensioni



Figura 37 - Vista dalla riva sinistra del fiume Po a monte del ponte di Boretto: il riconoscimento di frammenti di plastica, schiume e detriti legnosi o di altri materiali di pari dimensioni risulta agevole da questa postazione



Figura 38 - Accumulo di detriti legnosi di notevoli dimensioni in corrispondenza delle pile del ponte di Boretto

Stazione 4 - Monitoraggio Ponte di “Pontelagoscuro” (FE) sulla SS16

A causa dell'altezza del ponte e quindi della difficoltà di individuare e catalogare correttamente gli items, le osservazioni sono state condotte da un punto rialzato lungo la sponda (Figura 39), monitorando un tratto di 25 m rispetto alla larghezza dell'alveo pari a circa 215 m. Per questo punto di osservazione la **misura best** è **10 cm**.

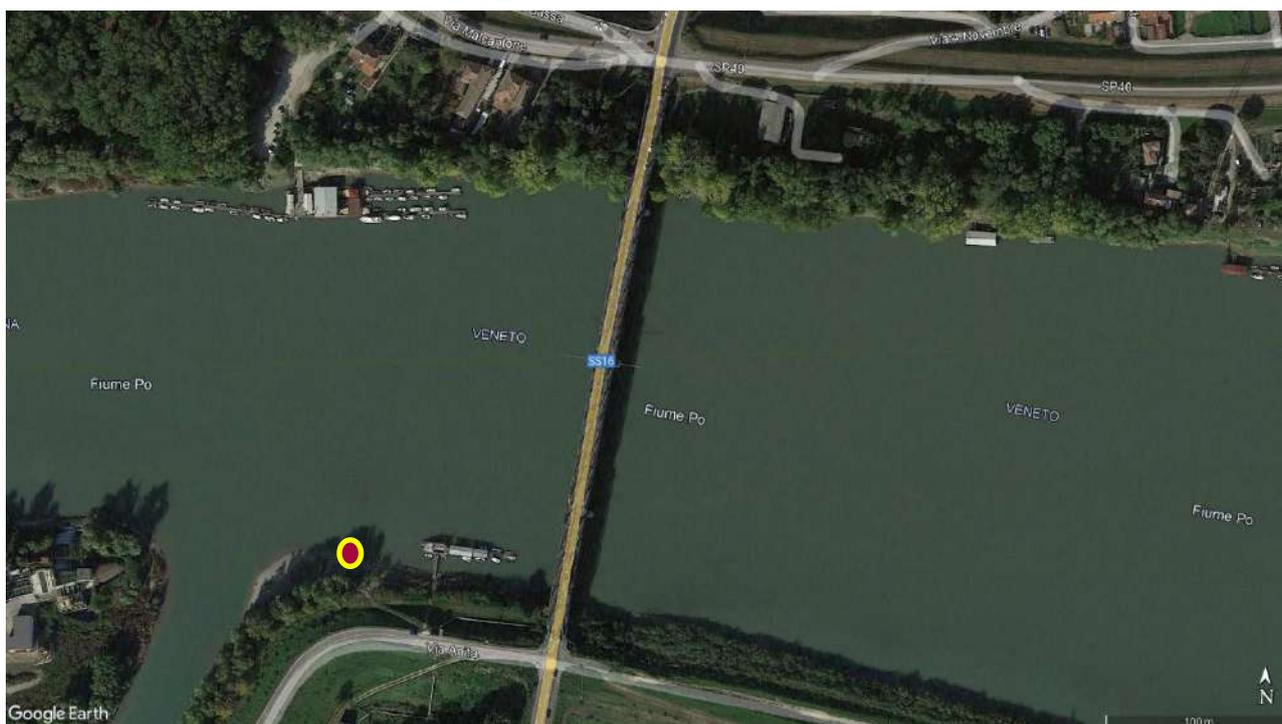


Figura 39 - Punto di monitoraggio in corrispondenza del ponte di Pontelagoscuro (FE) (riva e ponte stesso)

Come descritto nel paragrafo relativo ai metodi, si è scelto di prendere a riferimento una percentuale pari al 65 % di frammenti che passano lungo la sponda, calcolando di conseguenza il totale riferito all'intero alveo.

L'analisi dei risultati consente di formulare alcune considerazioni:

- prevalgono i **materiali plastici** di dimensioni **inferiori a 10 cm**, che nel complesso rappresentano l'89,5 % di tutti i rifiuti osservati (Figura 40);
- nel range inferiore a 10 cm, la presenza preponderante è quella degli oggetti minori di 2,5 cm, che da soli rappresentano il 41,8 % del totale;
- è la stazione con la distribuzione stagionale più omogenea e l'unica in cui il numero più elevato di osservazioni è stato riscontrato in primavera;
- il valore di numero **oggetti/ora** trasportato varia tra i **152,31** ($\pm 53,78$) della **stagione primaverile** e i **106,15** ($\pm 43,98$) di quella **estiva**. Il valore minimo è il più elevato tra quelli analoghi riscontrati negli altri punti di osservazione: in questa stazione e in quella di Isola Serafini risulta sempre superiore ai 100 oggetti/ora;
- gli **items** più **frequenti** sono: **frammenti di sacchetti di plastica, contenitori di plastica da uso agricolo, pezzi di plastica rigida, etichette e frammenti di etichette.**

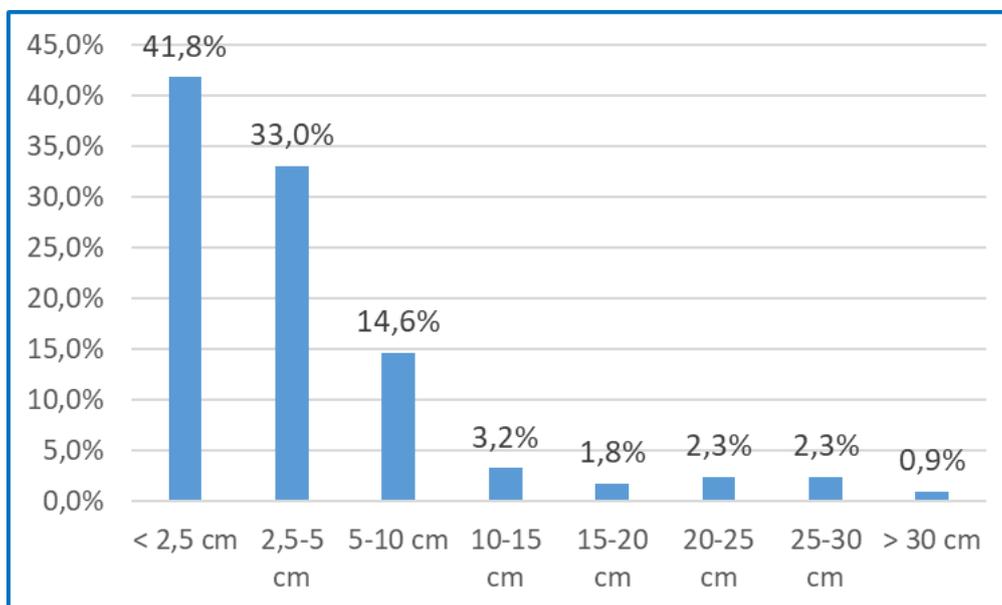


Figura 40 - Distribuzione nelle diverse classi dimensionali del plastic litter osservato presso la stazione di Pontelagoscuro

Anche per questa stazione non è stato inserito un grafico rappresentativo degli oggetti osservati nelle specifiche sezioni in cui può essere suddiviso l'alveo poiché il monitoraggio è stato realizzato dalla sponda.

Le tabelle e i grafici successivi mostrano il dettaglio dei dati relativi al numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale osservati nelle singole stagioni:

- i dati relativi alla stagione autunnale 2021, riassunti in Tabella 14, sono mostrati in Figura 41;
- i dati relativi alla stagione invernale 2021/2022, riassunti in Tabella 15, sono mostrati in Figura 42;
- i dati relativi alla stagione primaverile 2022, riassunti in Tabella 16, sono mostrati in Figura 43;
- i dati relativi alla stagione estiva 2022, riassunti in Tabella 17, sono mostrati in Figura 44.

Tabella 14 – Monitoraggio da sponda AUTUNNO 2021 - Ponte di “Pontelagoscuro” sulla SS16 con riferimento all’intero alveo

Dimensione	07/09/2021	09/10/201	21/10/2021	13/11/2021	23/11/2021	Totale Autunno 2021
< 2,5 cm	77	54	77	62	69	338
2,5-5 cm	38	62	23	62	31	215
5-10 cm	31	8	23	23	15	100
10-15 cm	0	0	8	0	8	15
15-20 cm	0	8	8	0	0	15
20-25 cm	0	0	0	0	8	8
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	146	131	138	146	131	692

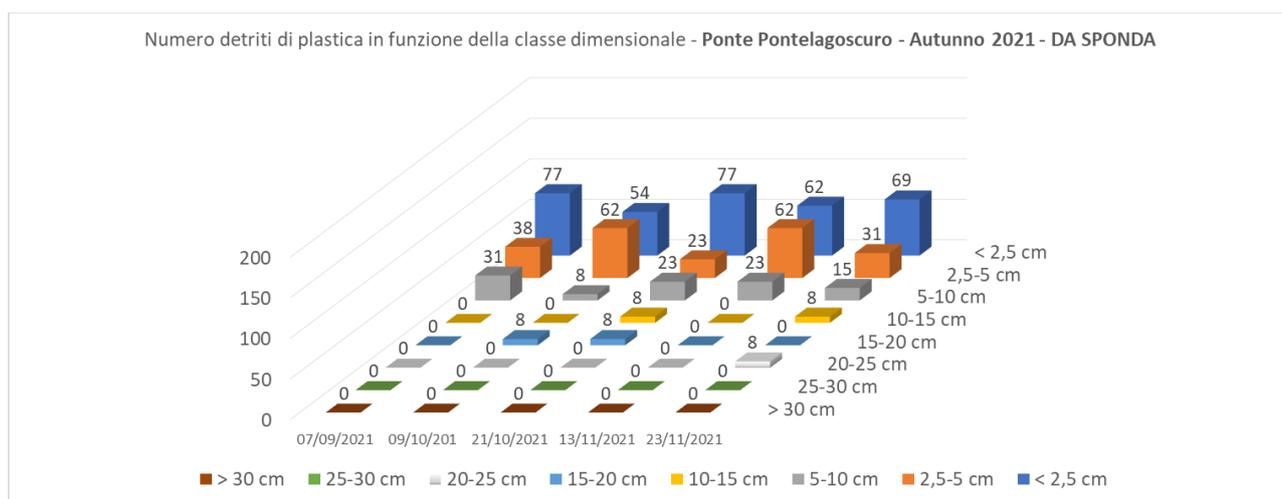


Figura 41. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di “Pontelagoscuro” - Autunno 2021

Tabella 15 - Monitoraggio da sponda INVERNO 2021/2022 - Ponte di "Pontelagoscuro" sulla SS16 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	02/12/2021	17/12/2021	28/01/2022	12/02/2022	22/02/2022	Totale Inverno 2021/2022
< 2,5 cm	62	46	46	77	77	308
2,5-5 cm	23	46	31	69	38	208
5-10 cm	8	15	23	23	23	92
10-15 cm	0	0	8	0	8	15
15-20 cm	0	8	8	0	0	15
20-25 cm	0	0	0	0	8	8
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	92	115	115	169	154	646

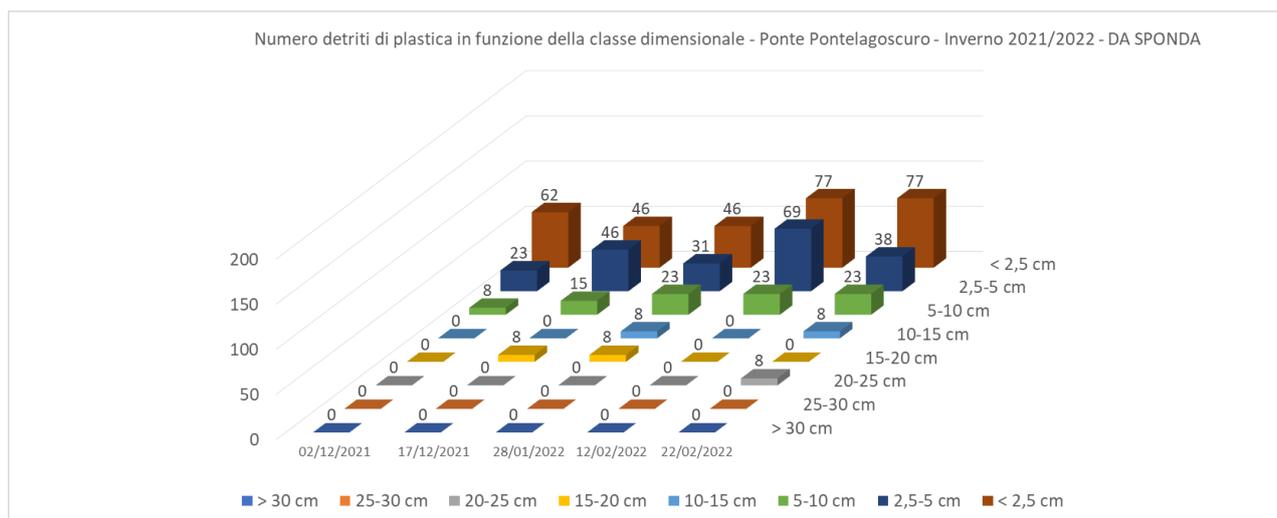


Figura 42. Numero detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Pontelagoscuro" - Inverno 2021/2022

Tabella 16 - Monitoraggio da sponda PRIMAVERA 2021 - Ponte di "Pontelagoscuro" sulla SS16 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	27/03/2022	22/04/2022	10/05/2022	23/05/2022	30/05/2022	Totale Primavera 2022
< 2,5 cm	69	46	69	38	15	238
2,5-5 cm	69	62	46	54	46	277
5-10 cm	15	31	62	0	31	138
10-15 cm	0	0	15	8	8	31
15-20 cm	0	0	0	0	0	0
20-25 cm	0	0	0	15	15	31
25-30 cm	0	0	23	0	8	31
> 30 cm	8	0	8	0	0	15
Totale	162	138	223	115	123	762

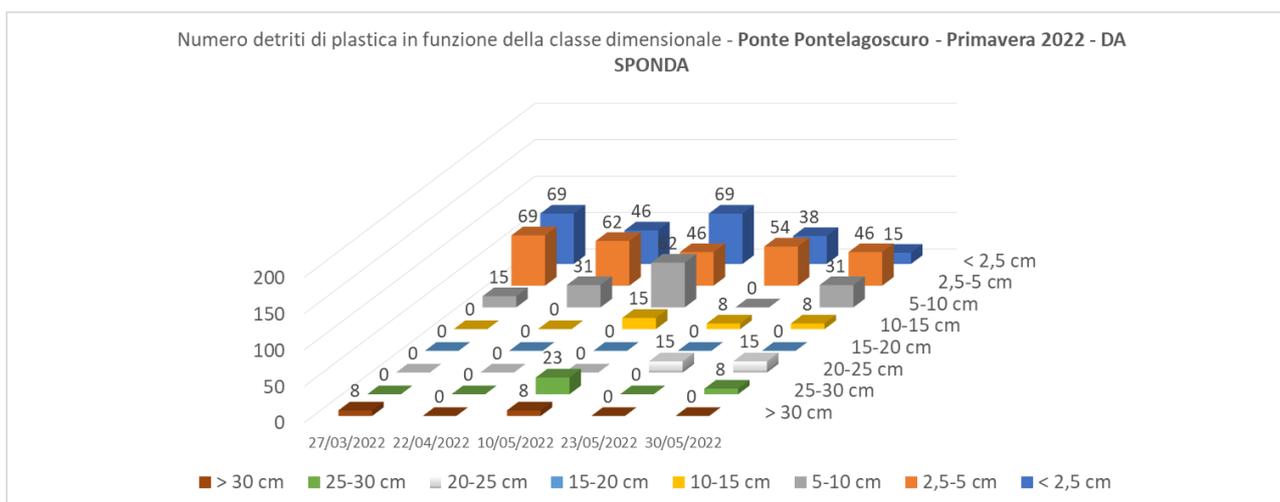


Figura 43. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Pontelagoscuro" - Primavera 2022

Tabella 17 - Monitoraggio ESTATE 2022 - Ponte di "Pontelagoscuro" sulla SS16 con riferimento all'intero alveo

Dimensione	07/06/2022	13/07/2022	21/07/2022	10/08/2022	22/08/2022	Totale Estate 2022
< 2,5 cm	54	31	38	15	77	215
2,5-5 cm	38	23	31	31	46	169
5-10 cm	0	23	8	8	15	54
10-15 cm	0	0	0	8	15	23
15-20 cm	0	8	8	0	0	15
20-25 cm	0	0	8	8	0	15
25-30 cm	0	0	0	23	8	31
> 30 cm	0	0	0	0	8	8
Totale	92	85	92	92	169	531

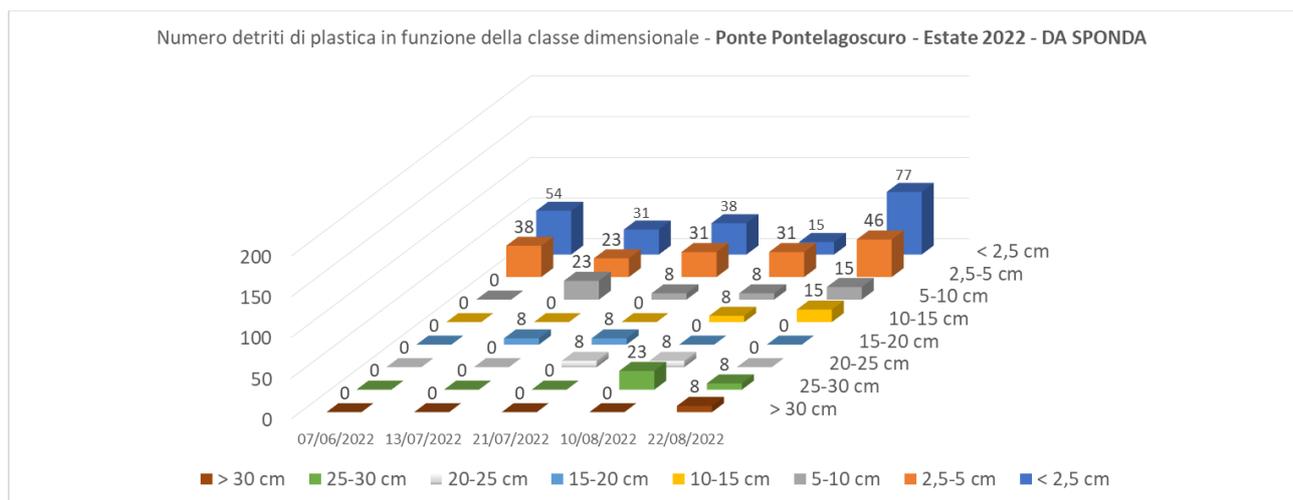


Figura 44. Numero detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Pontelagoscuro" - Estate 2022

Le immagini di seguito (Figura 45 e 46) mostrano dettagli della vista dal punto di monitoraggio in corrispondenza del ponte di Pontelagoscuro (FE).



Figura 45 - Vista dalla riva destra del fiume Po a monte del ponte di Pontelagoscuro



Figura 46 - Vista dalla riva destra del fiume Po a monte del ponte di Pontelagoscuro: da questa postazione risultano facilmente distinguibili i frammenti di plastica da schiume di analoghe dimensioni

Stazione 5 - Monitoraggio Ponte di “Porto Tolle” (RO)

Il monitoraggio è stato eseguito dal ponte di Porto Tolle (Figura 47) sul 50% (150 m) della larghezza dell'alveo (300 m). Per questo punto di osservazione la **misura best** è **5 cm**.

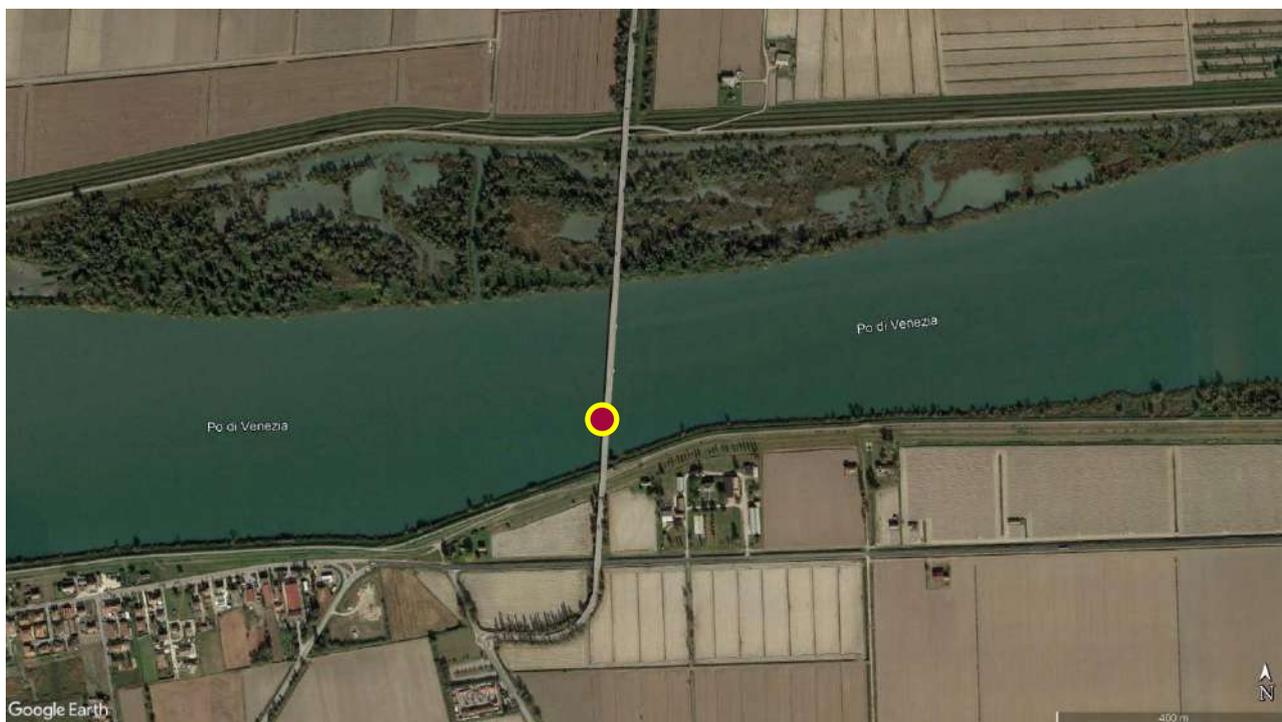


Figura 47 - Punto di monitoraggio in corrispondenza del ponte di Porto Tolle (RO)

I principali elementi che emergono dall'analisi dei dati sono:

- la prevalenza di **materiali plastici** di dimensioni **inferiori a 10 cm**, che rappresentano il 71,3 % del totale degli items rilevati (Figura 48);
- è l'unica stazione, assieme a Verolengo, in cui la classe dimensionale maggiormente rappresentata è “2,5-5 cm” (676 items, corrispondenti al 25,5 % del totale) e non “< 2,5 cm” bensì. Per entrambe le classi dimensionali più piccole il dato potrebbe essere sottostimato, a causa della difficoltà di avvistamento e distinzione dei frammenti, specialmente durante i periodi di magra;
- i rifiuti maggiormente osservati sono: **pezzi di contenitori in plastica per alimenti e a uso agricolo, tappi e coperchi di bevande**;
- la distribuzione stagionale è fortemente disomogenea, con una larghissima maggioranza di osservazioni – poco meno dell'80 % - concentrate nelle stagioni autunnale e invernale. Si può ipotizzare che in questa stazione, prossima alla foce, sia stato più rilevante l'effetto dell'alterazione del regime idrologico verificatasi nel 2022, caratterizzato da una condizione di siccità estrema in tutte le sezioni tra aprile e settembre, mentre gli altri mesi hanno registrato – a seconda delle sezioni - condizioni comprese tra “normalità idrologica” e “siccità severa” (AdB Distrettuale del fiume Po, 2022; 2023). La riduzione del livello idrico durante i mesi estivi è stata particolarmente intensa nel tratto terminale (Montanari et al., 2023) e numerosi studi hanno evidenziato la correlazione positiva tra portate e quantità di plastiche trasportate (Moore et al., 2011; Castro-Jiménez et al., 2019; van Emmerik&Schwarz, 2019);

- come conseguenza, il valore di numero oggetti/ora trasportato varia tra i 221,20 ($\pm 53,28$) della stagione autunnale e i 50,40 ($\pm 3,47$) di quella estiva;
- il valore stimato per l'intero alveo evidenzia che il 57,1 % degli oggetti è trasportato nelle porzioni di fiume più laterali (30 m da ciascuna sponda), come mostrato in Figura 49.

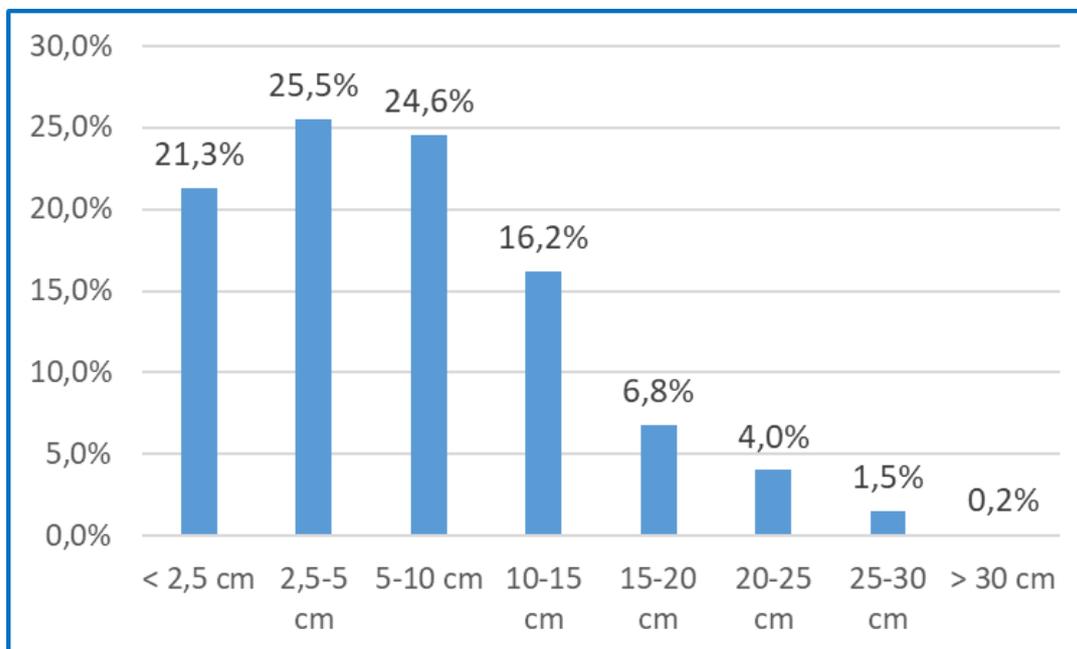


Figura 48 - Distribuzione nelle diverse classi dimensionali del plastic litter osservato presso la stazione di Porto Tolle

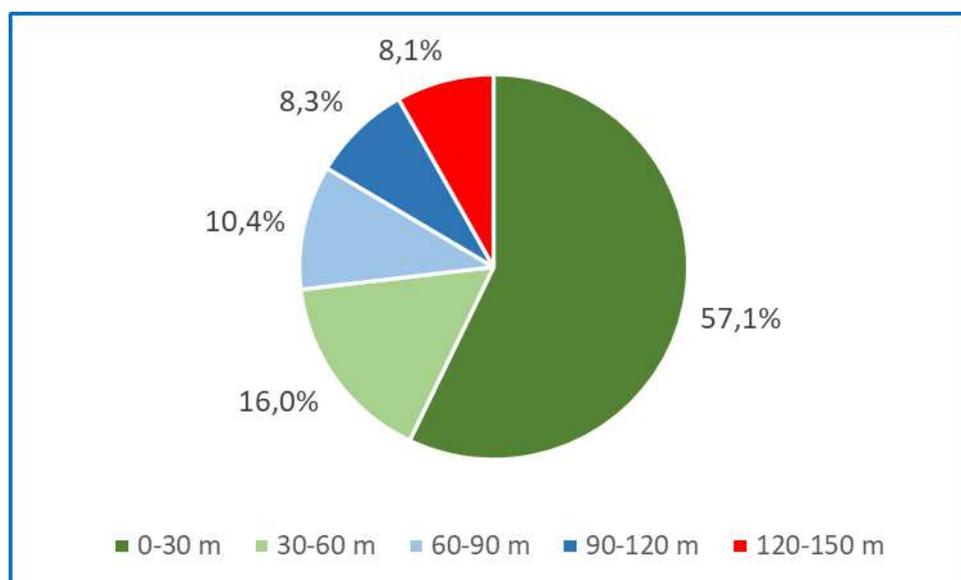


Figura 49 - Percentuale di plastic litter riscontrato nelle diverse porzioni di fiume negli intervalli di misura che indicano la distanza dalla sponda

Le tabelle e i grafici successivi mostrano il dettaglio dei dati relativi al numero di detriti di plastica osservati dal ponte di Porto Tolle in funzione della classe dimensionale nelle singole stagioni:

- i dati relativi alla stagione autunnale 2021, riassunti in Tabella 18, sono mostrati in Figura 50

- i dati relativi alla stagione invernale 2021/2022, riassunti in Tabella 19, sono mostrati in Figura 51
- i dati relativi alla stagione primaverile 2022, riassunti in Tabella 20, sono mostrati in Figura 52
- i dati relativi alla stagione estiva 2022, riassunti in Tabella 21, sono mostrati in Figura 53.

Tabella 18 - Monitoraggio AUTUNNO 2021 - Ponte di "Porto Tolle" con riferimento all'intero alveo

Dimensione	08/09/2021	10/10/201	28/10/2021	14/11/2021	24/11/2021	Totale Autunno 2021
< 2,5 cm	28	36	56	86	68	274
2,5-5 cm	58	78	36	90	104	366
5-10 cm	42	46	38	48	24	198
10-15 cm	6	20	18	22	6	72
15-20 cm	10	14	24	14	8	70
20-25 cm	12	34	20	14	10	90
25-30 cm	6	8	10	4	8	36
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	162	236	202	278	228	1106

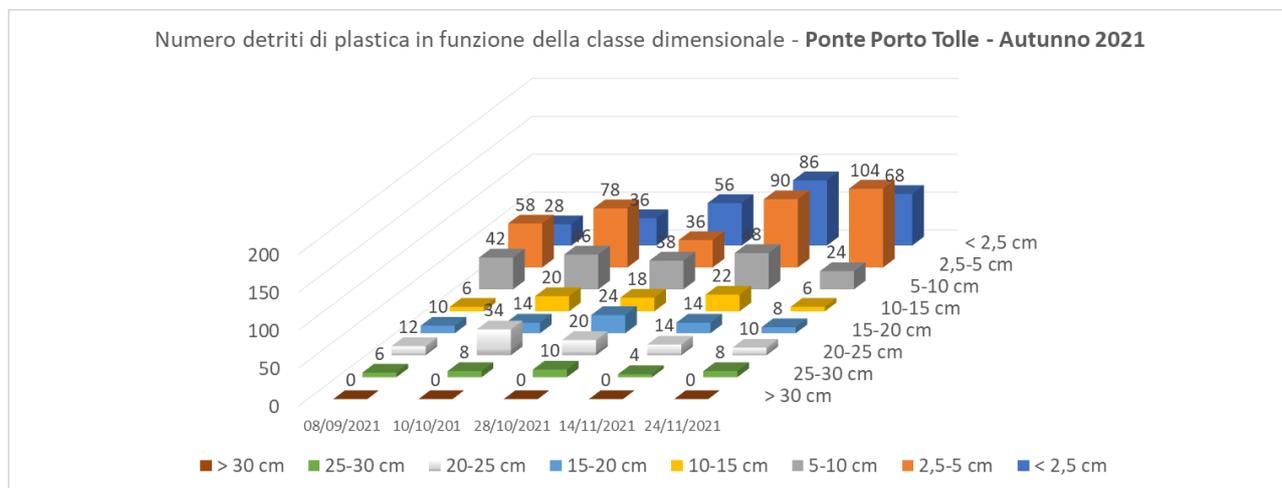


Figura 50. Numero detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Porto Tolle" - Autunno 2021

Tabella 19 - Monitoraggio INVERNO 2021/2022 - Ponte di "Porto Tolle" con riferimento all'intero alveo

Dimensione	15/12/2021	15/1/2022	29/1/2022	11/2/2022	25/2/2022	Totale Inverno 2021/2022
< 2,5 cm	24	74	28	26	46	198
2,5-5 cm	40	16	56	14	66	192
5-10 cm	54	14	88	70	84	310
10-15 cm	28	28	66	46	56	224
15-20 cm	10	12	18	12	12	64
20-25 cm	6	2	6	0	0	14
25-30 cm	0	2	0	0	2	4
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	162	148	262	168	266	1006

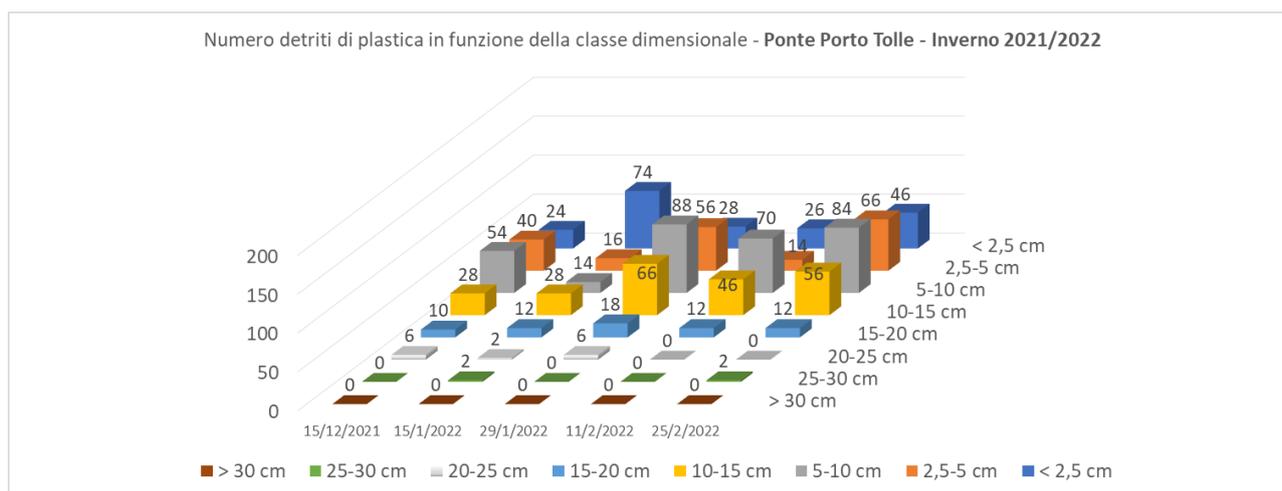


Figura 51. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Porto Tolle" - Inverno 2021/2022

Tabella 20 - Monitoraggio PRIMAVERA 2022 - Ponte di "Porto Tolle" con riferimento all'intero alveo

Dimensione	5/3/2022	22/3/2022	7/4/2022	24/5/2022	29/5/2022	Totale primavera 2022
< 2,5 cm	10	6	10	8	8	42
2,5-5 cm	20	14	6	6	10	56
5-10 cm	12	20	12	22	24	90
10-15 cm	18	18	12	20	6	74
15-20 cm	6	4	4	2	6	22
20-25 cm	0	2	0	0	0	2
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	0	0	4	0	0	4
Totale	66	64	48	58	54	290

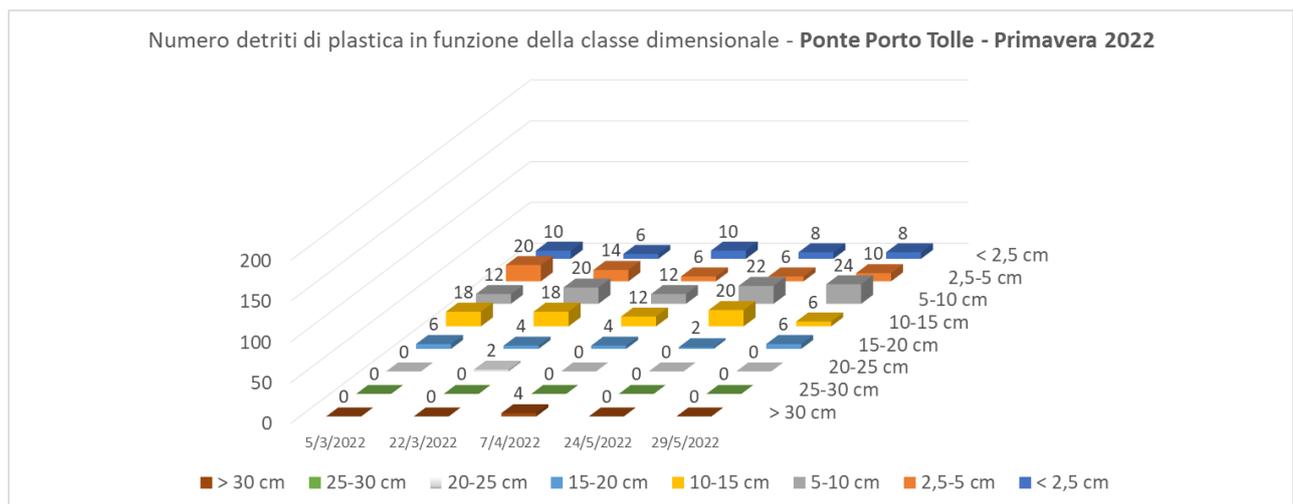


Figura 52. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Porto Tolle" - Primavera 2022

Tabella 21 - Monitoraggio ESTATE 2022 - Ponte di "Porto Tolle" con riferimento all'intero alveo

Dimensione	4/6/2022	1/7/2022	19/7/2022	6/8/2022	27/8/2022	Totale Estate 2022
< 2,5 cm	9	10	9	10	12	50
2,5-5 cm	13	11	13	12	13	62
5-10 cm	12	13	8	11	10	54
10-15 cm	15	9	12	12	12	60
15-20 cm	6	4	9	4	2	25
20-25 cm	0	1	0	0	0	1
25-30 cm	0	0	0	0	0	0
> 30 cm	0	0	0	0	0	0
Totale	55	48	51	49	49	252

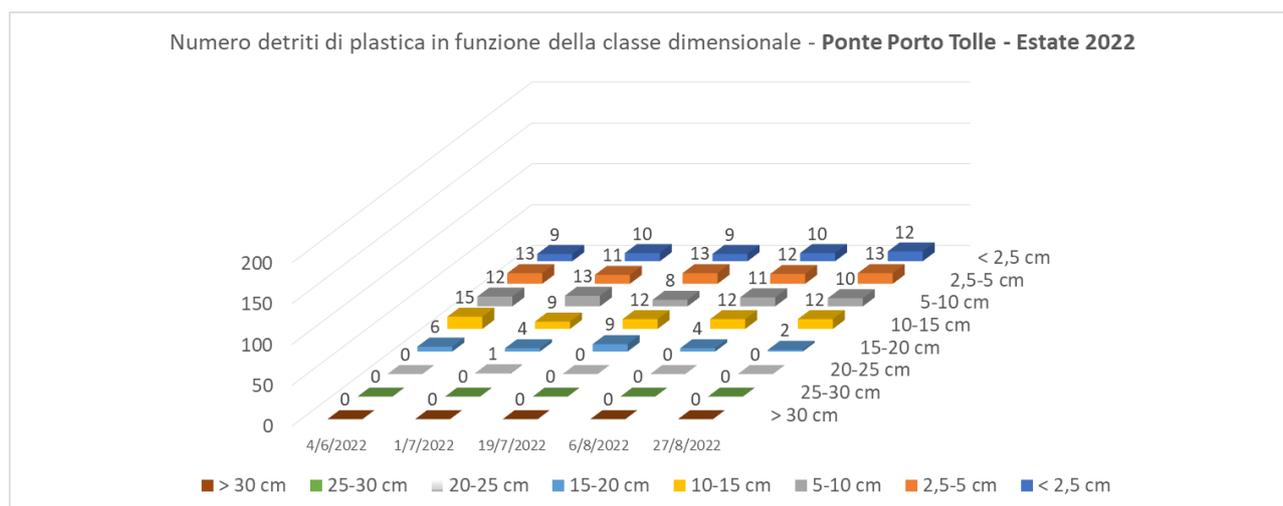


Figura 53. Numero di detriti di plastica in funzione della classe dimensionale - Ponte di "Porto Tolle" - Estate 2022

ANALISI PER STAGIONE

Il seguente paragrafo riporta il dettaglio dei risultati rilevati durante i diversi periodi di indagine.

L'analisi dei dati raccolti durante il monitoraggio nella **stagione autunnale 2021** mostra (Tabella 22):

- la prevalenza di **rifiuti** di dimensioni **inferiori a 10 cm**;
- nel range inferiore a 10 cm, la presenza preponderante di oggetti di taglia < 2,5 cm (media autunnale sulle 5 stazioni è di 330 pezzi, pari al 38 % sul totale monitorato);
- la sensibile diminuzione dei frammenti ritrovati a valle del ponte di Isola Serafini (si vedano le note seguenti), come mostra l'andamento generale in Figura 54 e il dettaglio per classe dimensionale in Figura 55;
- la **prevalenza di frammenti di sacchetti di plastica** (uso spesa alimentare o raccolta spazzatura), **frammenti di imballaggi**, **tappi di bottiglia**, **anelli di tappi**, **pezzi di polistirolo**.

Tabella 22 - Dati complessivi delle cinque osservazioni effettuate durante il monitoraggio AUTUNNALE 2021 nelle cinque stazioni di analisi con riferimento all'intero alveo

	Autunno 2021						
Dimensione	Verolengo	Isola Serafini	Boretto	Pontelagoscuro	Porto Tolle	Media	Percentuale
< 2,5 cm	204	542	292	338	274	330	38%
2,5-5 cm	236	357	192	215	366	273	32%
5-10 cm	106	209	54	100	198	133	15%
10-15 cm	68	80	0	15	72	47	5%
15-20 cm	26	18	23	15	70	31	4%
20-25 cm	4	0	15	8	90	23	3%
25-30 cm	2	12	0	0	36	10	1%
> 30 cm	0	68	0	0	0	14	2%
Totale	646	1286	577	692	1106	861	100%

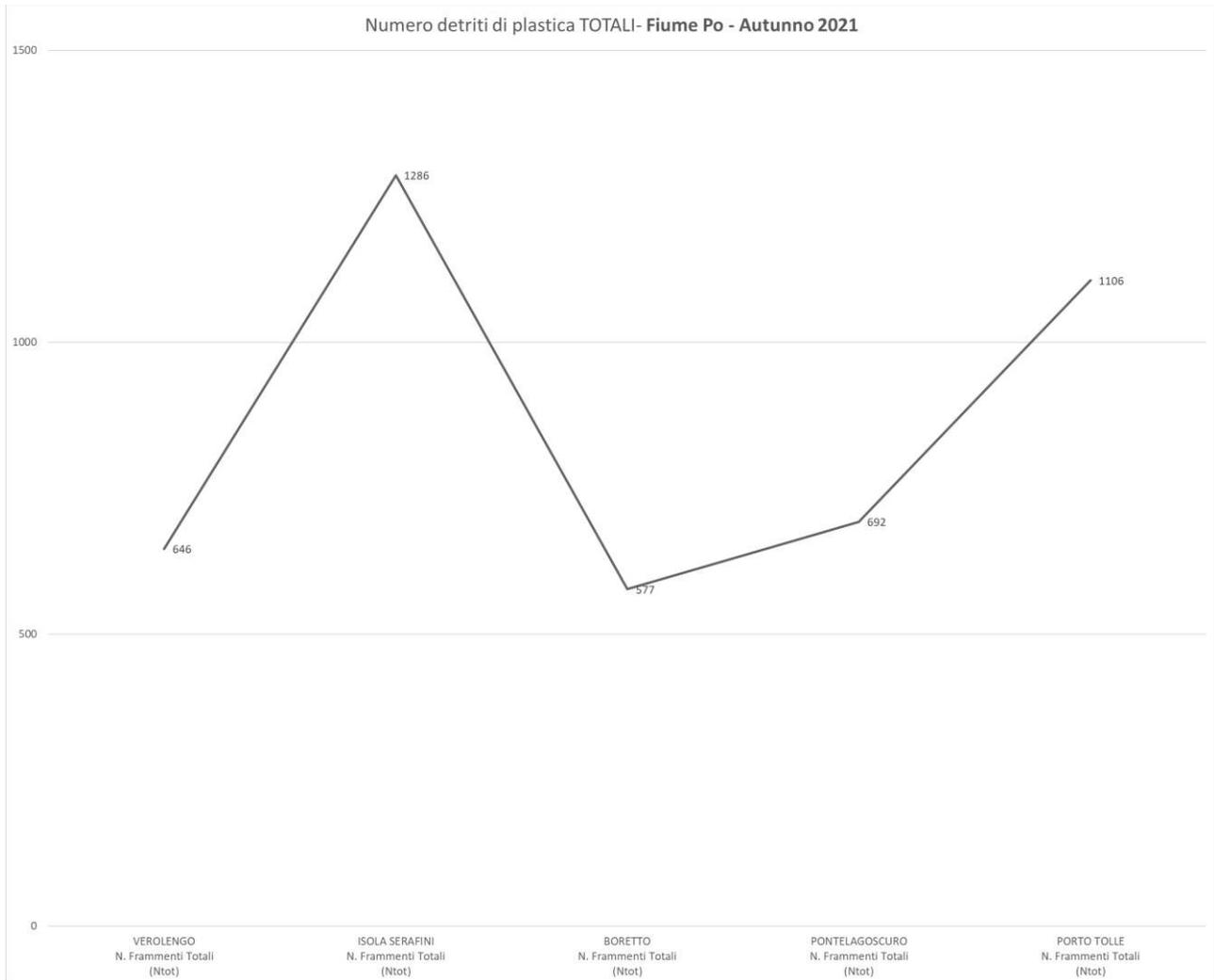


Figura 54 - Andamento delle quantità osservate nelle diverse stazioni durante la stagione autunnale

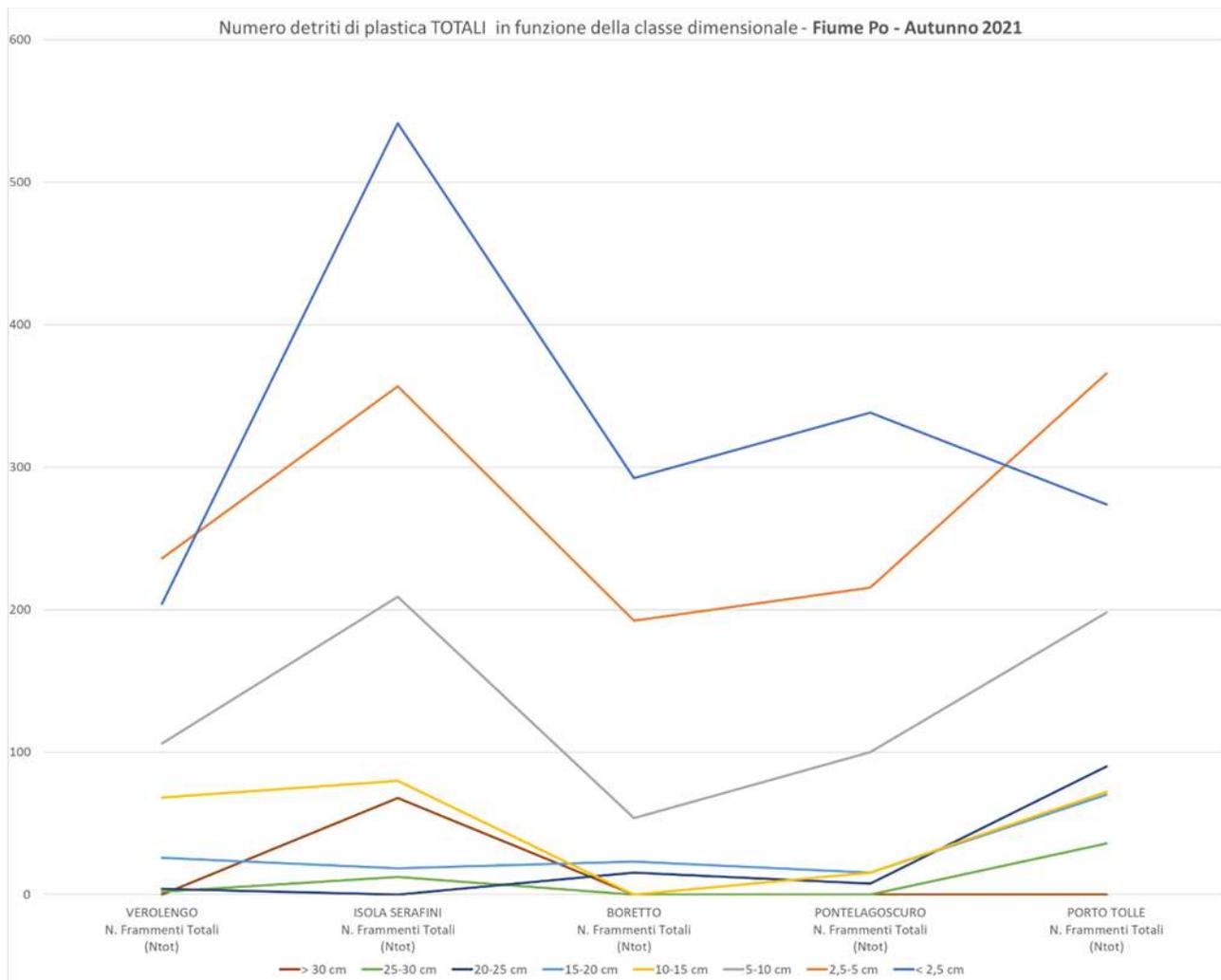


Figura 55 - Andamento delle quantità osservate nelle diverse stazioni durante la stagione autunnale, suddivise per classe dimensionale

L'analisi dei dati raccolti durante il monitoraggio nella **stagione invernale 2021-2022** mostra (Tabella 23):

- la **prevalenza di materiali plastici** di dimensioni **inferiori a 10 cm**;
- nel range inferiore a 10 cm, la presenza preponderante di oggetti appartenenti alla categoria “< 2,5 cm” (media invernale sulle 5 stazioni di 304 pezzi, pari al 37% sul totale monitorato);
- la forte diminuzione dei frammenti ritrovati a valle del ponte di Isola Serafini (si vedano le note seguenti), come mostrano l'andamento generale in Figura 56 e il dettaglio per classe dimensionale in Figura 57;
- la composizione merceologica che evidenzia il **prevalere di frammenti di sacchetti di plastica** (uso spesa alimentare o raccolta spazzatura), **frammenti di imballaggi alimentari, pezzi di polistirolo, pezzi di plastica rigida.**

Tabella 23 - Dati complessivi delle cinque osservazioni effettuate durante il monitoraggio INVERNALE 2021/2022 nelle cinque stazioni di analisi con riferimento all'intero alveo

	Inverno 2021						
Dimensione	Verolengo	Isola Serafini	Boretto	Pontelagoscuro	Porto Tolle	Media	Percentuale
< 2,5 cm	228	542	246	308	198	304	37 %
2,5-5 cm	202	382	162	208	192	229	28 %
5-10 cm	84	185	54	92	310	145	18 %
10-15 cm	78	92	0	15	224	82	10 %
15-20 cm	34	18	0	15	64	26	3 %
20-25 cm	8	0	0	8	14	6	1 %
25-30 cm	2	0	0	0	4	1	0 %
> 30 cm	0	111	0	0	0	22	3 %
Totale	636	1329	462	646	1006	816	100 %

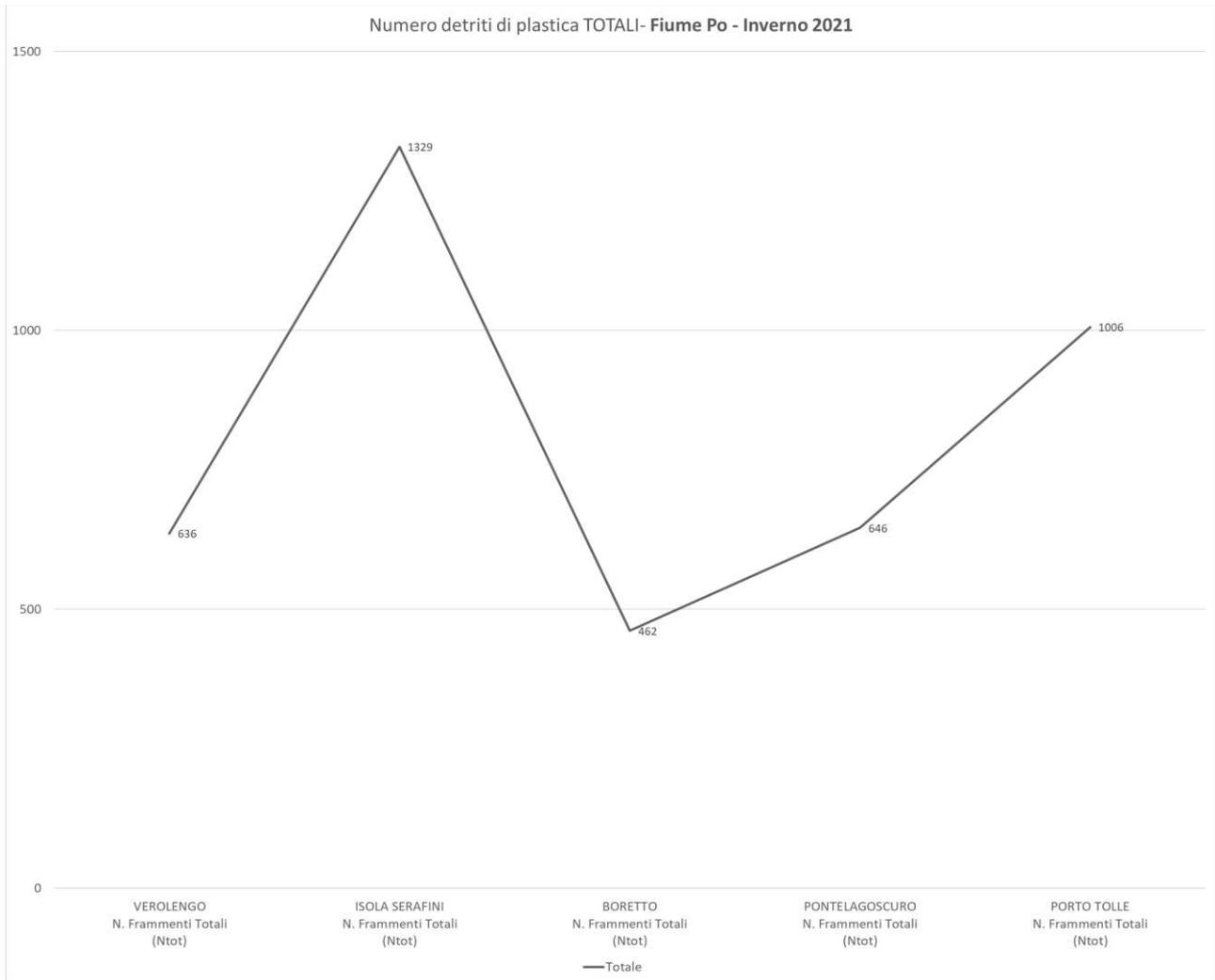


Figura 56 - Andamento delle quantità osservate nelle diverse stazioni durante la stagione invernale

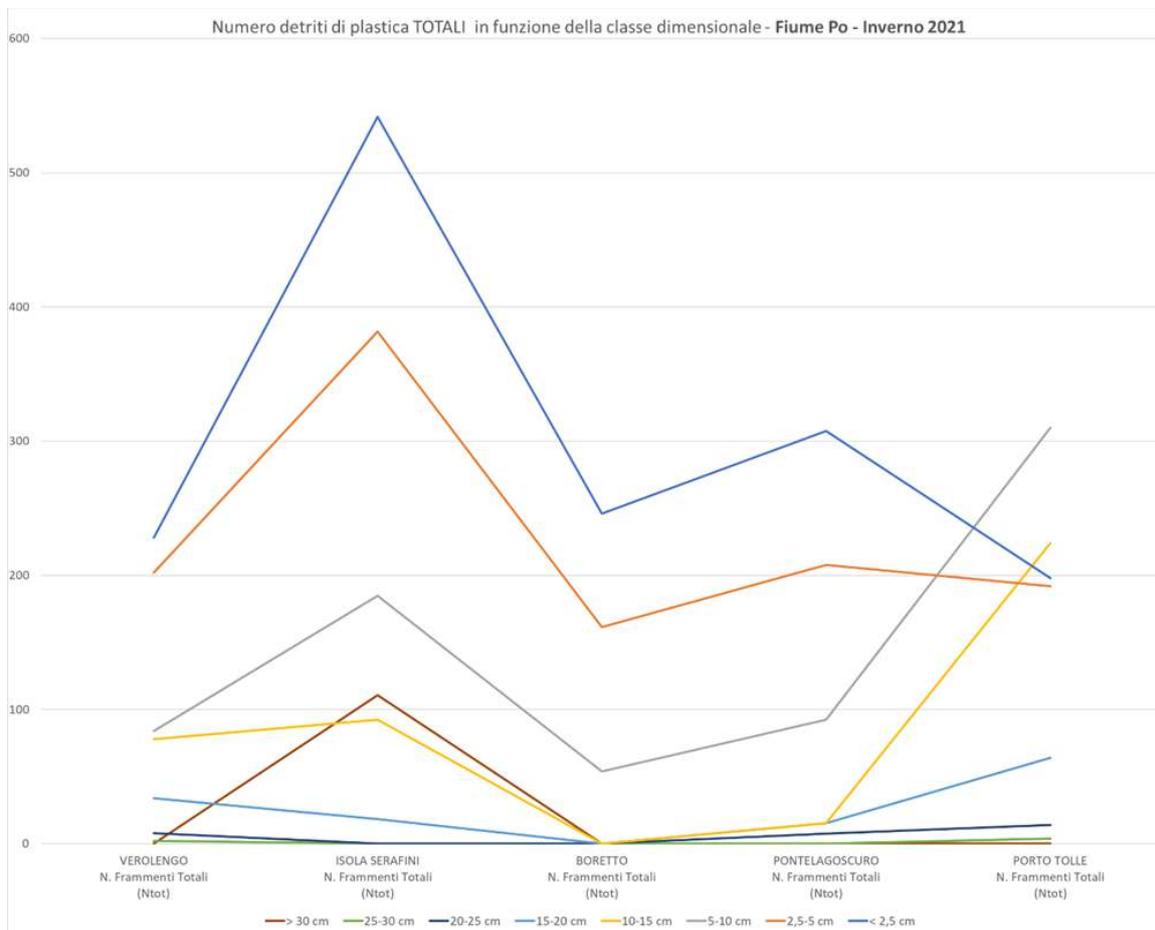


Figura 57 - Andamento delle quantità osservate nelle diverse stazioni durante la stagione invernale, suddivise per classe dimensionale

L'analisi dei dati raccolti durante il monitoraggio nella **stagione primaverile 2022** mostra (Tabella 24):

- la **prevalenza** di materiali plastici di dimensioni **inferiori a 10 cm**;
- nel range inferiore a 10 cm, la presenza preponderante di materiali di taglia "2,5-5 cm" (media primaverile nelle 5 stazioni di 166 pezzi, pari al 30 % sul totale monitorato) e a seguire di dimensioni "<2,5 cm" (media sulle 5 stazioni di 149 pezzi, pari al 27% sul totale monitorato);
- la forte diminuzione dei frammenti ritrovati a valle del ponte di Isola Serafini (si vedano le note seguenti);
- la diminuzione del numero di item ritrovati a Porto Tolle rispetto a quelli di Pontelagoscuro, con un andamento opposto rispetto ai monitoraggi autunnale e invernale 2021-2022, come mostrano l'andamento generale in Figura 58 e il dettaglio per classe dimensionale in Figura 59;
- la diminuzione generalizzata del numero di items ritrovati rispetto ai monitoraggi autunnale e invernale 2021-2022;
- la composizione merceologica che evidenzia il **prevalere di frammenti di sacchetti di plastica** (uso spesa alimentare o raccolta spazzatura), **frammenti di imballaggi alimentari, pezzi di polistirolo, pezzi di plastica rigida**.

Tabella 24 - Dati complessivi delle cinque osservazioni effettuate durante il monitoraggio PRIMAVERILE 2022 nelle cinque stazioni di analisi con riferimento all'intero alveo

	Primavera 2022						
Dimensione	Verolengo	Isola Serafini	Boretto	Pontelagoscuro	Porto Tolle	Media	Percentuale
< 2,5 cm	32	228	208	238	42	150	27%
2,5-5 cm	46	234	223	277	56	167	30%
5-10 cm	72	117	92	138	90	102	18%
10-15 cm	48	55	0	31	74	42	7%
15-20 cm	10	49	0	0	22	16	3%
20-25 cm	4	49	8	31	2	19	3%
25-30 cm	2	92	0	31	0	25	4%
> 30 cm	0	172	15	15	4	41	7%
Totale	214	997	546	762	290	562	100%

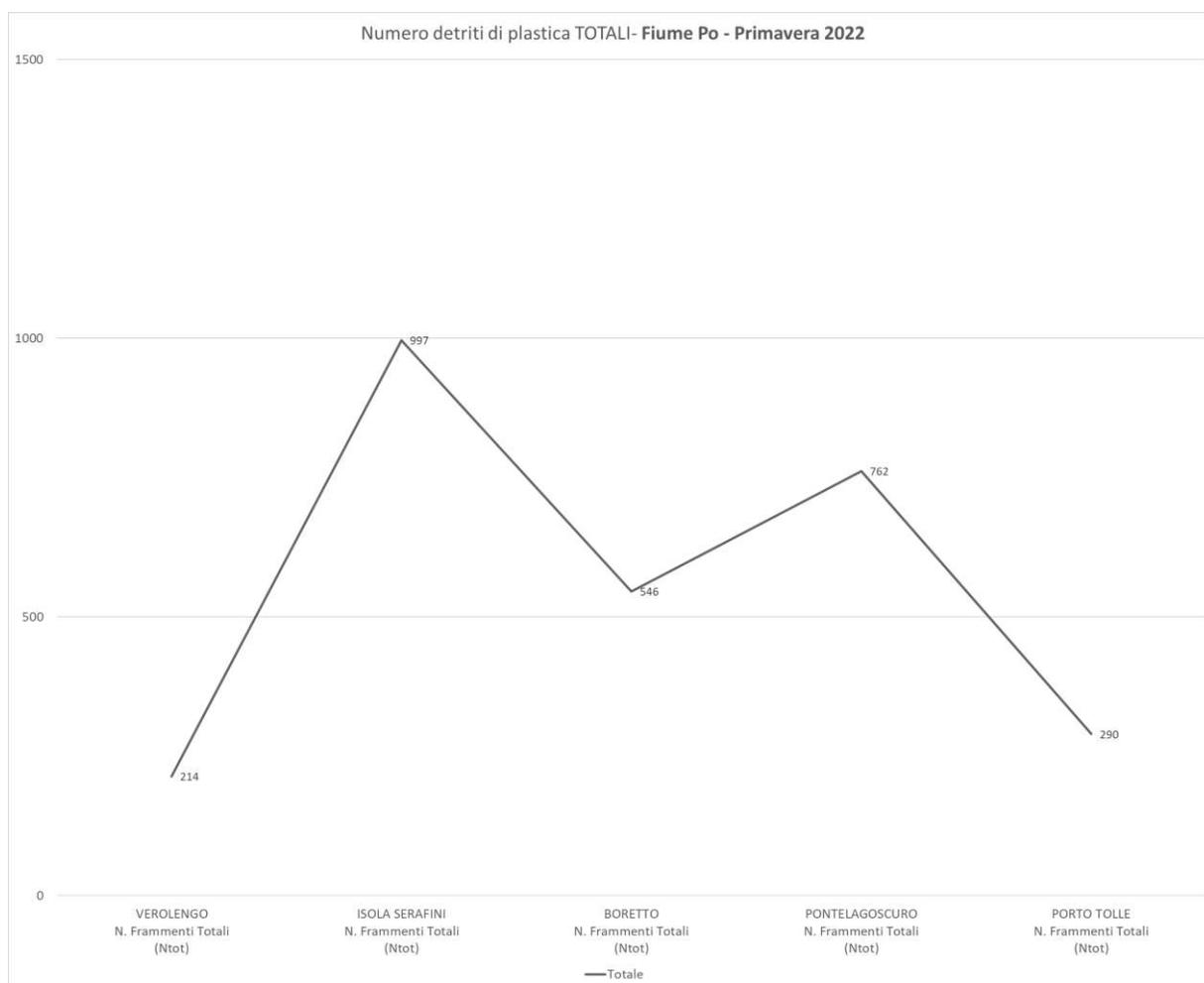


Figura 58 - Andamento delle quantità osservate nelle diverse stazioni durante la stagione primaverile

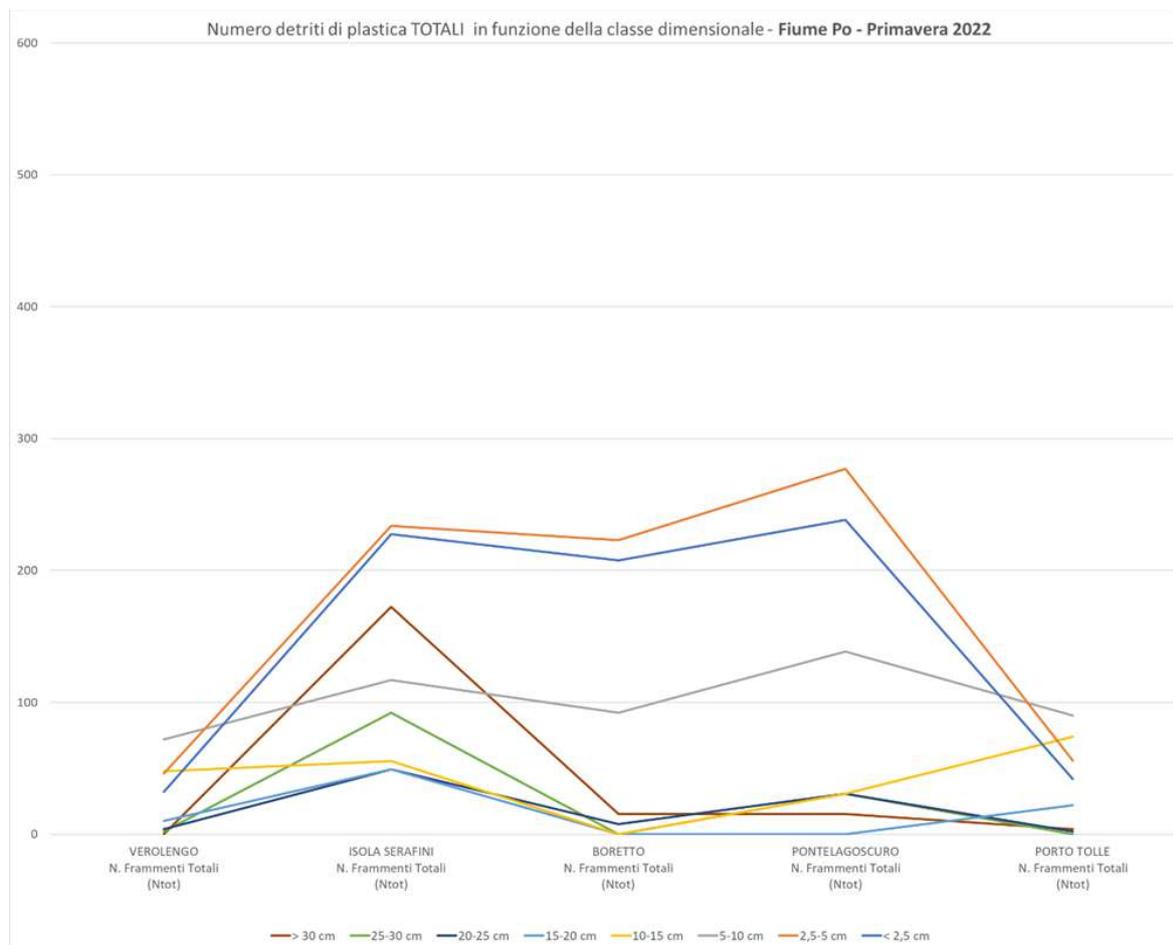


Figura 59 - Andamento delle quantità osservate nelle diverse stazioni durante la stagione primaverile, suddivise per classe dimensionale

L'analisi dei dati raccolti durante il monitoraggio nella **stagione estiva 2022** mostra (Tabella 25):

- la **prevalenza** di materiali plastici di dimensioni **inferiori a 15 cm**;
- nel range inferiore a 15 cm, la presenza preponderante di materiali di pezzatura "2,5-5 cm" (media sulle 5 stazioni di 105 pezzi, pari al 31 % sul totale monitorato) e a seguire di dimensioni "<2,5 cm" (media sulle 5 stazioni di 103 pezzi, pari al 30 % sul totale monitorato);
- la forte diminuzione dei frammenti ritrovati a valle del ponte di Isola Serafini (si vedano le note seguenti);
- il calo dei frammenti ritrovati a Porto Tolle rispetto a quelli di Pontelagoscuro, con un andamento opposto rispetto ai monitoraggi autunnale e invernale 2021-2022, come mostrano l'andamento generale del litter in Figura 60 e il dettaglio per classe dimensionale in Figura 61;
- la diminuzione generalizzata del numero di frammenti ritrovati rispetto ai monitoraggi autunnale e invernale 2021-2022 ed anche rispetto alla primavera 2022;
- la composizione merceologica che evidenzia il prevalere di frammenti di sacchetti di plastica (uso spesa alimentare o raccolta spazzatura), frammenti di imballaggi alimentari, pezzi di polistirolo, pezzi di plastica rigida.

Tabella 25 - Dati complessivi delle cinque osservazioni effettuate durante il monitoraggio ESTIVO 2022 nelle cinque stazioni di analisi con riferimento all'intero alveo

	Estate 2022						
Dimensione	Verolengo	Isola Serafini	Boretto	Pontelagoscuro	Porto Tolle	Media	Percentuale
< 2,5 cm	24	123	108	215	50	104	30%
2,5-5 cm	40	166	92	169	62	106	31%
5-10 cm	62	55	8	54	54	47	14%
10-15 cm	37	68	0	23	60	38	11%
15-20 cm	18	37	0	15	25	19	6%
20-25 cm	4	55	0	15	1	15	4%
25-30 cm	0	18	8	31	0	11	3%
> 30 cm	0	18	0	8	0	5	2%
Totale	185	542	215	531	252	345	100%

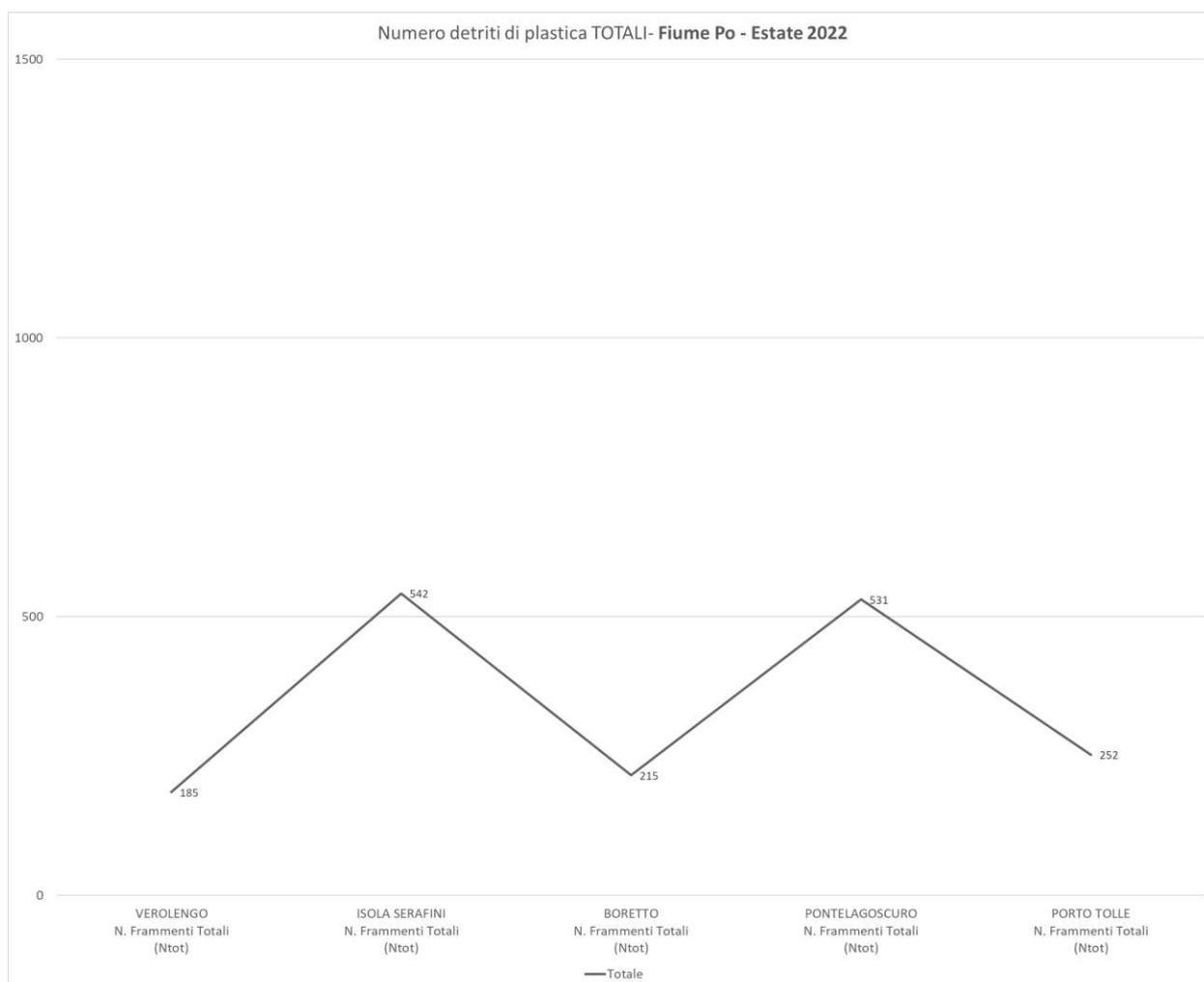


Figura 60 - Andamento delle quantità osservate nelle diverse stazioni durante la stagione estiva

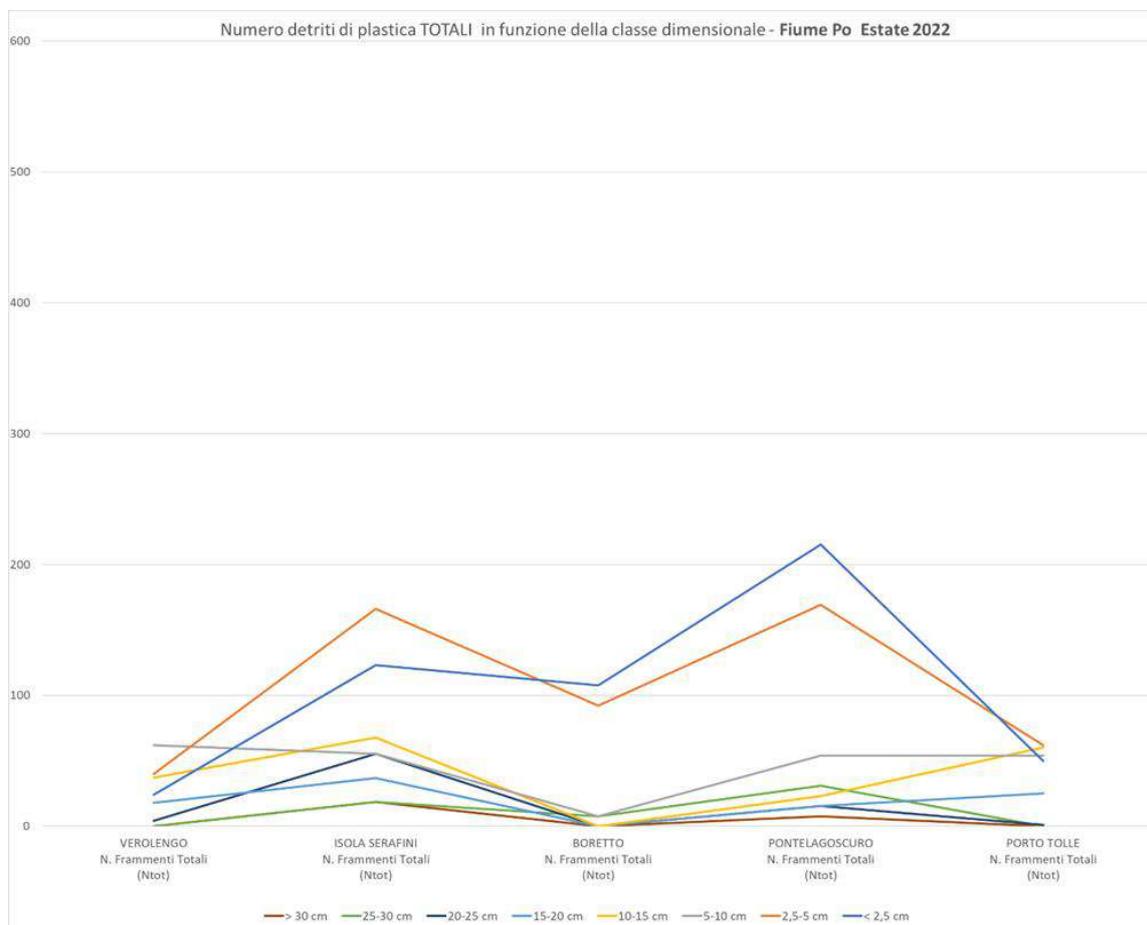


Figura 61 - Andamento delle quantità osservate nelle diverse stazioni durante la stagione estiva suddivise per classe dimensionale

Considerazioni conclusive

L'analisi complessiva mostra una tendenza all'incremento delle quantità di *plastic litter* procedendo da monte verso valle, come è lecito attendersi, a meno di una flessione rilevata successivamente alla stazione di Isola Serafini (PC), come mostrato in Figura 62.



Figura 62. Numero di oggetti totali osservati, parametrato all'intero alveo, per ciascuna stazione di monitoraggio

La stazione di Isola Serafini (PC) è infatti quella che registra i valori più elevati in termini assoluti. All'opposto, la stazione di Verolengo (TO) è quella interessata da minori quantità di *floating litter*, un dato parzialmente sorprendente se si considera la sua localizzazione a breve distanza da un'area a forte urbanizzazione, un fattore che – secondo quanto riportato in letteratura (Meijer et al., 2021) - generalmente incide molto negativamente nelle dinamiche di afflusso di rifiuti ai corsi d'acqua.

Il numero così elevato di detriti plastici a monte della centrale di Isola Serafini deriva dal rallentamento delle acque precedentemente allo sbarramento che crea un accumulo del materiale proveniente da monte, come testimoniano anche le quantità di oggetti ritrovati lungo le sponde in prossimità di questa stazione.

Anche la flessione successiva alla stazione di Isola Serafini è quasi certamente da attribuire alla presenza dell'omonima centrale idroelettrica (Figura 63). Infatti, come accertato nel corso dei colloqui intercorsi con i gestori dell'impianto, periodicamente viene realizzata un'attività di rimozione dei rifiuti intercettati dallo sgrigliatore a servizio della suddetta centrale che riduce sensibilmente la quantità di *plastic litter* nella porzione successiva del fiume Po. Inoltre, è verosimile che un contributo all'arresto dei rifiuti in questo tratto lo fornisca anche lo sbarramento posto a valle del ponte, il quale permette di mantenere alti i livelli del fiume, al fine di agevolare la derivazione delle acque da parte della centrale idroelettrica di Isola Serafini.



Figura 63 - Ponte di Isola Serafini, sbarramento lungo il fiume Po e centrale Idroelettrica

Per quanto riguarda la distribuzione temporale, l'analisi complessiva dei dati raccolti durante le 4 stagioni di monitoraggio mostra una forte disparità della quantità di *floating plastic litter* registrata nei diversi periodi dell'anno, con una generale decisa predominanza delle osservazioni concentrate in autunno e inverno (Tabella 26).

Tabella 26 - Media stagionale numero oggetti/ora trasportati in ciascuna stazione e corrispondente deviazione standard con un intervallo di confidenza al 95 %

2021 - 2022				
	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE
VEROLENGO	129.20 ± 19.44	127.20 ± 22.53	42.80± 11.73	37.00± 13.52
ISOLA SERAFINI	257.23 ± 121.47	265.85 ± 129.83	199.38 ± 93.83	108.31 ± 41.71
BORETTO	115.38 ± 37.60	92.31 ± 23.40	109.23 ± 20.71	43.08 ± 19.81
PONTELAGOSCURO	138.46 ± 9.55	129.23 ± 39.03	152.31 ± 53.78	106.15 ± 43.98
PORTO TOLLE	221.20 ± 53.28	201.20 ± 71.77	58.00± 9.12	50.40± 3.47

Si è registrata infatti una diminuzione generalizzata del numero di detriti plastici ritrovati nel corso della primavera-estate 2022 rispetto ai monitoraggi autunnale e invernale 2021-2022, da attribuire verosimilmente alla prolungata condizione di carenza idrica che ha contraddistinto il periodo d'indagine.

Si rileva inoltre come nei monitoraggi primaverili ed estivi del 2022 si abbia una diminuzione dei frammenti ritrovati a Porto Tolle rispetto a quelli di Pontelagoscuro, con un andamento opposto rispetto ai monitoraggi autunnale e invernale 2021-2022.

Infine, il *plastic floating litter* osservato è distribuito in modo eterogeneo nelle classi dimensionali in analisi (Figura 64).

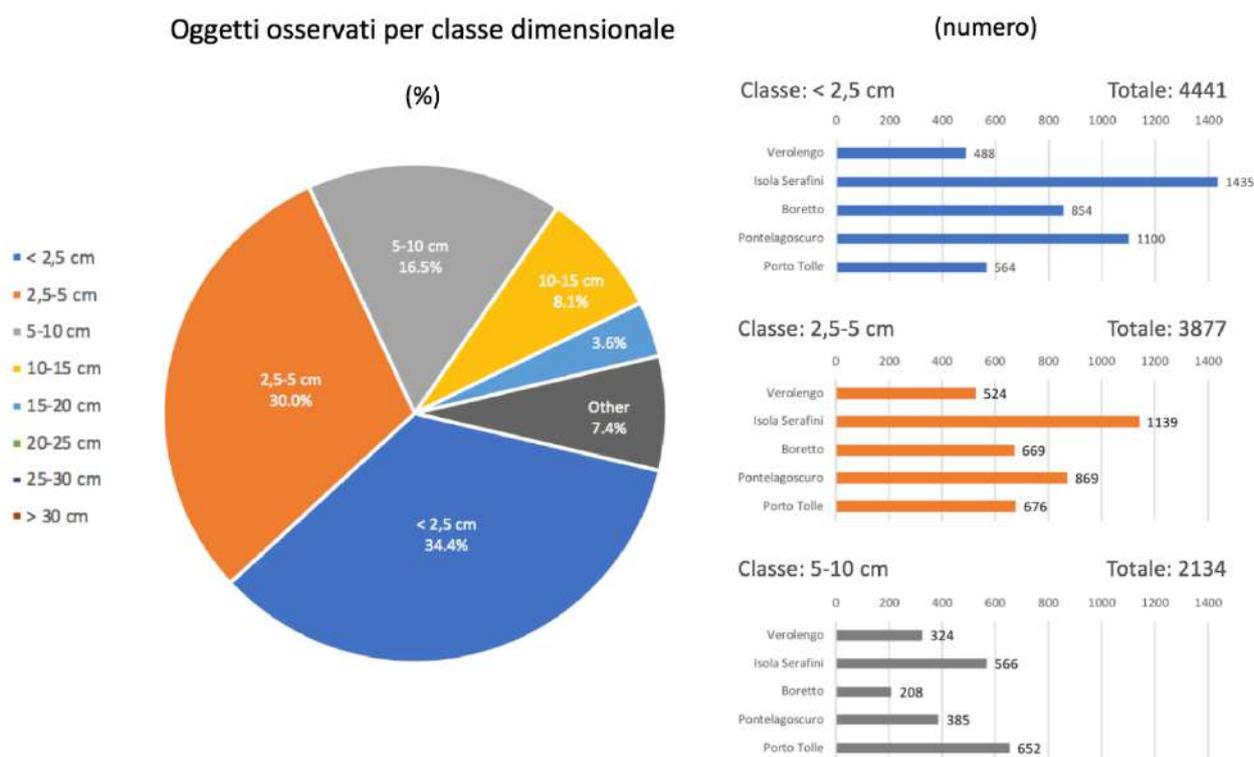


Figura 64. Numero totale di oggetti osservati per classe dimensionale, parametrati all'intero alveo

È infatti rappresentato in larga maggioranza da frammenti o oggetti di piccole dimensioni, inferiori a 10 cm (80,9 % del totale). Questo dato è però da ritenersi sottostimato, in ragione della forte difficoltà di avvistamento e identificazione dei materiali determinata dall'altezza dei ponti e – come detto in precedenza – dalla scarsità idrica che ha caratterizzato il Po per tutto il 2022.

È anche estremamente difficoltoso, come affermato da numerosi studi (tra gli ultimi Jia et al., 2023 e Hurley et al., 2023), comparare dati di *riverine litter* su corsi d'acqua differenti, a causa della varietà di specifiche condizioni ambientali che insistono sui singoli corpi idrici e per la diversità di metodologie applicate.

Ciò premesso, sulla base dell'esperienza generale e dal riscontro delle classi dimensionali, sembra che le quantità direttamente trasportate dal Po nel periodo di monitoraggio siano state fortemente inferiori a quelle attribuite in passato da stime modellistiche. In questa direzione vanno anche i risultati emersi al termine di altre iniziative progettuali effettuate nel recente passato (progetto *Po d'AMare*), nel corso delle quali le quantità di rifiuti di plastica raccolte, in diverse zone del corso del fiume Po, sono risultate molto contenute.

2.2 MONITORAGGIO DEI RIFIUTI PRESENTI LUNGO LE SPONDE ATTRAVERSO VISUAL OBSERVATION

Alcuni autori già da tempo hanno sottolineato nei loro studi come la vegetazione riparia possa interferire nelle dinamiche di accumulo dei rifiuti lungo i corsi d'acqua (Williams & Simmons, 1996; 1997; 1999; Windsor et al., 2019; Azevedo-Santos et al., 2021; Liro et al., 2020). Ad oggi, sono ancora pochi gli studi che hanno provato a quantificare l'entità di tale fenomeno, in particolare per i corsi d'acqua europei. Per l'Italia, è stata di recente pubblicata una ricerca che ha portato a termine una misurazione sperimentale dei rifiuti presenti nella vegetazione riparia di otto fiumi del Lazio (Cesarini & Scalici, 2022).

Per l'analisi del *litter* nella vegetazione spondale non è stato messo a punto finora un metodo standardizzato e largamente applicato. Molti studi hanno adattato il protocollo generalmente adoperato per i rifiuti marini sulle spiagge (Bruge et al., 2018; van Emmerick et al., 2020) mentre altri hanno utilizzato approcci più originali, confrontando diversi metodi sostanzialmente basati sull'analisi dei rifiuti all'interno di aree campione identificate lungo transetti posti in prossimità delle rive (Rech et al., 2015; Kiessling et al., 2019; Cesarini & Scalici, 2022, Vriend et al. 2020) e costruito un framework per orientare i ricercatori nella scelta ottimale e provare a facilitare la comparazione tra risultati.

Metodi

Nell'ambito di questo progetto, l'analisi dei rifiuti, non solo di origine plastica, presenti lungo le sponde è stata realizzata attraverso *visual observation*, all'interno di cinque transetti posti in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio, a una distanza dal limite dell'alveo bagnato non superiore a 15 m.

All'interno dei transetti, di lunghezza pari a circa 500 m e larghezza di circa 15 metri, sono state individuate 10 Unità di Rilevamento (UR) di dimensione 10 m x 10 m, distribuite in maniera random al loro interno. L'esatta localizzazione dei transetti e delle UR era subordinata alle condizioni di accesso e di praticabilità.

Ogni transetto è stato percorso una volta in ciascuna stagione, per provare a correlare i risultati con i differenti livelli di portata del fiume. Nella comparazione dei risultati bisogna, però, tenere in considerazione le particolari condizioni idrologiche di magra idrologica verificatesi tra la seconda metà del 2021 e tutto il 2022, che quasi certamente hanno determinato una situazione non rispondente alla dinamica che più frequentemente si ritrova lungo il Po.

All'interno delle UR sono stati contati tutti i rifiuti di dimensioni maggiori a 2,5 cm. Per la classificazione delle tipologie di materiale e delle categorie dimensionali si è fatto riferimento alla lista degli oggetti presenti nel report tecnico "A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring" (Fleet et al., 2021), in particolare la tabella "The Joint List of Litter Categories (J-CODE list)" nel Capitolo 10 del manuale (Allegato 1).

Risultati

Nel corso delle complessive **20 sessioni di monitoraggio** è stata rilevata la presenza di **527 items composti da differenti materiali**. In media sono stati ritrovati 26,3 items per transetto, con un massimo di 57 e un minimo di 10. Solamente in 17 UR (8,5 %) non è stato osservato nemmeno un rifiuto. La densità media è pari a 0,3 item/m².

Come mostrato in Figura 65, le plastiche rappresentano la larga maggioranza dei rifiuti osservati (64,3 %), seguite da materiali in carta e cartone (16,5 %) e oggetti metallici (9,1 %).

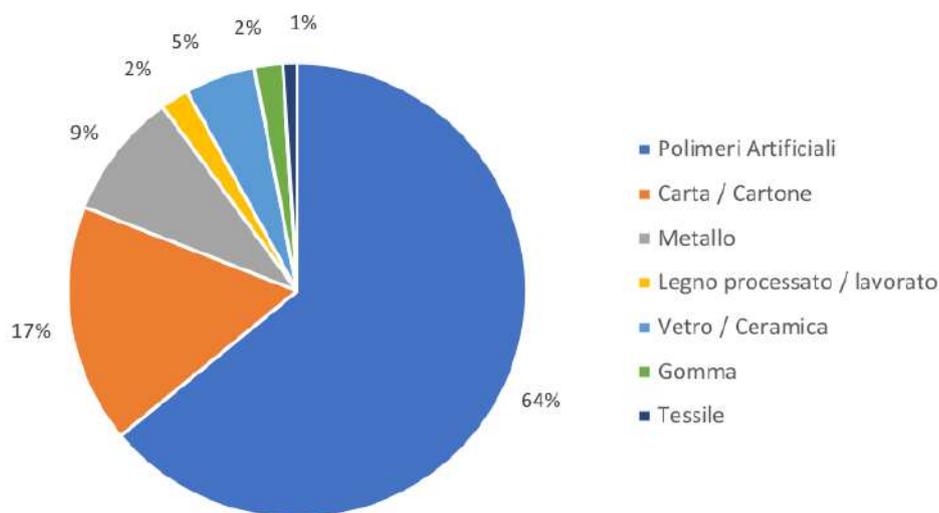


Figura 65. Rifiuti ritrovati lungo le sponde, suddivisi per tipologie di materiale

Il transetto in corrispondenza del punto di monitoraggio di Verolengo (TO) è risultato quello col numero minore di rifiuti complessivi rilevati (56) mentre, all'opposto, quello di Isola Serafini (PC) ha fatto registrare il valore più elevato di osservazioni (138). Queste due stazioni sono le uniche in cui non si ritrovano tutte le tipologie di rifiuto e anche quelle in cui i polimeri artificiali sono la componente che incide maggiormente sul totale (rispettivamente 67,9 % e 71,7 %), come mostrato in Figura 66.

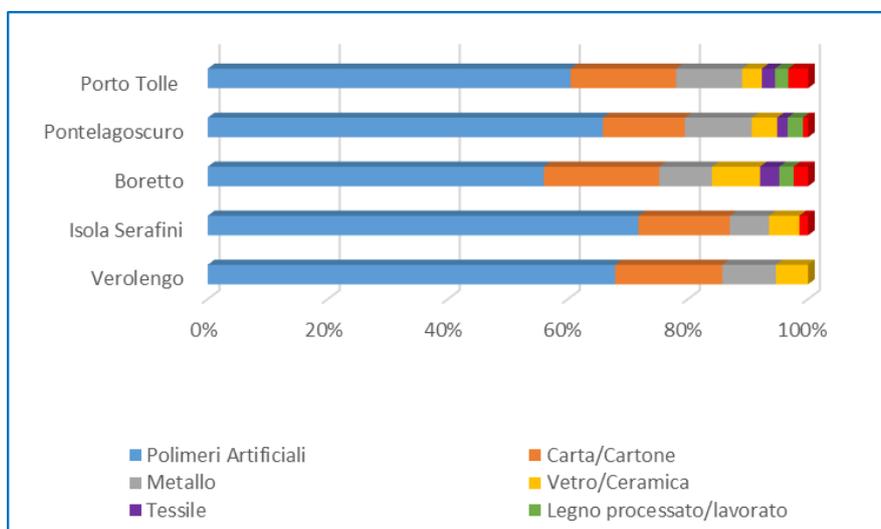


Figura 66. Percentuale di materiali che compongono i rifiuti ritrovati complessivamente nelle quattro stagioni lungo i transetti delle stazioni di monitoraggio

Prevalgono i rifiuti di taglia minore, con una distribuzione sostanzialmente analoga nelle prime 3 classi dimensionali (2,5-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm), come mostrato in Figura 67. Da sottolineare la presenza anche di oggetti di grandi dimensioni, quali resti di materiali da costruzione o parti di mobilio dismessi.

Guardando ai soli polimeri plastici rinvenuti lungo le sponde (Figura 68), l'analisi dimensionale mostra risultati diversi rispetto a quelli relativi alle osservazioni in alveo. I rifiuti più piccoli di 10 cm rappresentano solo il 47,8 % del totale del plastic litter a fronte di un valore superiore all'80 % relativo a quelli trasportati dal fiume. La classe dimensionale che mostra la differenza più marcata è quella compresa tra 10 e 20 cm: lungo le sponde gli oggetti con questa taglia costituiscono il 27,4 % del totale mentre in acqua solo l'11,7 %.

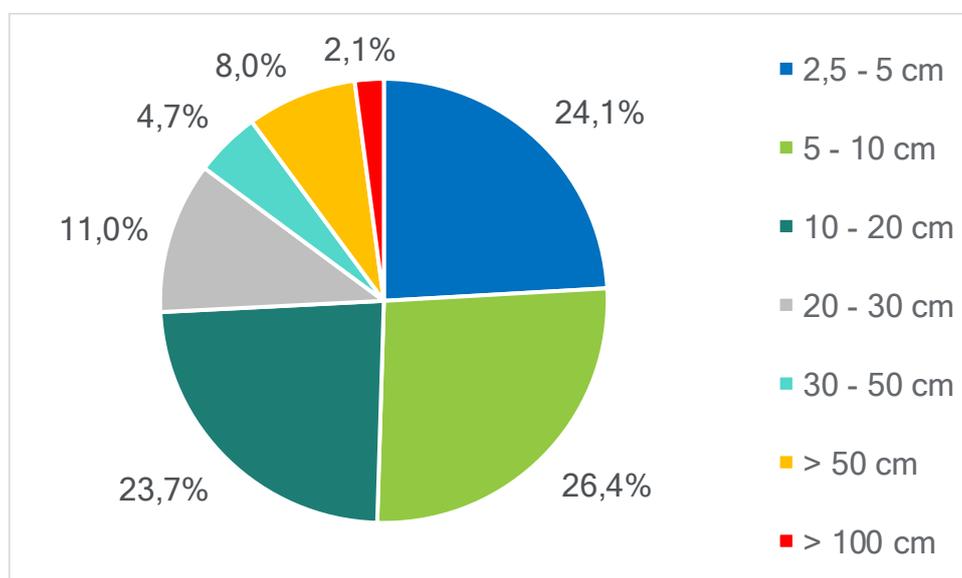


Figura 67. Suddivisione per categoria dimensionale dei rifiuti totali ritrovati lungo le sponde

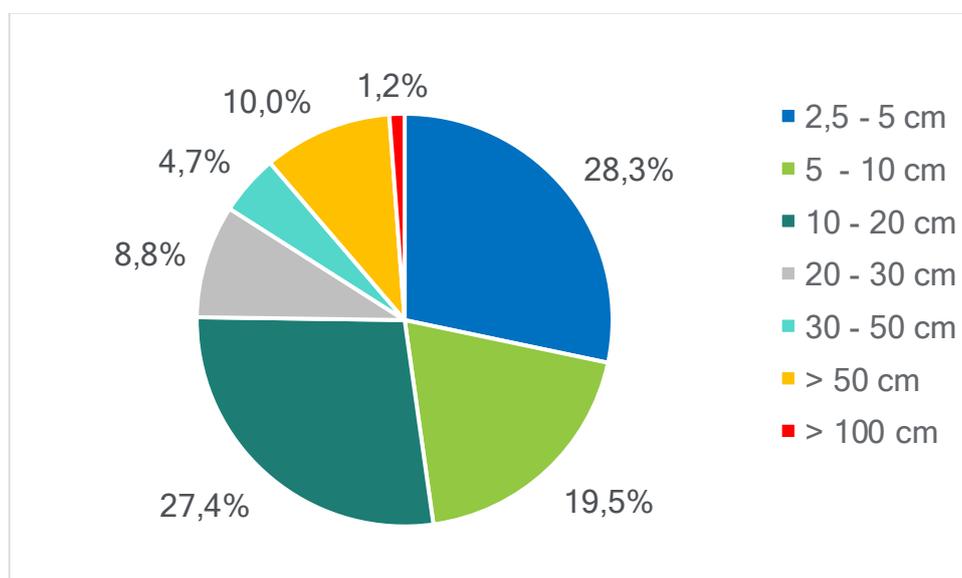


Figura 68. Suddivisione per categoria dimensionale dei soli polimeri artificiali ritrovati lungo le sponde

Considerazioni conclusive

L'osservazione delle diverse categorie di *litter* intrappolate nella vegetazione riparia ha integrato i dati raccolti attraverso *visual observation* del materiale plastico galleggiante sul corso del fiume. Le plastiche costituiscono la maggioranza predominante dei rifiuti osservati, seguite da materiali in carta e cartone e oggetti metallici. L'osservazione del *riverbank litter* ha inoltre confermato quanto emerso dall'analisi del *plastic floating litter* riguardo alla stazione di Isola Serafini (PC), che per entrambi i monitoraggi risulta quella con i più elevati valori di oggetti di plastica osservati; al contrario, la stazione di Verolengo (TO) è quella interessata da minori quantità di rifiuti.

2.3 MONITORAGGIO DELLE MODALITÀ DI TRASPORTO DEL *FLOATING PLASTIC LITTER* CON TRACKING SATELLITARE (JunkTrack ®)

Metodi

Il censimento visivo dei rifiuti aiuta a quantificare la presenza e il trasporto di ciò che è osservabile in superficie ma non dà informazioni relative alle dinamiche di trasporto del litter galleggiante, alle tempistiche di deposito, alle modalità di rimobilizzazione. In assenza di un metodo che permettesse di osservare i fenomeni ad una scala sia temporalmente che spazialmente cospicua, è stato sviluppato, all'interno di questo progetto, un sistema che integra le informazioni raccolte attraverso sistemi più tradizionali con quelle che permettono di avere la telemetria satellitare.

È stato progettato, testato e prodotto in piccola serie il sistema di tracciamento GPS JunkTrack®, costituito da una serie di trasmettitori di posizione (tracker) ed un sistema informativo geografico automatico pubblicato su web (webGIS) per la raccolta, organizzazione, elaborazione e visualizzazione dei dati inviati dai trasmettitori.

Ogni trasmettitore di posizione è costituito da un piccolo circuito elettronico, privo di componenti nocivi per l'ambiente, con batteria al litio (0% mercurio), adatto ad essere alloggiato in un oggetto galleggiante e dal comportamento sovrapponibile a quello di un macro-rifiuto galleggiante. Il circuito elettronico e la batteria sono stati fissati all'interno di contenitori cilindrici stagni in PET da 250 ml, 500 ml o 1 l e che sono protetti mediante il riempimento con un filler a base di sughero naturale, al fine le componenti del sistema da bruschi scuotimenti durante il trasporto in acqua. Entrambe le parti attive (scheda e batteria) sono state inoltre rivestite con un coating di resina epossidica. Il contenitore è stato sigillato ed etichettato con un codice alfanumerico identificativo univoco (ID). Un interruttore magnetico permette di accendere il sistema dall'esterno senza dover riaprire il cilindro.

Dopo essere stati sigillati ed etichettati, i tracker sono pronti per essere immessi nel corso d'acqua al fine di studiarne le dinamiche di trasporto. Trasportati dalle correnti dell'acqua e dall'azione del vento in superficie, simulano il comportamento di un piccolo rifiuto galleggiante, riproducendo le dinamiche esatte di un oggetto simile, come ad esempio una bottiglietta d'acqua minerale.

I tracker utilizzano la rete cellulare per inviare la propria posizione al webGIS: il circuito elettrico interno, tre volte al giorno, tenta il collegamento con i satelliti GPS, calcola le proprie coordinate e le invia al server attraverso la rete cellulare. La batteria al litio garantisce una potenziale vita operativa autonoma che varia dai 2 ai 4 anni, in qualsiasi condizione ambientale.

I tracciatori vengono immessi in punti del fiume descrittivi delle diverse sezioni del corpo d'acqua. Nel bacino del Po, sono stati rilasciati nel complesso 95 tracciatori. Quattro tracker sono stati lanciati a carattere sperimentale - due nel fiume Ticino, uno nel fiume Adda e uno nel fiume Po - allo scopo di testare la qualità del dato GPS che viene ricevuto, la copertura della rete telefonica cellulare e le caratteristiche di galleggiabilità dei trasmettitori in diverse condizioni di corrente.

I restanti 91 tracker, utilizzati per il progetto, sono stati lanciati direttamente nel fiume Po da tre stazioni:

- il tratto a monte tra Torino e Isola Serafini (PC). Il punto di lancio è situato nella località di Chivasso (TO), da dove sono stati rilasciati 25 trasmettitori in totale;

- il tratto centrale tra Isola Serafini (PC) e Pontelagoscuro (FE). Il punto di lancio di questa sezione si trova a Cremona (CR), da dove sono stati rilasciati 30 trasmettitori in totale;
- il tratto a valle tra Pontelagoscuro (FE) e la foce del fiume Po nel mare Adriatico. Polesella (RO) è il punto di lancio di questa sezione, da dove sono stati rilasciati 36 tracker.

Ogni punto di lancio si propone di essere rappresentativo, in termini di comportamento del *litter*, della sezione del fiume in cui è stata suddivisa l'asta fluviale.

La Figura 69 mostra i tratti dell'asta fluviale (a monte in blu, centrale in giallo, a valle in verde) e i corrispettivi punti di lancio.

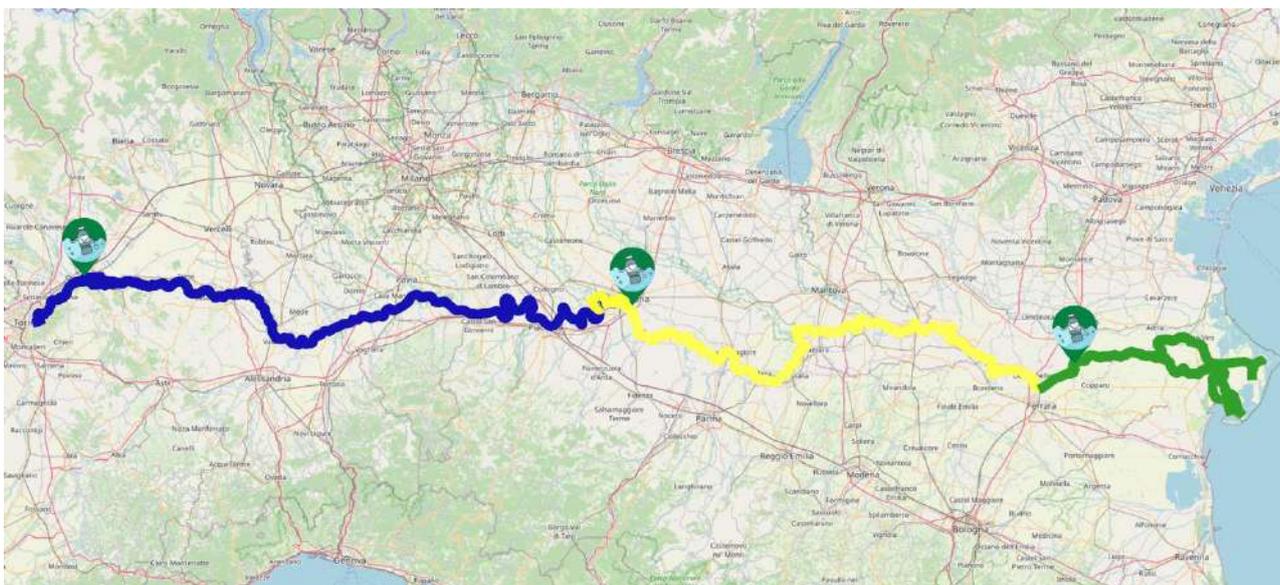


Figura 2. Mappa rappresentativa delle tre sezioni in cui è stata suddivisa l'asta fluviale e rispettivi punti di lancio

I tracciatori sono stati lanciati in periodi diversi dell'anno, caratterizzati da differenti condizioni idrologiche. Nella tabella successiva (Tabella 27) si riporta in ordine temporale una sintesi esplicativa del rilascio dei 95 tracciatori nel Po, inclusi i quattro lanci sperimentali. Per una descrizione di maggior dettaglio del comportamento dei singoli tracker si rimanda all'Allegato 2.

Tabella 27 - Sintesi dei lanci dei 95 tracker nel bacino del Po, nella colonna delle misure di portata è indicata tra parentesi la località della stazione quantitativa a cui si riferisce il valore

Tratta Lancio	Quantità tracker	Luogo del lancio	Data (gg/mm/aa)	Orario indicativo di lancio	Portata (m ³ s ⁻¹)
TEST Fiume Ticino	1	Ponte della Becca (PV)	06/03/2021	11:00	993 (Ponte della Becca)
TEST Fiume Ticino	1	Robecco sul Naviglio (MI)	01/04/2021	16:00	160 (Vigevano)
TEST Fiume Adda	1	Cassano d'Adda (MI)	11/05/2021	14:00	/
A monte	5	Chivasso (TO)	04/06/2021	17:00	47 (San Sebastiano Po)
A monte	10	Chivasso (TO)	05/06/2021	15:30	53 (San Sebastiano Po)
Centrale	15	Cremona (CR) - est	27/08/2021	9:00	620 (Cremona)
A valle	11	Polesella (RO)	05/09/2021	15:30	744 (Pontelagoscuro)
TEST Fiume Po	1	Chivasso (TO)	23/11/2021	14:00	/
A monte	10	Chivasso (TO)	06/03/2022	17:00	55 (San Sebastiano Po)
A valle	10	Polesella (RO)	25/06/2022	15:00	250 (Pontelagoscuro)
Centrale	15	Cremona (CR) - est	05/05/2023	8:30	602 (Cremona)
A valle	15	Polesella (RO)	05/05/2023	19:00	1073 (Pontelagoscuro)

Di seguito si riportano le analisi eseguite sui dati raccolti nel periodo dal 4 giugno 2021 al 30 giugno 2023, data di fine progetto. In particolare, sono state analizzate le tracce dei percorsi eseguiti dai trasmettitori, a partire dalle posizioni GPS condivise. Inoltre, per i lanci eseguiti il 5 maggio 2023 in corrispondenza di un regime di piena, è stata riportata la variazione della velocità dei tracker allo scopo di valutare la correlazione tra i livelli idrometrici e il grado di mobilitazione dei rifiuti.

Risultati

Dei 95 trasmettitori lanciati, inclusi quelli sperimentali, 12 sono stati considerati non operativi perché hanno condiviso meno di 10 posizioni GPS e/o hanno avuto una durata di vita inferiore ai 10 giorni oppure hanno percorso meno di 1000 metri.

I restanti 83 tracker operativi hanno inviato segnali GPS per un numero variabile di giornate, da 4 a 879. L'insieme dei punti utilizzati per le analisi rappresentano le posizioni ricevute in 20148 giornate, considerando un singolo punto a giornata per ciascun trasmettitore. La media di giornate rappresentate è stata, al 30 giugno 2023, di 243 giornate utili per ciascun trasmettitore. Questo

valore è stato ottenuto considerando anche l'ultimo lancio del 5 maggio 2023, che ha inevitabilmente abbassato la media perché è stato effettuato quasi al termine del progetto; pertanto, i giorni di validità per i tracker rilasciati in questa occasione sono stati solo 55.

Utilizzando i segnali dei tracker operativi, sono state individuate nel webGIS le tracce percorse dai trasmettitori e sono state calcolate le distanze dei percorsi effettuati, espresse in chilometri. Degli 83 tracker operativi, 12 sono stati rilevati in mare il 30 giugno 2023, termine del progetto.

Di seguito, sono riportati i risultati aggregati per le tre sezioni individuate, seguiti dalle informazioni relative ai tracciatori lanciati in via sperimentale. Nella tabella in Allegato 2 è mostrato in dettaglio il percorso effettuato da ciascun tracker, includendo il punto di rilascio, il numero di punti GPS trasmessi, le giornate di vita, la distanza percorsa in chilometri, la data e il luogo dell'ultimo segnale inviato (a fine vita o al 30 giugno 2023) e l'arrivo o meno in mare.

Inoltre, sono state identificate le zone di accumulo lungo l'asta del fiume Po, aree in cui le macroplastiche galleggianti tendono ad incagliarsi maggiormente.

TRACCE DEI TRASMETTITORI

Si riportano qui le analisi delle tracce effettuate dagli 83 trasmettitori operativi, sui 95 lanciati per il progetto e in via sperimentale. I risultati sono suddivisi per tratta fluviale di percorrenza e ordinati per data di lancio. Ogni lancio, caratterizzato da data e luogo specifici, è accompagnato da una mappa che illustra le tracce aggregate percorse dai trasmettitori nel letto del fiume. In Allegato 3 si restituiscono le immagini cartografiche di dettaglio delle tracce (espresse in chilometri) dei trasmettitori che hanno percorso, per ciascun lancio, le distanze maggiori nel letto del fiume. Per i tracciatori giunti in mare Adriatico prima del 30 giugno 2023, nelle mappe in allegato sono riportate anche le posizioni ricevute in mare.

Tratto a monte

Nel **tratto a monte (Torino - Isola Serafini)** sono stati rilasciati a Chivasso (TO) complessivamente 25 trasmettitori in due momenti differenti:

- 15 durante il primo lancio eseguito il 4 e 5 giugno 2021- in condizioni idrologiche prossime al regime medio registrato in quel tratto;
- 10 durante il secondo lancio avvenuto il 6 marzo 2022, in prossime al regime medio registrato in quel tratto.

In Figura 70 e Figura 71 sono mostrati i chilometri totali percorsi da ogni tracker operativo, suddivisi per lancio e disposti in ordine decrescente di percorrenza. La data sull'asse delle ascisse indica l'ultima data di rilievo valido per ogni tracker considerato. Ogni barra è caratterizzata quindi dal codice identificativo del tracker riportato in Allegato 2.

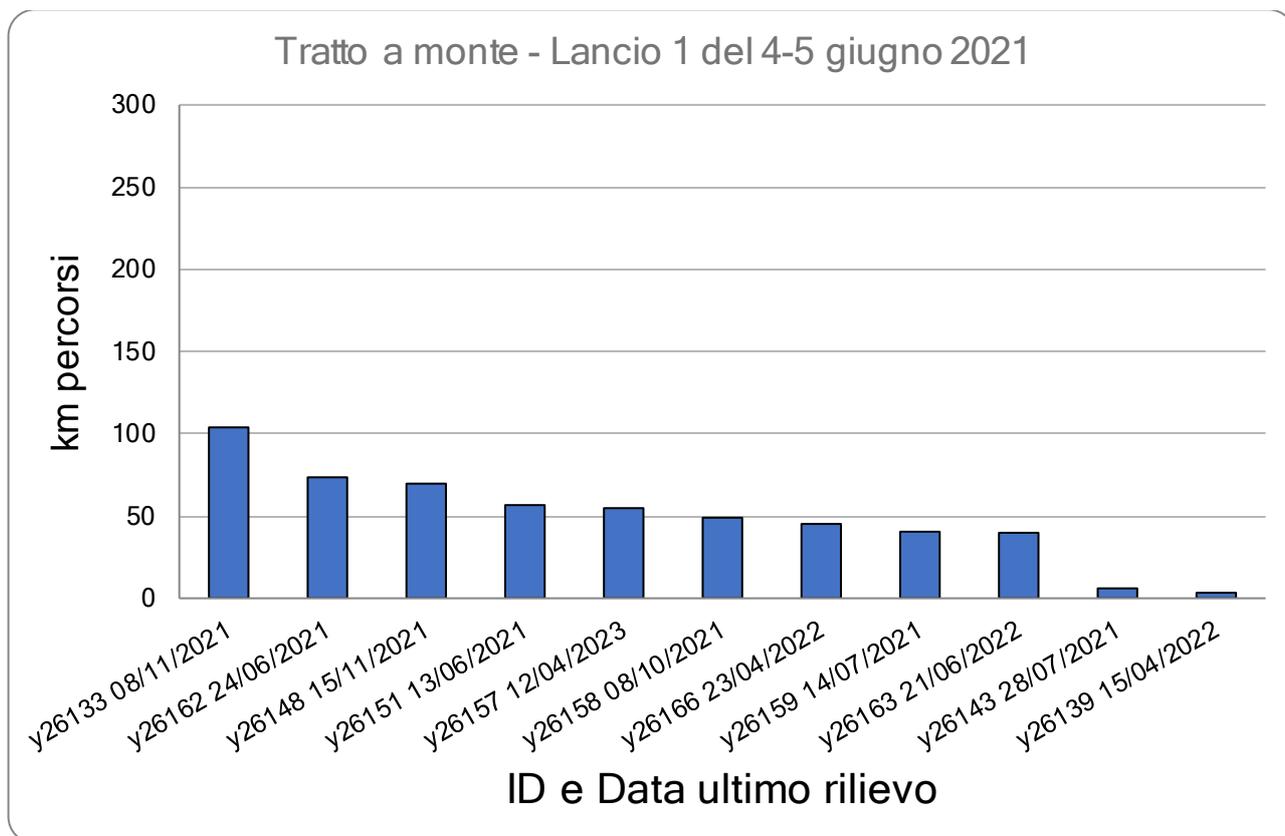


Figura 3. Chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo rilasciato durante il primo lancio nel tratto a monte, riportante il codice identificativo, in base alla data di ultimo rilievo valido

Durante il primo lancio sono stati rilasciati 15 tracker, di cui 11 sono le unità pienamente funzionanti e solo uno (ID = y26133) ha superato i 100 km di percorrenza (Figura 70). Nessuno dei trasmettitori rilasciati tra il 4 e il 5 giugno 2021 a Chivasso ha raggiunto il mare.

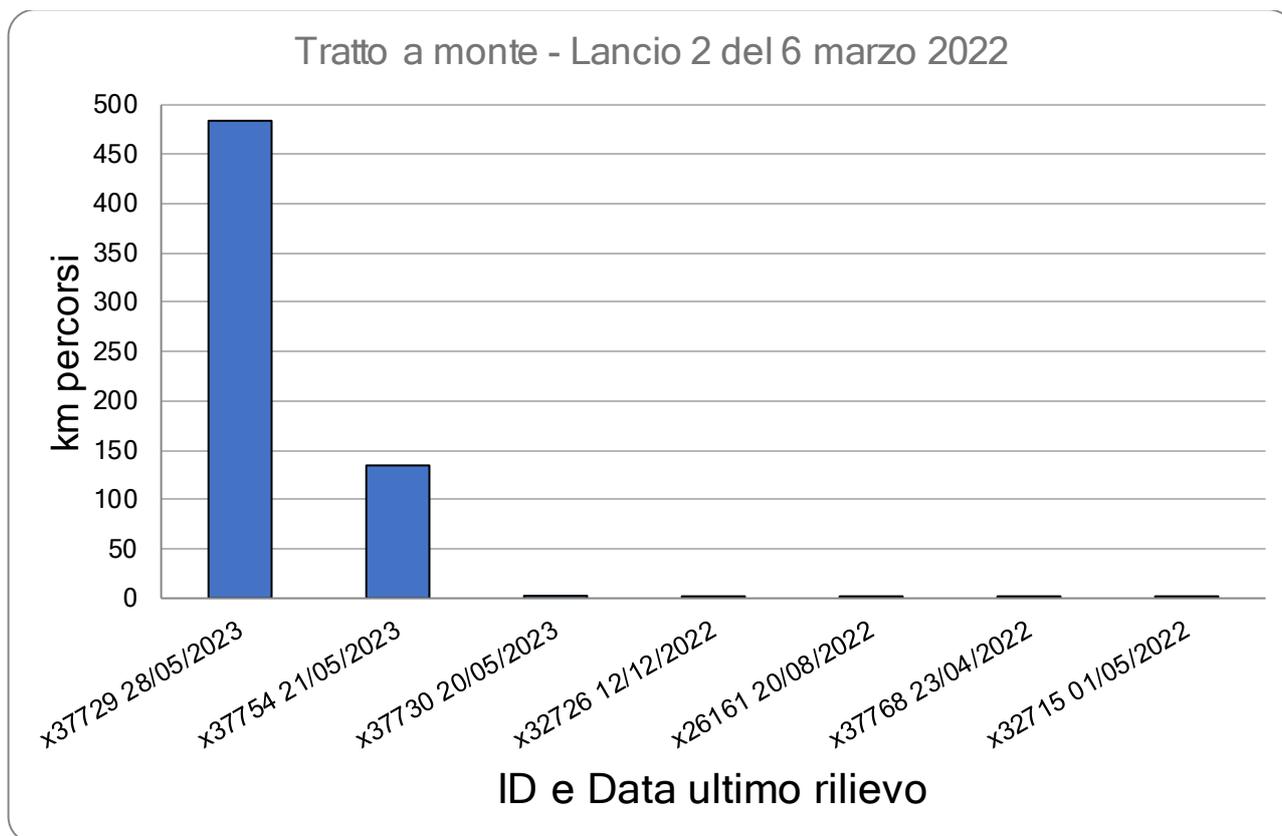


Figura 4. Chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo rilasciato durante il secondo lancio nel tratto a monte, riportante il codice identificativo, in base alla data di ultimo rilievo valido

Nel secondo lancio, effettuato il 6 marzo 2022, dei 10 tracker rilasciati, 7 sono risultati funzionanti. Di questi, il trasmettitore con ID x37729 ha percorso 484 km ed è giunto fino al mare nel maggio 2023. Un altro tracker (ID = x37754) ha percorso oltre 130 km (Figura 71). Gli altri 5 tracker funzionanti hanno avuto una mobilità molto ridotta, con una percorrenza di meno di 3 km l'uno, nonostante siano stati operativi complessivamente per quasi 1000 giornate. I tracker lanciati in questo tratto sono quelli per cui sono state registrate le percorrenze mediamente più brevi.

Di seguito vengono riportate le mappe dei tratti percorsi dai tracker considerati nelle figure 70 e 71. La mappa in Figura 72 mostra il dato aggregato delle tracce percorse dagli 11 trasmettitori rilasciati nella prima sessione di lancio. Sono messi in evidenza gli ultimi punti ricevuti dai trasmettitori (tondi bianchi). Per un maggior dettaglio sulle percorrenze dei singoli tracker si rimanda all'Allegato 3.

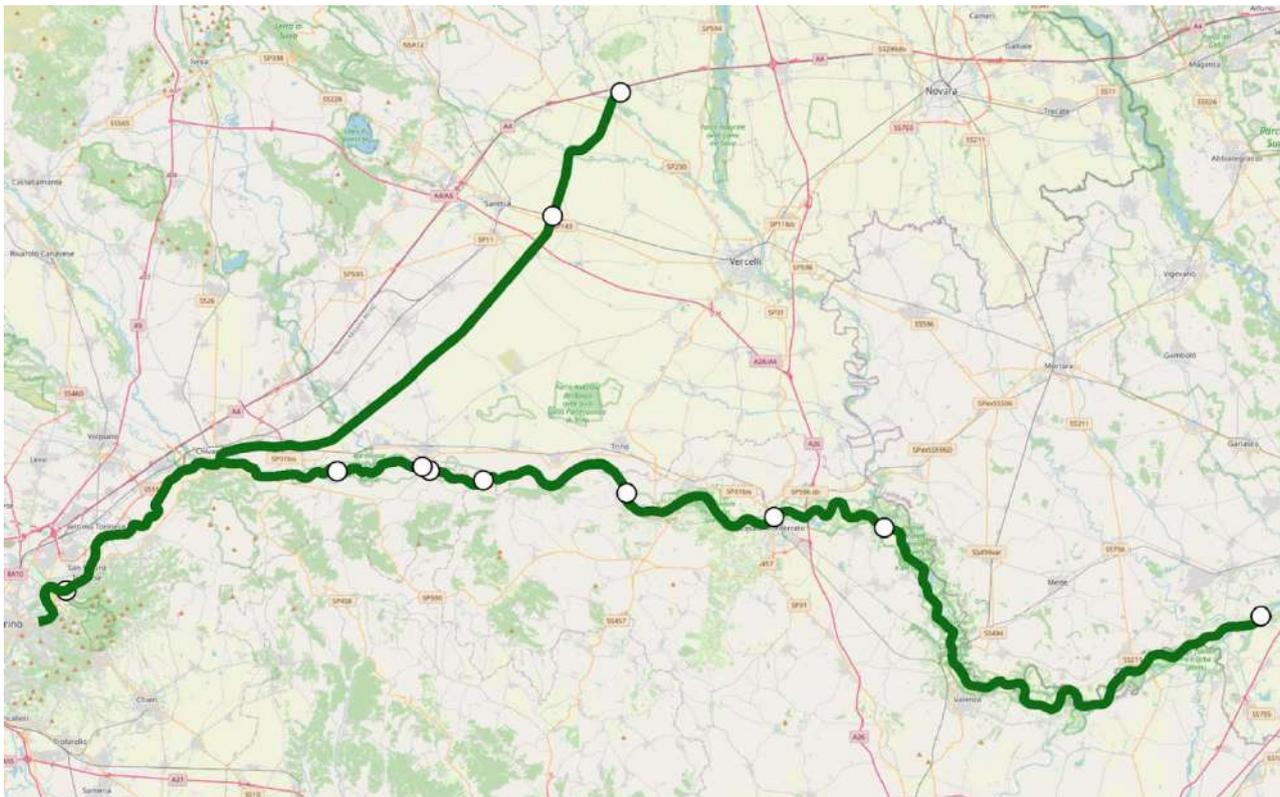


Figura 5. Lancio del 4 e 5 giugno 2021 a Chivasso (TO): rappresentazione dei percorsi effettuati dai tracker (linea verde). I punti bianchi identificano la posizione dell'ultimo rilevamento di ciascun tracker.

Interessante notare che 2 tracker (y26148 e y26151) a partire dal fiume Po sono entrati nel Canale Cavour, e hanno percorso rispettivamente 69,7 km e 56,7 km, fino a giungere a Formigliana (VC) il primo e a San Germano Vercellese (VC) il secondo.

La mappa in Figura 73 mostra il dato aggregato delle tratte percorse dai trasmettitori lanciati a Chivasso nella seconda sessione di lancio. Sono messi in evidenza gli ultimi punti ricevuti dai trasmettitori (tondi bianchi).

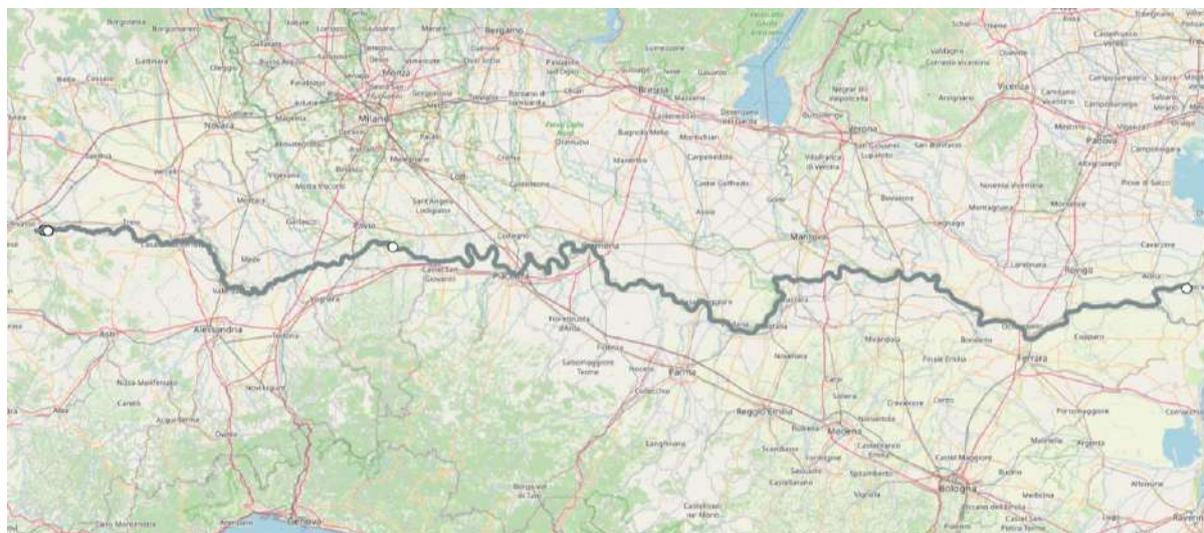


Figura 6. Lancio del 6 marzo 2022 a Chivasso (TO): rappresentazione dei percorsi effettuati dai tracker (linea verde). I punti bianchi identificano la posizione dell'ultimo rilevamento di ciascun tracker.

Tratto centrale

Nel tratto centrale (Isola Serafini - Pontelagoscuro) sono stati lanciati a Cremona (CR) complessivamente 30 trasmettitori:

- 15 durante il primo lancio eseguito il 27 agosto 2021, con un valore di portata di 618 m³/s, inferiore a quello medio di agosto nel lungo periodo (1972-2020; ARPAE, 2021a), pari a 750 m³/s;
- 15 durante il secondo lancio eseguito 5 maggio 2023, con un valore di portata di 584 m³/s, fortemente inferiore a quello medio di maggio nel lungo periodo (1972-2020; ARPAE, 2023a), pari a 1652 m³/s;

In Figura 74 e Figura 75 sono mostrati i chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo, suddivisi per lancio e disposti in ordine decrescente di percorrenza. La data sull'asse delle ascisse indica l'ultima data di rilievo valido per ogni tracker considerato. Ogni barra è caratterizzata quindi dal codice identificativo del tracker riportato in Allegato 2.

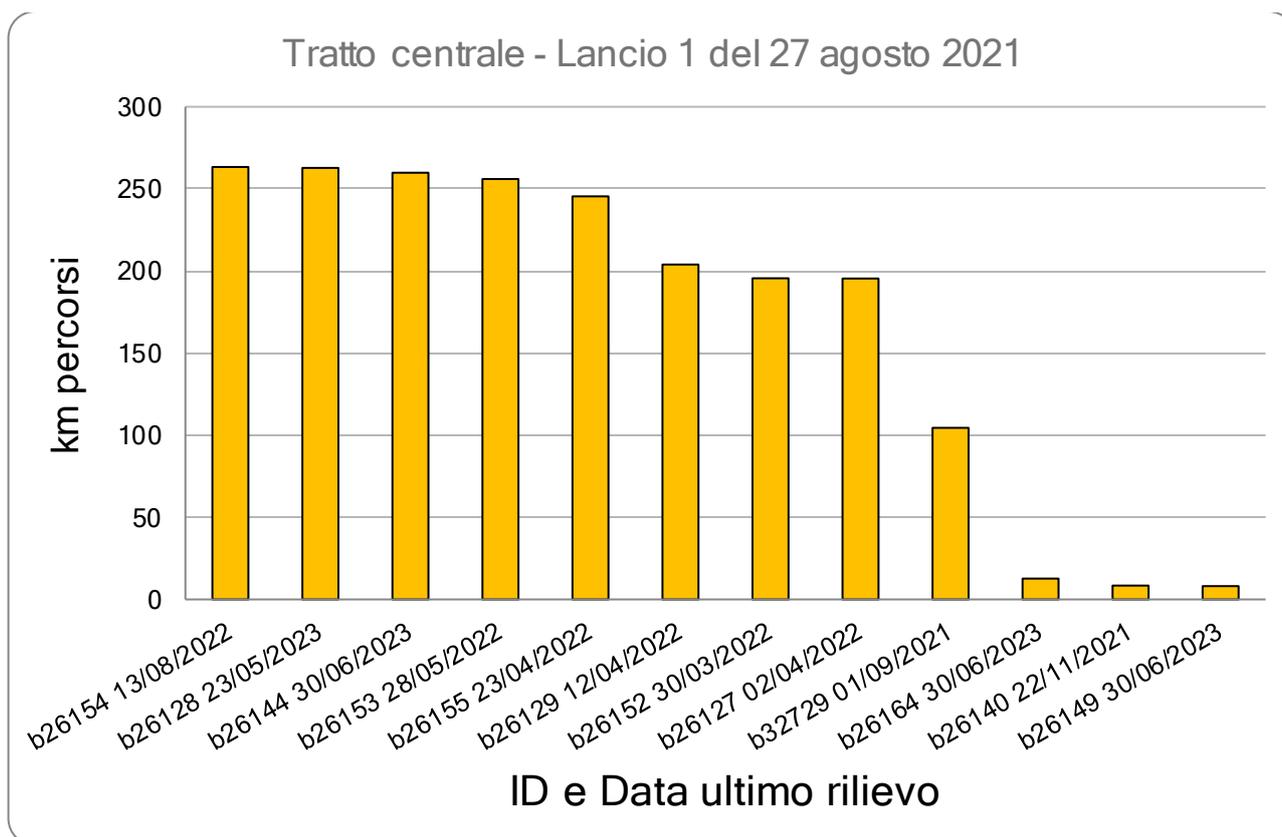


Figura 7. Chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo rilasciato durante il primo lancio nel tratto centrale, riportante il codice identificativo, in base alla data di ultimo rilievo valido

Del primo gruppo di 15 tracker rilasciati a Cremona ad agosto 2021, 12 sono risultati funzionanti. I singoli trasmettitori hanno registrato una media di percorrenza di 168 km al 30/06/2023, con un minimo di 8,1 km (ID = b26149) e un massimo di 263 km (ID = b26154; Figura 74). Nessuna di queste unità ha raggiunto il mare.

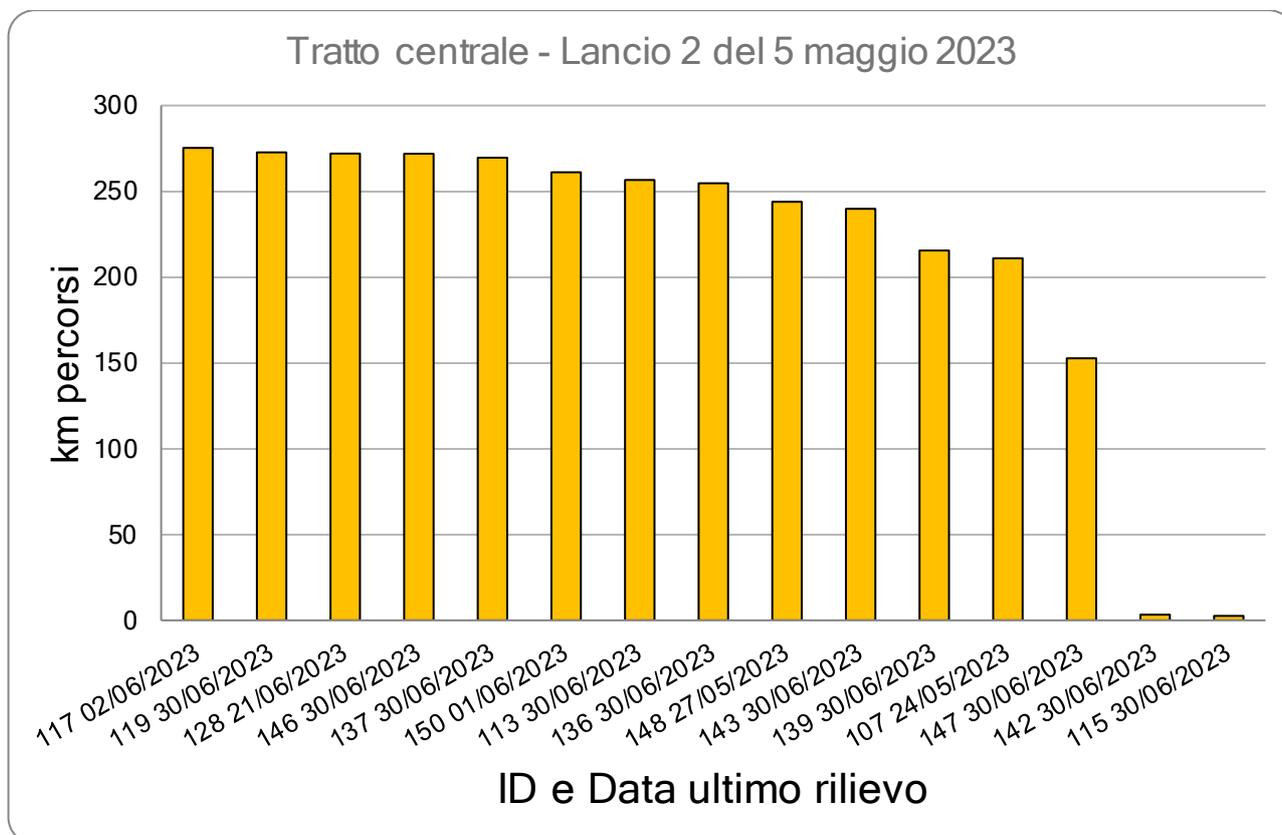


Figura 8. Chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo rilasciato durante il secondo lancio nel tratto centrale, riportante il codice identificativo, in base alla data di ultimo rilievo valido

Il secondo rilascio di 15 trasmettitori è stato effettuato da Cremona il 5 maggio 2023 e tutti sono rimasti operativi fino alla conclusione del progetto. I tracker hanno percorso mediamente 213 km per unità. Il tracker ID.= 117 ha percorso la distanza massima di 275 km, inviando l'ultimo rilievo il 2/06/2023 (Figura 75). Sette unità sono giunte in mare.

Nel complesso i tracker rilasciati a Cremona hanno registrato percorrenze mediamente maggiori rispetto a quelli lanciati a Chivasso (TO).

Di seguito vengono riportate le mappe dei tratti percorsi dai tracker considerati nelle figure 74 e 75. La mappa in Figura 76 mostra il dato aggregato delle tracce percorse dai 12 trasmettitori operativi e rilasciati nella prima sessione di lancio. Sono messi in evidenza gli ultimi punti ricevuti dai trasmettitori (tondi bianchi). Per un maggior dettaglio sulle percorrenze dei singoli tracker si rimanda all'Allegato 3.

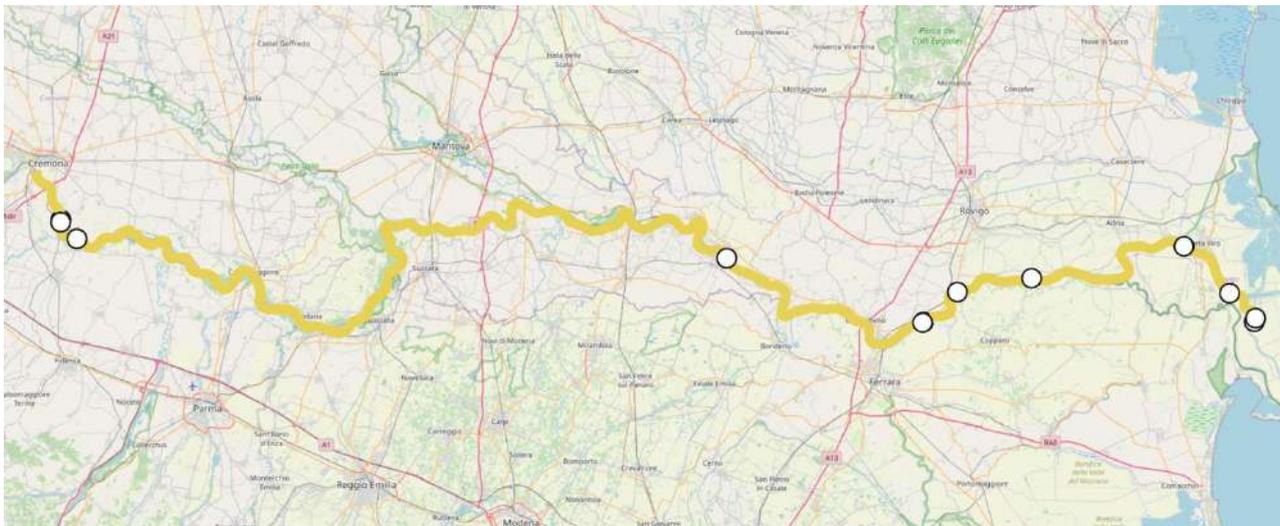


Figura 9. Lancio del 27 agosto 2021 a Cremona: rappresentazione dei percorsi effettuati dai tracker (linea gialla). I punti bianchi identificano la posizione dell'ultimo rilevamento di ciascun tracker.

La mappa in Figura 77 mostra il dato aggregato delle tratte percorse dai trasmettitori lanciati a Cremona nella seconda sessione di lancio. Sono messi in evidenza gli ultimi punti ricevuti dai trasmettitori (tondi bianchi).

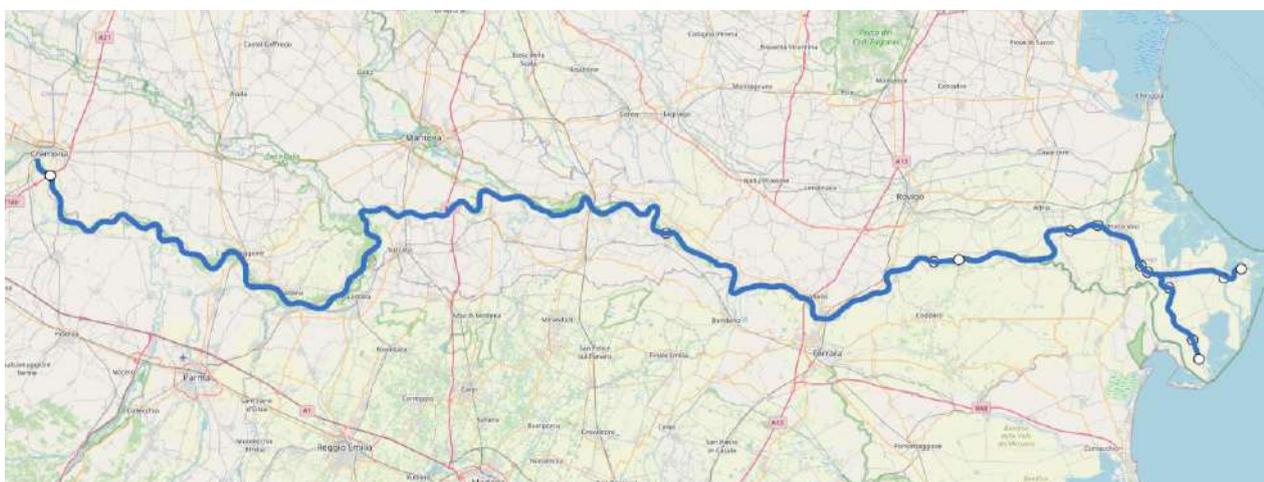


Figura 10. Lancio del 5 maggio 2023 a Cremona: rappresentazione dei percorsi effettuati dai tracker (linea blu). I punti bianchi identificano la posizione dell'ultimo rilevamento di ciascun tracker.

In Figura 78 è stato rappresentato l'andamento temporale delle velocità medie giornaliere raggiunte dai tracker dal giorno del rilascio (5 maggio 2023) fino al 25/06/2023.

Nei giorni successivi a quello del lancio, che ha registrato una movimentazione con velocità moderata, tutti i tracker si sono spostati con minore rapidità o si sono completamente arrestati, in corrispondenza di un decremento della portata giornaliera verificatosi tra il 7 e l'11 maggio 2023 (ARPAE, 2023a),

A partire dal 17 maggio 2023, fino al 29 maggio 2023, i tracciatori hanno ripreso a muoversi con velocità maggiore rispetto a quella iniziale, con valori anche superiori a 1 km/h. Questo incremento è avvenuto in corrispondenza di un aumento della portata - come riportato in Figura 78 - che nell'intervallo di tempo considerato, nelle stazioni a valle di Cremona, è sempre maggiore di 1000

m³/h. In particolare, il 23 e 24 maggio 2023, si sono registrati i valori massimi sia di portata che di velocità media dei tracker.

In corrispondenza della successiva diminuzione di portata, registrata tra fine maggio e metà giugno 2023, si è osservato un nuovo periodo di sosta o di movimento molto lento dei trasmettitori. Infatti, è plausibile supporre che, a seguito del precedente incremento della portata e del conseguente aumento della sezione del fiume, diversi trasmettitori siano rimasti incagliati in zone ricche di vegetazione e/o in corrispondenza dei piloni dei ponti. Questa ipotesi viene confermata dal fatto che solo pochi trasmettitori vengono rimosi in corrispondenza di un nuovo aumento della portata (16 e 17 giugno 2023).

Dall'analisi dell'andamento dei tracker nel tratto centrale, si può ipotizzare che esista una correlazione tra l'incremento delle portate e la velocità media dei trasmettitori.

Lancio del 5 maggio 2023 - Cremona

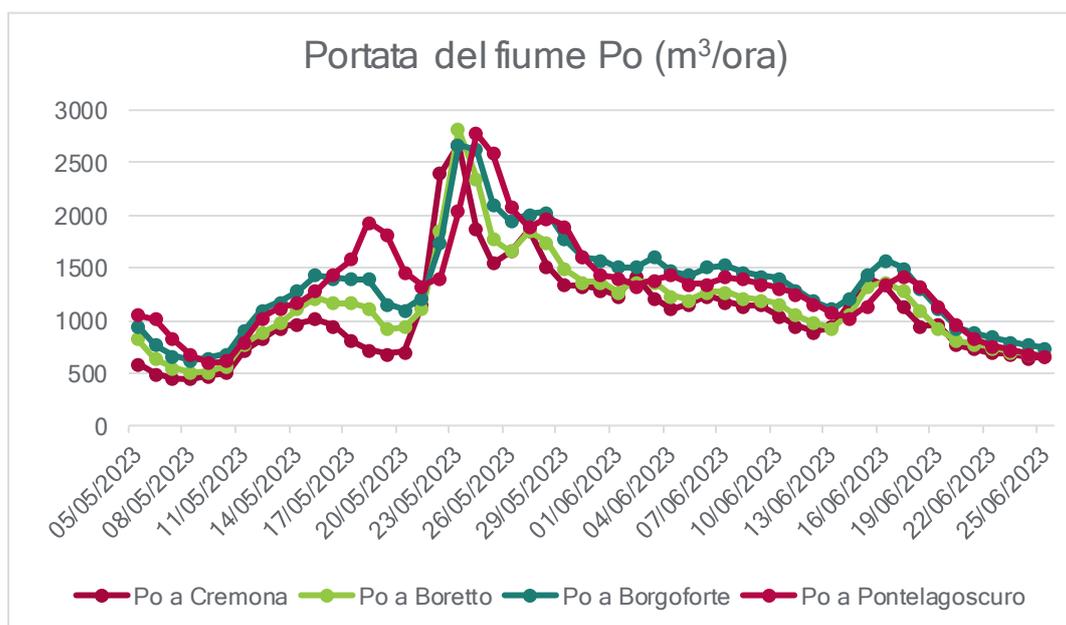
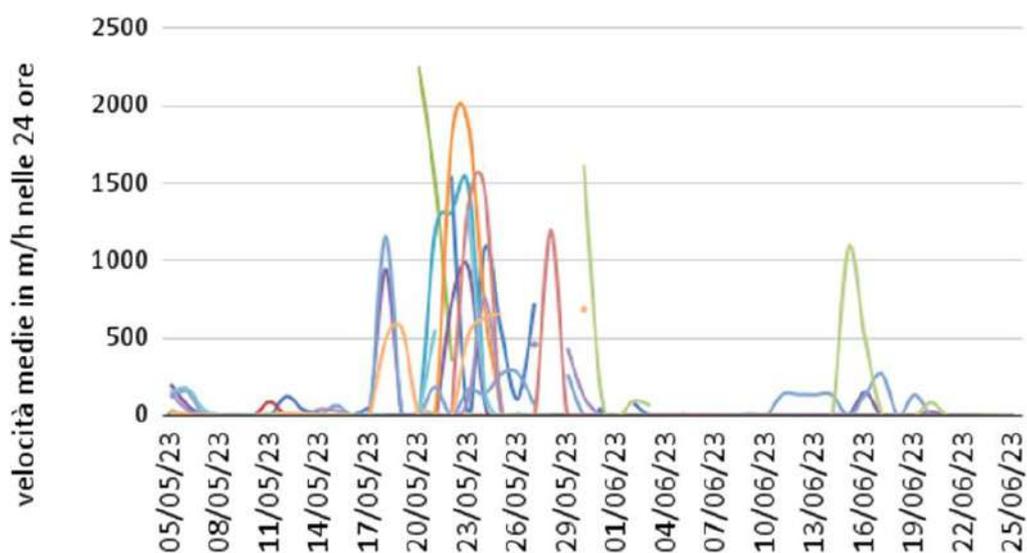


Figura 11. Velocità medie in m/h dei tracker, distinti per colore, e corrispondenti portate in 4 stazioni del fiume Po nell'intervallo temporale indicato.

Tratto a Valle

Nel **tratto di valle (Pontelagoscuro - foce)** sono stati lanciati a Polesella (RO) complessivamente 36 trasmettitori:

- 11 durante il primo lancio eseguito il 5 settembre 2021, con un valore di portata di 767 m³/s, sensibilmente inferiore a quello medio di settembre nel lungo periodo (1923-2020; ARPAE, 2021b), pari a 1304 m³/s;
- 10 durante il secondo lancio eseguito 25 giugno 2022, in condizioni idrologiche di magra. La portata era di 161 m³/s, a fronte di un valore medio nel lungo periodo (1923-2020) che a giugno è pari a 1767 m³/s (ARPAE, 2022);
- 15 durante il terzo lancio eseguito il 5 maggio 2023 con un valore di portata di 1055 m³/s, inferiore a quello medio di maggio nel lungo periodo (1923-2020; ARPAE, 2023a), pari a 1987 m³/s.

In Figura 79, 80, e 81 sono mostrati i chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo, suddivisi per lancio e disposti in ordine decrescente di percorrenza. La data sull'asse delle ascisse indica l'ultima data di rilievo valido per ogni tracker considerato. Ogni barra è caratterizzata quindi dal codice identificativo del tracker riportato in Allegato 2.

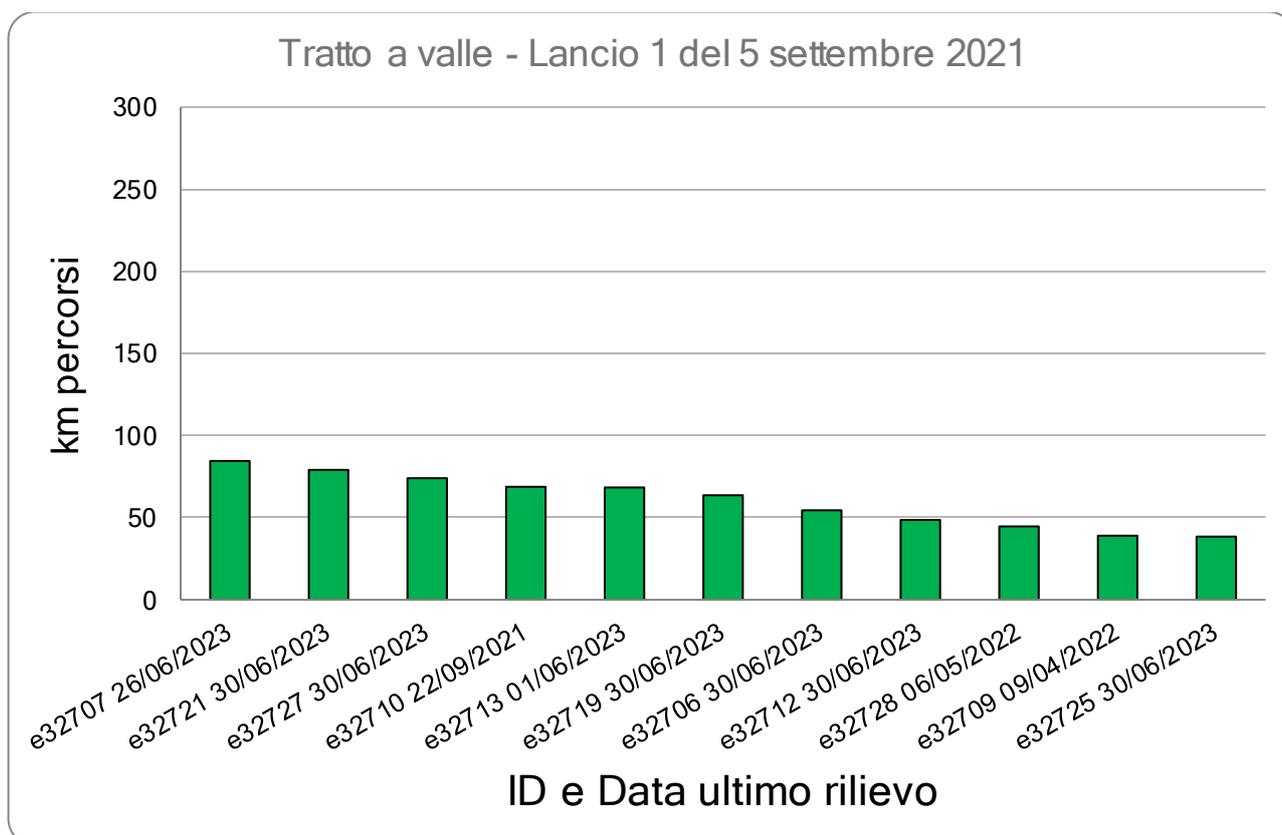


Figura 12. Chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo rilasciato durante il primo lancio nel tratto a valle, riportante il codice identificativo, in base alla data di ultimo rilievo valido

Del primo gruppo di 11 tracker, tutti trasmettitori hanno mantenuto l'operatività. I singoli trasmettitori hanno registrato una media di percorrenza di 60 km al 30/06/2023. Il tracker ID = e32707 ha

percorso la distanza massima pari a 84,5 km, inviando l'ultimo rilievo il 26/06/2023 (Figura 79). Due unità hanno raggiunto il mare.

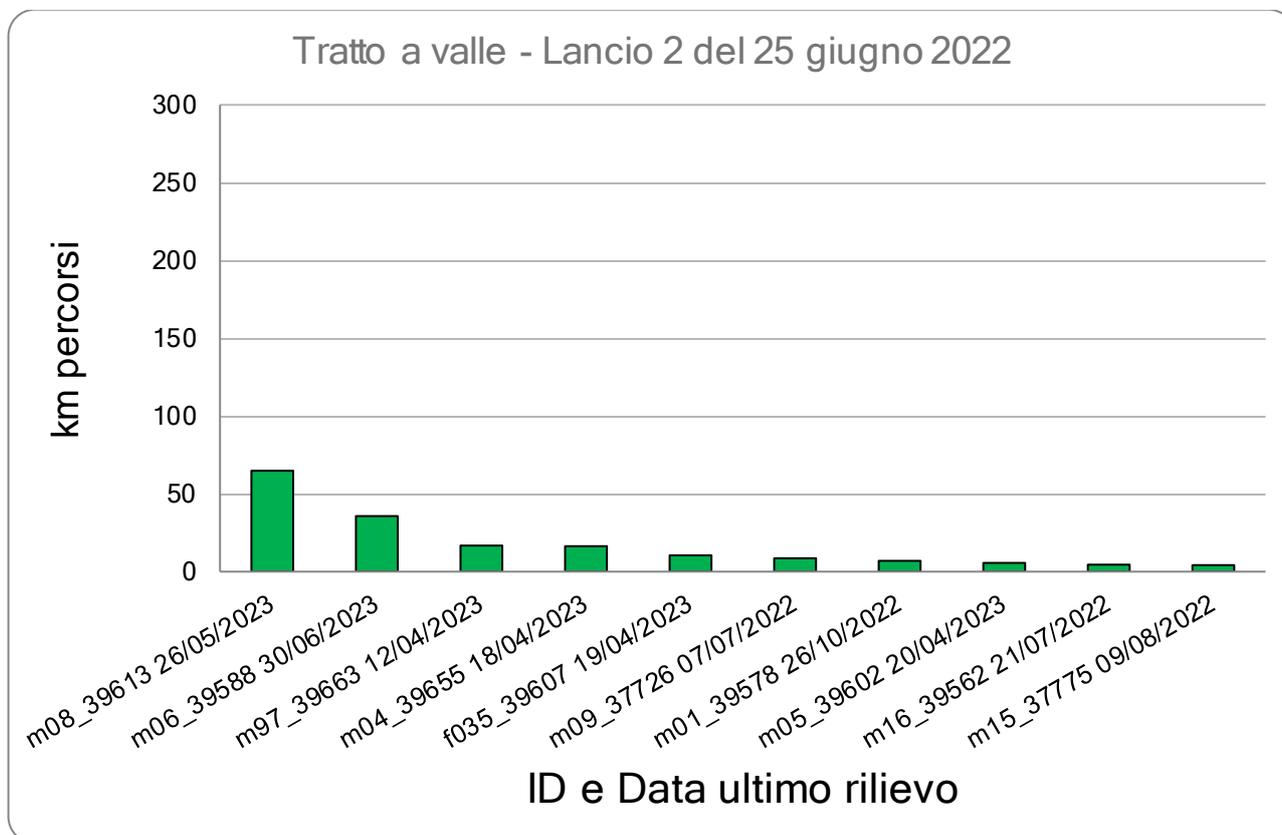


Figura 13. Chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo rilasciato durante il secondo lancio nel tratto a valle, riportante il codice identificativo, in base alla data di ultimo rilievo valido

Il secondo lancio, effettuato il 25 giugno 2022, era costituito da 10 tracciatori, rimasti tutti operativi. I singoli trasmettitori hanno registrato una media di percorrenza di 17,4 km per unità. Il tracker ID = m08_39613 ha percorso la distanza massima pari a 65 km, inviando l'ultimo rilievo il 26/05/2023 (Figura 80). Una unità ha raggiunto il mare.

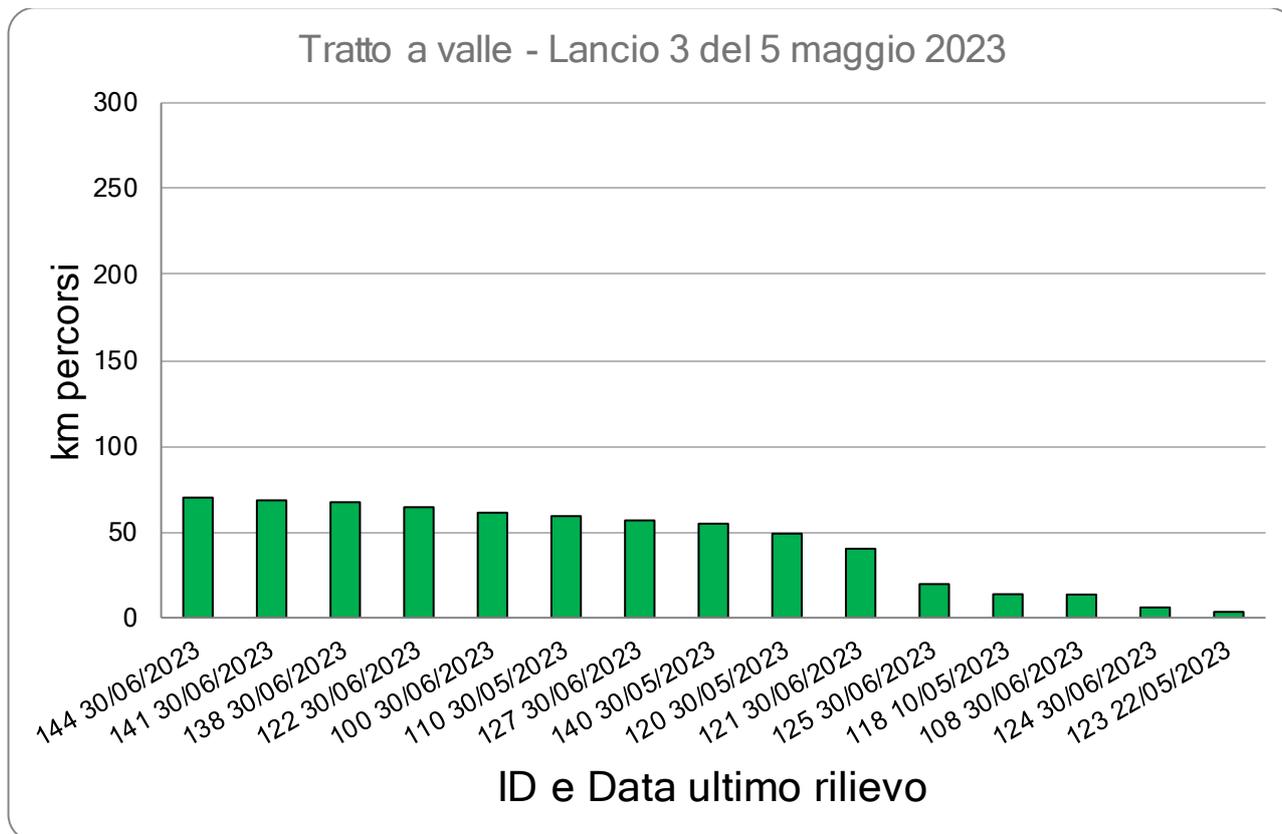


Figura 14. Chilometri complessivi percorsi da ogni tracker operativo rilasciato durante il terzo lancio nel tratto a valle, riportante il codice identificativo, in base alla data di ultimo rilievo valido

I 15 tracker, rilasciati in occasione del terzo lancio, il 5 maggio 2023, sono rimasti tutti operativi fino alla conclusione del progetto. I singoli trasmettitori hanno registrato una media di percorrenza di 43,2 km per unità.

Il tracker ID = 144 ha percorso la distanza massima pari a 70 km, inviando l'ultimo rilievo il 30/06/2023 (Figura 81). Una unità ha raggiunto il mare.

Di seguito vengono riportate le mappe (Figura 82, Figura 83, Figura 84) dei tratti percorsi dai tracker rilasciati nei 3 lanci.

La mappa in Figura 82 mostra il dato aggregato delle tracce percorse dai 10 trasmettitori operativi e rilasciati nella prima sessione di lancio. Sono messi in evidenza gli ultimi punti ricevuti dai trasmettitori (tondi bianchi). Per un maggior dettaglio sulle percorrenze dei singoli tracker si rimanda all'Allegato 3.

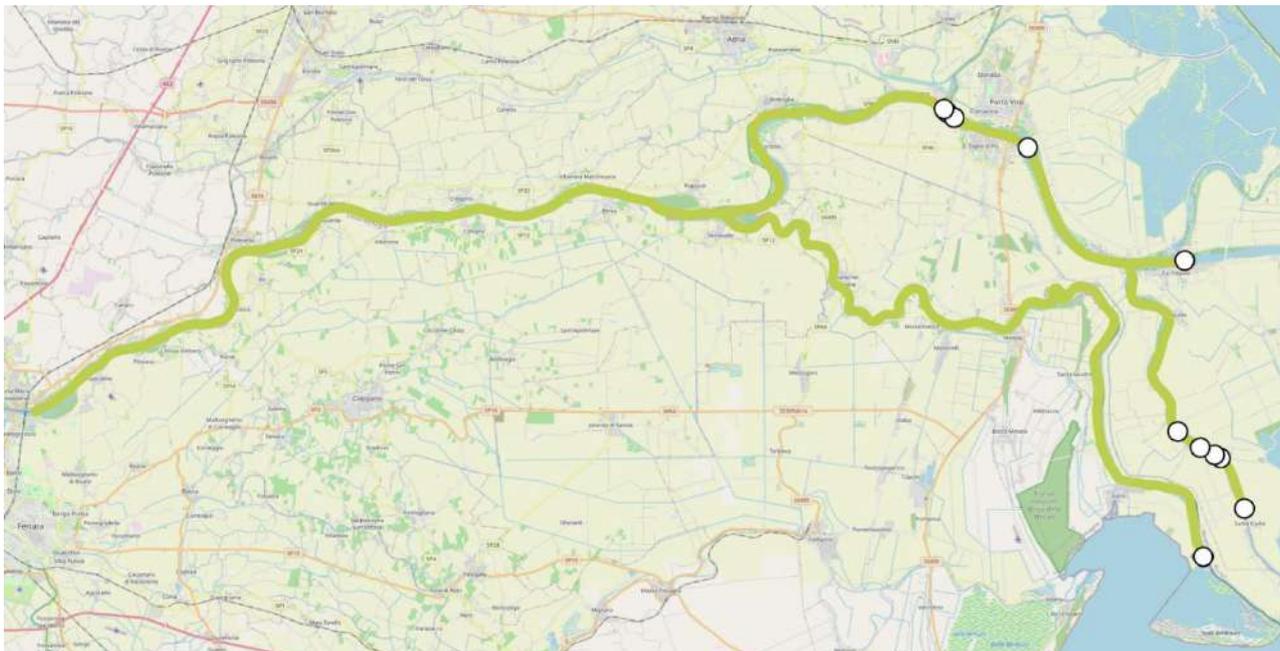


Figura 15. Lancio del 5 settembre 2021 a Polesella (RO): rappresentazione dei percorsi effettuati dai tracker (linea verde chiaro). I punti bianchi identificano la posizione dell'ultimo rilevamento di ciascun tracker.

In Figura 83 sono mostrate le tratte aggregate percorse dai trasmettitori rilasciati nel secondo lancio del 25/06/2022.

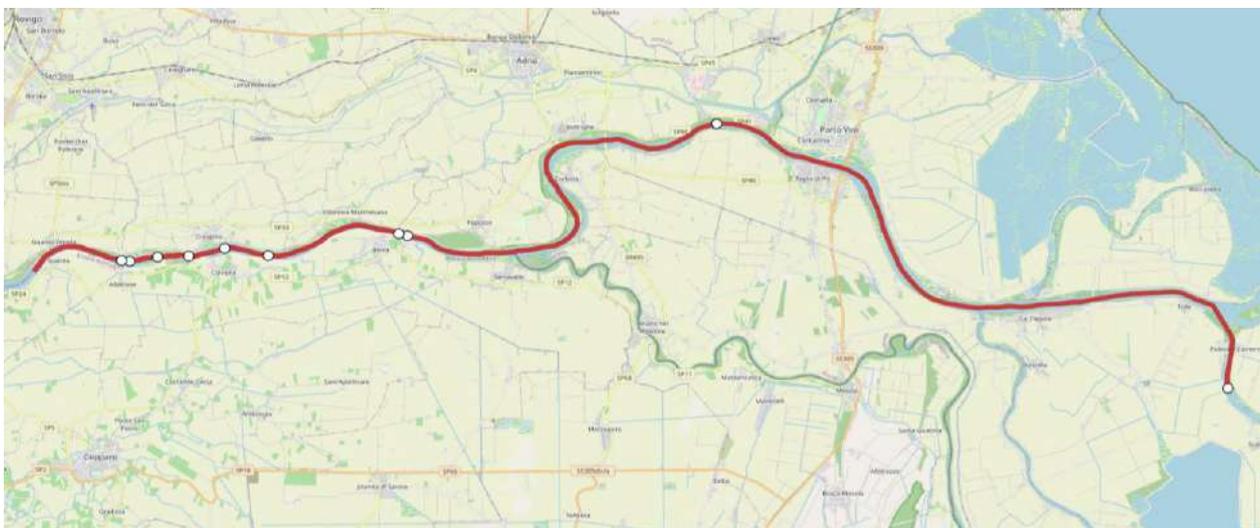


Figura 16. Lancio del 25 giugno 2022 a Polesella (RO): rappresentazione dei percorsi effettuati dai tracker (linea rossa). I punti bianchi identificano la posizione dell'ultimo rilevamento di ciascun tracker.

In Figura 84 sono mostrate le tratte aggregate percorse dai trasmettitori lanciati il 5 maggio 2023. Sono messi in evidenza gli ultimi punti ricevuti dai trasmettitori (tondi bianchi).

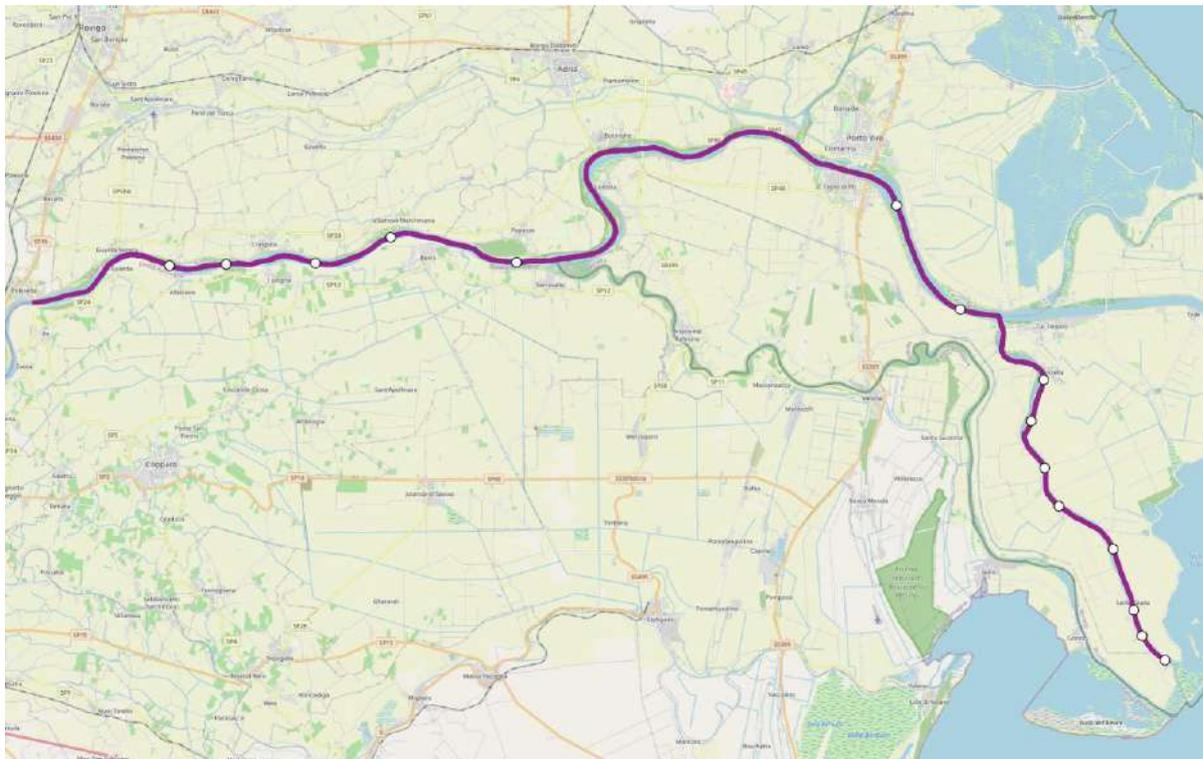


Figura 17. Lancio del 5 maggio 2023 a Polesella (RO): rappresentazione dei percorsi effettuati dai tracker (linea viola). I punti bianchi identificano la posizione dell'ultimo rilevamento di ciascun tracker.

Per il rilascio dei tracker a Polesella (RO), in analogia con la rappresentazione effettuata per Cremona, sono stati ricavati i dati di velocità medi giornalieri dei tracker (Figura 85), allo scopo di valutare la mobilità, la stasi e l'eventuale rimobilizzazione in concomitanza con aumenti di livello idrometrico del fiume Po.

Lancio di Polesella del 5 maggio 2023

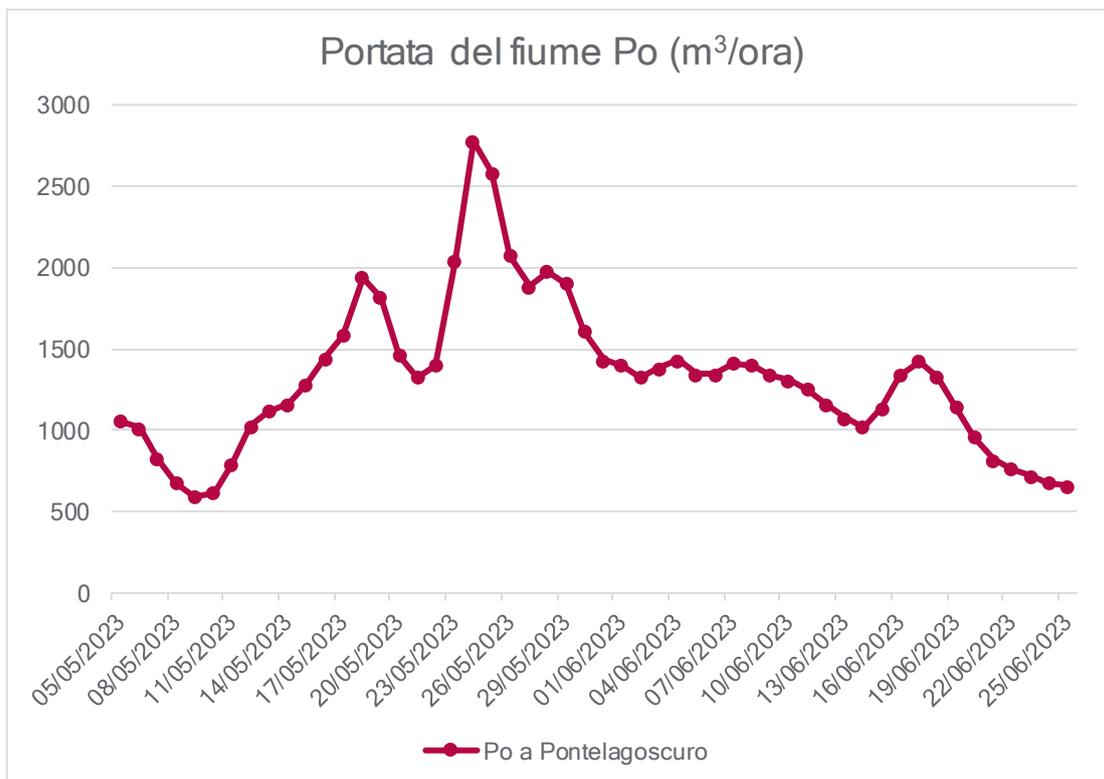
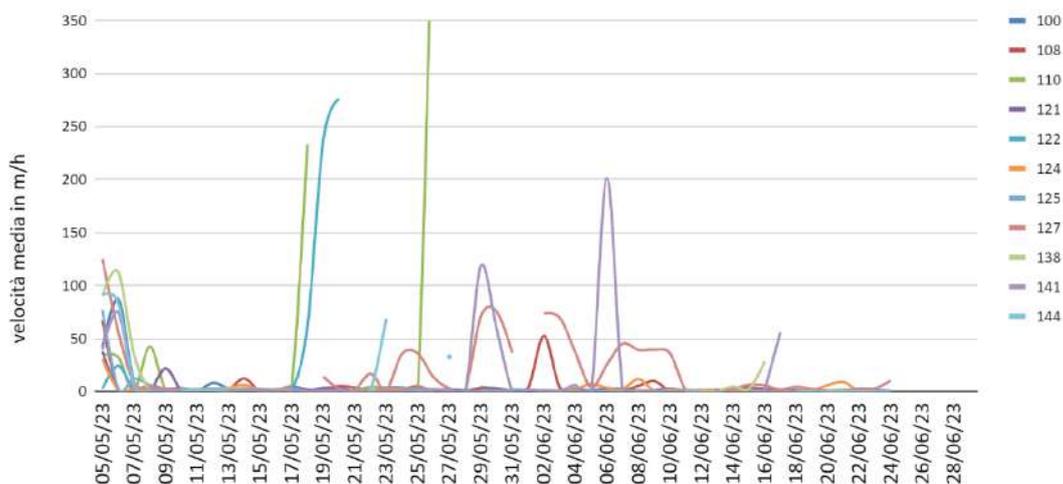


Figura 18. Velocità medie in m/h dei tracker, distinti per colore, e corrispondenti portate alla stazione di Pontelagoscuro nell'intervallo temporale indicato.

Il lancio del 5 maggio 2023 è stato effettuato in corrispondenza di un rilevante aumento della portata e fino all'8 maggio 2023 9 tracciatori hanno viaggiato con una velocità sostenuta, fino a circa 100 m/h. Successivamente, si è registrata una diminuzione della portata, a cui è corrisposto un arresto e/o una scarsa mobilità dei tracker.

Nei giorni successivi, dal 14 al 17 maggio 2023, solo alcuni dei tracker rilasciati sono stati rimobilizzati, spostandosi con velocità differenti, in corrispondenza di un nuovo aumento della portata, che il 18 maggio 2023 ha segnato il valore più elevato.

Durante i giorni in cui sono state registrate le massime portate del mese (dal 23 al 26 maggio), solo 4 tracker si sono movimentati e solo uno lo ha fatto con velocità molto elevata e comunque limitatamente alla giornata del 25 maggio.

Altri trasmettitori hanno ripreso a muoversi solo agli inizi di giugno 2023, sebbene si siano verificate minime variazioni di portata rispetto ai giorni precedenti. Tale comportamento è analogo a quello registrato nel tratto centrale. Dopo il 19 giugno, con livelli di portata inferiori a $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, gli spostamenti sono stati minimi e tutti con velocità molto ridotte.

Anche in questo caso, si è evidenziato come una portata elevata non sia condizione sufficiente per un trasporto di tutti i trasmettitori. Solo uno dei trasmettitori è giunto in mare al 30 giugno 2023 (Allegato 2).

I trasmettitori rilasciati nel tratto a valle, una volta entrati nei rami del delta del Po possono essere influenzati dalla differente morfologia del corso d'acqua, dalle maree, dal rallentamento delle acque e dalla riduzione della profondità della sezione. Pertanto, l'analisi degli spostamenti effettuata solo in funzione della portata non è sufficiente ad analizzare in maniera esaustiva le velocità medie dei tracker rappresentate in Figura 85.

ZONE DI ACCUMULO

Le zone di accumulo delle macro-plastiche galleggianti sono aree nelle quali si è riscontrata una maggiore probabilità di deposito di *plastic litter* per più giorni.

Al fine di identificare queste zone lungo l'asta fluviale del Po e per cercare di caratterizzare le condizioni che determinano il trattenimento delle macro-plastiche galleggianti, è stato sviluppato sul software QGIS un sistema a griglia di celle esagonali regolari e contigue (*QGIS hexagonal grid 5000*), con area di circa 11 km². Ciascuna cella è caratterizzata dal numero di giornate in cui almeno un tracker è stato rilevato al suo interno. Sulla base di queste analisi sono state prodotte delle mappe che evidenziano le celle in cui un numero significativo di trasmettitori ha sostato per più giorni e che, di conseguenza, costituiscono potenziali zone di accumulo.

Si riporta la descrizione della metodologia utilizzata per effettuare la quantificazione dei tracker che hanno sostato e l'identificazione delle zone di accumulo.

Ogni trasmettitore è programmato per inviare più posizioni al giorno, a condizione che il GPS e la connessione telefonica consentano la trasmissione dei dati. Le informazioni ricevute dal server vengono integrate tra di loro e viene conteggiato un solo dato per giornata. Per ogni cella esagonale in cui è stato suddiviso il territorio dell'asta del fiume Po, è stato calcolato un indice che quantifica le localizzazioni totali presenti, determinato come numero di dati giornalieri inviati da tutti i trasmettitori che hanno transitato e/o sostato nella singola cella per il periodo di durata del progetto (settembre 2021-giugno 2023). Trattandosi di un valore aggregato, l'indice non dà indicazioni sul numero di tracker transitati nella cella. Infatti, ad esempio, un indice "10" può corrispondere a dieci giornate di un solo trasmettitore o all'insieme di 10 trasmettitori che hanno transitato nella stessa area per una singola giornata. Per ottenere questa informazione, utile alla definizione delle zone di accumulo, è stato calcolato anche il numero di tracker che, avendo inviato almeno un segnale GPS durante il transito nella cella, concorrono alla formazione degli indici. Il dettaglio di questi indici per ciascuna cella è disponibile in Allegato 4 -*Composizione degli indici che qualificano le celle esagonali*, dove per ogni cella sono indicati, mediante un codice numerico identificativo, quali tracker hanno transitato e per quanti giorni è durata la sosta nella cella di riferimento.

Successivamente, per ciascuna cella è stato calcolato il numero di tracker identificati come "potenzialmente incagliati" poiché hanno avuto una permanenza uguale o maggiore a 10 giorni. Di questi, quelli che hanno sostato per un periodo uguale o maggiore ad 89 giorni sono stati considerati bloccati nella cella, vista la loro permanenza pari o superiore ai tre mesi. Da notare che il numero di tracker nelle celle non è confrontabile nelle tre tratte in cui è stata divisa l'asta fluviale, perché il numero di trasmettitori operativi per tratta, considerando quelli lanciati nel punto di rilancio della tratta stessa e quelli provenienti dalle tratte precedenti, aumenta procedendo da monte a valle. Per questo motivo e per rendere confrontabili i valori, sono state calcolate le **percentuali dei tracker incagliati sul totale dei tracker operativi che hanno transitato o sostato nella cella in una determinata tratta**.

I tracker operativi sono:

- 1) 20 nel tratto a monte, dei 29 lanciati (test inclusi);
- 2) 30 nel tratto centrale, poiché sono rimasti operativi 27 dei 30 lanciati, a cui si aggiungono 3 tracker operativi giunti dal tratto a monte
- 3) 60 nel tratto a valle, composti dai 36 lanciati e tutti operativi, a cui si aggiungono 24 tracker giunti dal tratto a monte e da quello centrale.

Per il dettaglio dei tracker operativi si rimanda all'Allegato 2.

Sulla base di questi valori sono state calcolate le percentuali dei tracker incagliati rispetto al totale di quelli operativi ed è stata definita una **soglia minima di accumulo pari a 10 %**, determinata dalla percentuale calcolata nella tratta, più limitante, ovvero quella a monte che è contraddistinta dal minor numero di tracker passati. Tutte le celle la cui percentuale di sosta (% tracker incagliati per più di 10 giorni sul totale dei tracker transitati nella tratta) è uguale o maggiore alla soglia minima di 10, sono state definite come *zone di accumulo*.

Con questa elaborazione sono state identificate **8 zone di accumulo su tutta l'asta fluviale**, in particolare 4 nel tratto a monte, 2 nel tratto centrale, e 2 nel tratto a valle. Sono state inoltre rilevate 7 aree che, pur non superando la soglia minima di accumulo, hanno riscontrato un elevato numero di tracker incagliati ($5\% < \text{percentuale di accumulo} < 10\%$). Le prime sono rappresentate in rosso in Figura 86, le seconde in giallo.

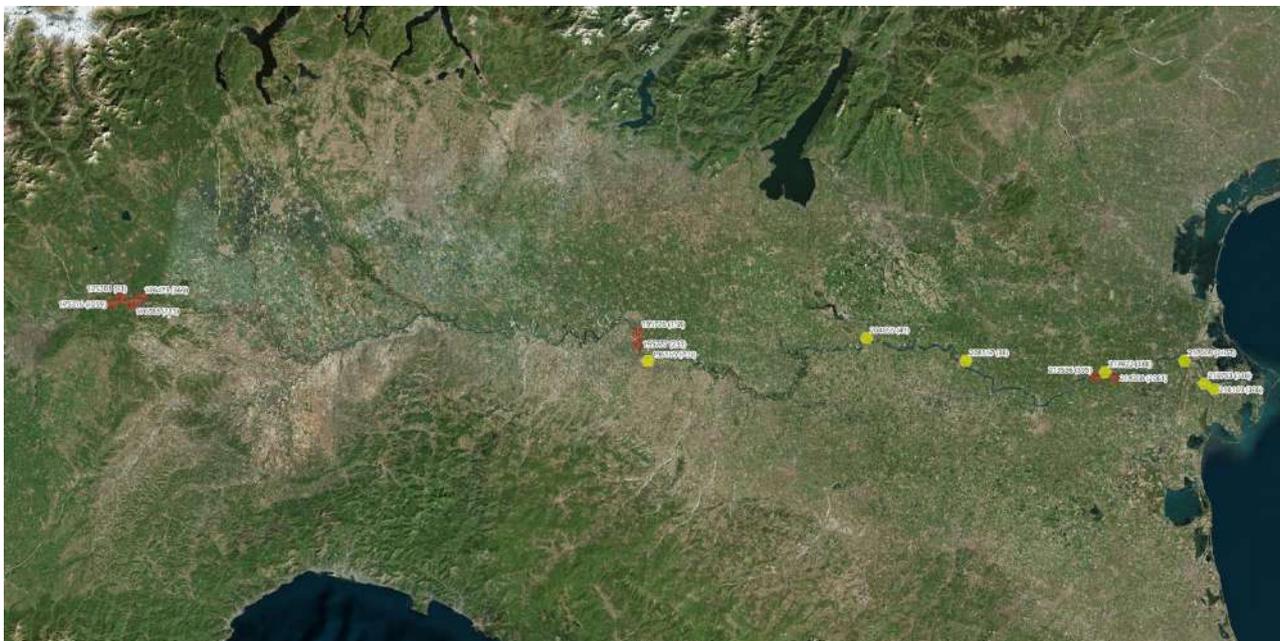


Figura 19. Zone di accumulo con percentuale di accumulo uguale o superiore alla soglia minima 10% (rosso) e zone con percentuale di accumulo maggiore di 5% (giallo) identificate lungo tutta l'asta del fiume Po

Di seguito si riportano le aree di accumulo suddivise per le tre tratte fluviali. La rappresentazione in maggiore scala delle celle identificate come zone di accumulo e la distribuzione spaziale di provenienza dei segnali al loro interno è riportata, sia con mappe cartografiche che satellitari, in Allegato 5. I numeri tra parentesi indicano le percentuali di accumulo:

- 4 zone di accumulo nel tratto a monte (Figura 87):
 - cella 175316 (35%), in località San Sebastiano Po - Verolengo (TO)
 - cella 176088 (20%), in località Brusasco (TO)
 - cella 175701 (10%), in località Verolengo - Borgo Revel (TO)
 - cella 176473 (10%), in località Crescentino (VC)



Figura 20. Zone di accumulo (cella 175316, 175701, 176088, 176473) identificate nel tratto a monte tra Torino e Isola Serafini (PC).

- 2 zone di accumulo nel tratto Centrale (Figura 88):
 - cella 195776 (20%) in località Gerre De' Caprioli (CR)
 - cella 195777 (13,33%) in località Villanova sull'Arda (PC).



Figura 21. Zone di accumulo (cella 195776, 195777) identificate nel tratto centrale tra Isola Serafini (PC) e Pontelagoscuro (FE)

- 2 zone di accumulo nel tratto a valle (Figura 89):
 - cella 214308 (16,67%), in località Cologna (FE)
 - cella 213536 (13,33%), in località Alberone (RO).



Figura 22. Zone di accumulo (cella 214308, 213536) identificate nel tratto a valle tra Pontelagoscuro (FE) e la foce del fiume Po

Dall'osservazione delle immagini satellitari delle zone di accumulo identificate e dalla distribuzione spaziale di provenienza dei segnali al loro interno (Allegato 5), emerge che le principali cause d'arresto sono rappresentate dall'intrappolamento nella vegetazione riparia e nel deposito di ghiaie.

Sia nel tratto Centrale che nel tratto a valle, sono state rilevate alcune celle in cui, nonostante non sia stata raggiunta la soglia minima di accumulo, è stato riscontrato un numero elevato di tracker che si sono fermati per un tempo uguale o maggiore a 10 giorni, mostrando una percentuale di accumulo compresa tra 5% e 10%:

1. cella 217009 (a valle) in località Cavanella Po (RO) - Ca' Zen (Taglio di Po) (RO);
2. cella 218169 (a valle) in località Ca' Tiepolo (RO);
3. cella 213922 (a valle) in località Crespino (RO);
4. cella 217783 (a valle) in località Ca' Tiepolo (RO);
5. cella 208517 (centrale) in località Sermide (MN);
6. cella 204655 (centrale) in località Bagnolo San Vito (MN);
7. cella 196165 (centrale) in località Polesine Parmense (PR).

Le prime due hanno una percentuale di accumulo di 8,33% e le altre di 6,67%.

Queste celle sono raffigurate in giallo in Figura 90 e il loro dettaglio è riportato in Allegato 5.



Figura 23. Zone con percentuale di accumulo compreso tra 5% e il 10%, identificate nei tre tratti del fiume Po

Considerazioni conclusive

La ricerca inerente al trasporto dei rifiuti di plastica da parte dei fiumi è una disciplina ancora giovane (i primi studi sono successivi al 2010) e la comprensione dei comportamenti delle macroplastiche che finiscono nei corsi d'acqua è ancora incompleta e costituisce l'oggetto di numerose ricerche (van Emmerik&Schwarz, 2019).

La sperimentazione compiuta nell'ambito di questo progetto ha voluto creare un primo inquadramento conoscitivo relativo al Po ma ha fornito anche elementi interessanti a livello generale. L'analisi delle dinamiche di trasporto dei tracciatori ha evidenziato, infatti, alcuni aspetti degni d'attenzione per una migliore comprensione del fenomeno del *plastic litter*.

Il primo dato che emerge è il numero limitato di tracker giunti fino al mare: meno del 15 % è infatti arrivato in Adriatico mentre gli altri hanno compiuto spostamenti variabili da poche centinaia di metri a centinaia di chilometri ma alla fine del progetto erano ancora fermi lungo l'alveo. Nella maggior parte dei casi gli oggetti sono rimasti intrappolati nella vegetazione ripariale mentre in misura minore si sono arrestati lungo barre fluviali e aree di emersione dell'alveo.

La ricerca ha consentito di identificare alcuni siti caratterizzati dalla sosta di un numero elevato di tracciatori o dalla permanenza prolungata di alcuni di essi. Tali siti costituiscono potenziali zone d'accumulo e rappresentano gli ambiti su cui concentrare in maniera prioritaria le azioni di controllo e di eventuale rimozione. Sono state individuate 8 aree di accumulo principali e 7 secondarie che, pur non avendo raggiunto la soglia di accumulo minima, hanno comunque registrato un'alta percentuale di tracker fermi per lunghi periodi di tempo. È consigliabile effettuare sopralluoghi in queste aree, al fine di verificare la presenza effettiva di rifiuti plastici e, in caso, organizzare azioni di recupero di tali materiali prima che raggiungano il mare.

Più in generale, sarebbe utile una verifica di queste informazioni in presenza di condizioni idrologiche meno anomale di quelle verificatesi durante questa sperimentazione, per accertare che – fatte salve le variazioni che possono essere indotte dalle naturali dinamiche geomorfologiche, che ad esempio possono portare alla comparsa di nuove barre e isole - le aree di accumulo identificate nel progetto siano effettivamente i siti in cui più frequentemente si arrestano e sostano i rifiuti di plastica.

Durante lo svolgimento del progetto si è infatti verificato un lungo periodo di magra idrologica che ha contribuito alla ridotta mobilità dei tracker e quindi alla localizzazione di un minor numero di zone di potenziale accumulo. In riferimento al primo aspetto è però significativo che anche in corrispondenza dei sensibili aumenti delle portate registrati a maggio 2023, non si è verificata una massiccia rimobilizzazione dei tracker fermi poiché la maggior parte di quelli lanciati si sono arrestati nella vegetazione.

L'analisi sulle dinamiche di spostamento dei tracciatori rilasciati durante l'evento di maggio 2023 non ha evidenziato tendenze univoche. I dispositivi si sono mossi con modalità molto differenti e hanno avuto tempi di sosta non comparabili, condizioni che non consentono l'identificazione di comportamenti prevedibili e catalogabili.

Si è evidenziata una correlazione positiva tra l'incremento della portata e la velocità di spostamento dei tracciatori. Ciò è verosimilmente dovuto al fatto che in occasione di un accrescimento della portata si determina anche un contemporaneo aumento della velocità dell'acqua, che – come riportato anche da altri studi (van Emmerik&Schwarz, 2019) – è il fattore che maggiormente incide sulla rapidità di trasporto e sulla distanza che compie la maggior parte dei rifiuti di plastica. Per alcune tipologie – quali ad esempio il polistirolo – è da considerare anche l'effetto dovuto alla velocità del vento, che incrementa la facilità di spostamento e tende a favorire l'accumulo lungo le rive (Corcoran, 2015).

Non sono invece emerse evidenze riguardo all'individuazione di portate che certamente determinano una movimentazione continua dei rifiuti. Si è visto, infatti, che anche in occasione degli eventi in cui si sono registrati i valori più elevati, i tracciatori hanno compiuto tragitti di lunghezza variabile per poi arrestarsi lungo le sponde. È quanto avvenuto, ad esempio, a maggio 2023, allorché solo uno dei 15 tracker lanciati nella stazione più a valle è giunto fino al mare, mentre gli altri sono rimasti intrappolati nella vegetazione della zona di foce. Per accertare la veridicità di tale fenomeno, è utile ripetere in futuro la sperimentazione in presenza di portate anche molto superiori a quelle verificatesi durante lo svolgimento di questo progetto.

2.4 INDIVIDUAZIONE E MONITORAGGIO DI *FLOATING PLASTIC LITTER* MEDIANTE ANALISI SPETTRALE DI DATI SATELLITARI

Metodi

Le moderne tecniche di analisi dei dati acquisiti mediante telerilevamento (*remote sensing*) satellitare offrono la possibilità di determinare le informazioni di riflettanza multi-spettrale che caratterizzano uno specifico pixel dell'immagine osservata. Sulla base delle proprietà di riflettanza è possibile discriminare differenti tipologie di materiali considerandone le relative firme spettrali.

La sperimentazione descritta in questa relazione ha l'obiettivo di verificare l'efficacia dei dati satellitari e delle tecniche di analisi spettrali ad oggi disponibili nel riconoscimento di rifiuti plastici dispersi nei corsi d'acqua. Nello specifico, l'interesse è rivolto all'individuazione delle macroplastiche flottanti che vengono trasportate nel canale bagnato di un fiume. Il caso studio considerato è rappresentato dal fiume Po.

I risultati recentemente ottenuti da Biermann et al. (2020), mediante una sperimentazione condotta in ambito marino e costiero utilizzando immagini fornite dai satellitari Sentinel 2 (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>), dimostrano come la distinzione tra acqua, plastica e vegetazione sia possibile specialmente considerando i differenti picchi di riflettanza caratteristici dei tre materiali nella lunghezza d'onda di 840 nm, la quale corrisponde all'infrarosso vicino. Questa differenza nei picchi di riflettanza è mostrata in Figura 91.

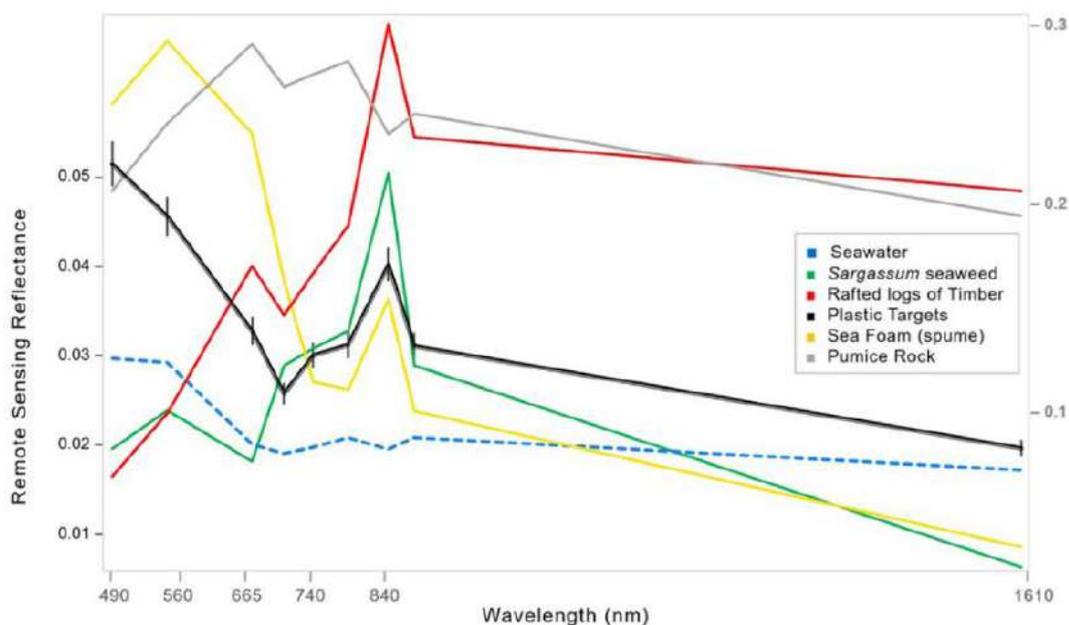


Figura 241. Firme spettrali dei materiali considerati da Biermann et al. (2020). Si possono osservare i 3 picchi di riflettanza alla lunghezza d'onda di 840nm i quali permettono la distinzione tra acqua (linea blu tratteggiata), plastica e legno. Tale studio fornisce una prima base scientifica che ha ispirato la presente sperimentazione.

Sulla base delle conoscenze pregresse disponibili in letteratura, ci si aspetta quindi di poter individuare i detriti plastici e legnosi galleggianti all'interno del canale bagnato del fiume Po mediante l'analisi dei dati acquisiti da Sentinel 2. Fra le complicazioni che necessitano di essere tenute in debito conto per tale applicazione in ambito fluviale, si segnala che eventuali detriti flottanti possono

essere di tipo multifasico e quindi contenere diverse tipologie di materiali (ad esempio zattere galleggianti di detrito legnoso misto a rifiuti plastici) il cui contributo di riflettanza andrà ad influenzare la firma spettrale finale. Inoltre, un'altra componente a cui prestare particolare attenzione riguarda la torbidità dell'acqua indotta dal sedimento in sospensione e tipica dei contesti fluviali, che può attivamente influenzare la firma spettrale, aumentandone i rispettivi valori di riflettanza nell'infrarosso vicino e quindi rendendo più ardua la distinzione tra materiali flottanti e acqua.

Il progetto si è quindi concentrato sulla possibilità di rilevare anomalie della riflettanza nell'infrarosso nelle immagini fornite dal satellite Sentinel 2 e successivamente procedere alla caratterizzazione di tali anomalie per il riconoscimento di rifiuti plastici.

Nei contesti fluviali, rispetto a quelli marini (Biermann et al. 2020), il principale limite è dato dalla relativamente bassa risoluzione spaziale dei dati Sentinel (10 m pixel nel visibile e infrarosso vicino) che non consente di monitorare rifiuti plastici di ridotte dimensioni in alvei fluviali di larghezze inferiori ai 30-50 m. In questo contesto diventa fondamentale determinare la dimensione minima dei rifiuti plastici, eventualmente misti a vegetazione, riconoscibili da satellite.

Un'ulteriore problematica sorge sulla verità a terra, ovvero sulla verifica che le eventuali anomalie spettrali rilevate attraverso le immagini satellitari all'interno del canale bagnato del fiume Po corrispondano effettivamente a materiale flottante all'interno dell'alveo. Infatti, la validazione basata su zattere "naturali" realmente flottanti nel corso d'acqua risulta un'operazione molto complicata ed onerosa. Per questo motivo si è resa necessaria l'installazione di due zattere galleggianti sperimentali aventi posizione, dimensioni e composizione note. Questa operazione ha consentito il monitoraggio temporale delle firme spettrali e la verifica del limite di rilevabilità di tali materiali galleggianti.

Ulteriori indagini sono state effettuate anche mediante satelliti commerciali con elevata risoluzione spaziale (nell'ordine di alcuni metri per pixel) in modo tale da poter validare e confermare il riconoscimento delle zattere eseguito mediante dati Sentinel 2.

Risultati

INSTALLAZIONE ZATTERE

L'area di installazione delle zattere è situata presso la ex cava Ronchetto di Motta Baluffi (CR, Italia), mostrata in Figura 92.



Figura 92. Localizzazione a grande scala dell'aera studio. Il rettangolo rosso indica la zona di installazione delle zattere

La cava ha una superficie totale di circa 150.000 m² ed essendo collegata al fiume Po, il livello dell'acqua nella cava, dipende dal livello idrometrico del fiume. La torbidità dell'acqua invasata nell'ex cava è, quindi, in parte influenzata dalla componente solida in sospensione trasportata dal fiume Po.

Tramite rilievi GPS, eseguiti mediante GPS differenziale ad alta precisione, è stata definita la posizione delle due zattere e la relativa area studio che ha un'estensione di circa 25.000 m² (110 m X 228 m; rettangolo rosso in Figura 93).



Figura 93. Area studio. Il rettangolo di colore rosso delimita l'area sottoposta alle analisi, mentre i punti di colore blu corrispondono ai punti GPS RTK della zattera di sola plastica, quelli rossi alla zattera di plastica con vegetazione.

L'area studio è interamente costituita da acqua o da acqua coperta dalle zattere flottanti, escludendo aree a terra coperte da vegetazione e dai campi circostanti la lanca. Tale scelta risulta fondamentale per includere nelle analisi spettrali solo (i) acqua, (ii) plastica flottante e (iii) vegetazione più plastica flottante.

La prima zattera installata nell'area studio è costituita solamente da materiale plastico. La sua realizzazione ha previsto l'utilizzo di tubi in plastica con diametro di 40 mm (Figura 95) per la costruzione di una cornice galleggiante all'interno della quale collocare i rifiuti plastici (sacchetti agricoli, bottiglie, polistirolo, ecc.). La dimensione della zattera è di 10m x 15m, quindi la superficie è circa 150 m². Tale dimensione è stata scelta in funzione della risoluzione dei dati spaziali di Sentinel 2, infatti un pixel corrisponde a 100 m². L'esperimento mira a verificare se anche una quantità di plastica minima e che spazialmente occupa una porzione di uno, al massimo due pixel di Sentinel 2, è sufficiente ad influenzare il rispettivo segnale radiometrico.

Inoltre, la zattera di plastica è stata progettata per essere il più simile possibile ai casi reali. Si è prestata infatti particolare attenzione alla densità spaziale degli elementi plastici contenuti all'interno dell'installazione.

La sua costruzione ha previsto un assemblaggio dei singoli elementi a terra con successivo rilascio in acqua e, una volta trasportata mediante un'imbarcazione fino al punto di installazione prescelto all'interno della cava, ancorata al fondale attraverso delle zavorre in cemento che ne garantissero la stabilità di posizionamento.

Successivamente all'installazione e all'ancoraggio, si è reso necessario effettuare il rilievo GPS dei quattro vertici tramite un GPS RTK ad elevata precisione (errore centimetrico sulla misura). Questa operazione è stata effettuata per determinare la posizione della zattera in modo tale da poterne confermare l'eventuale riconoscibilità sulle immagini satellitari. Inoltre, sono stati applicati ai quattro vertici dei GPS con trasmissione della posizione giornaliera per il monitoraggio della posizione

esatta della zattera. L'installazione della prima zattera (Figura 94) è stata completata in data 23/09/2021.



Figura 254. Prima zattera. La superficie è di circa 150 m² e al suo interno è presente solamente materiale plastico

La seconda zattera, in Figura 96, installata in data 23/11/2021, ha le medesime dimensioni (circa 150 m²), ma si differenzia dalla prima in quanto costituita sia da materiale plastico che da materiale vegetale (rami, fogliame, ecc.). Anche in questo caso si è prestata molta attenzione alla densità e al rapporto tra materiale



Figura 95. Tubo in plastica da 40 mm

plastico e vegetazione, in modo tale da rendere l'installazione il più simile possibile al materiale flottante che naturalmente transita nel canale bagnato del fiume Po, soprattutto al verificarsi di adeguate condizioni idrometriche di morbida o piena. La zattera costituita da plastica frammista a vegetazione simula efficacemente la tipica modalità con cui i materiali flottanti si muovono all'interno di un fiume, ovvero in forma di ammassi costituiti da diversi materiali.

La struttura principale, diversamente dalla prima zattera, è stata costruita mediante tubi in PVC di diametro 100 mm (Figura 97), i quali conferiscono una maggiore rigidità alla struttura che mantiene quindi una forma planimetrica più regolare. Il processo costruttivo, di ancoraggio e rilievo dei punti GPS è stato identico a quello descritto per la prima zattera.

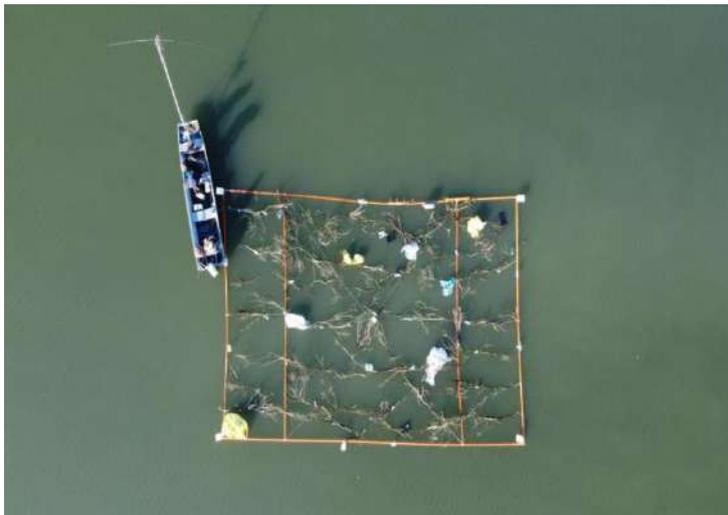


Figura 266. Seconda zattera. La superficie è di circa 150 m² e al suo interno è presente sia materiale plastico che vegetazione



Figura 97. Tubo in PVC da 100 mm

DATI SATELLITARI

Le immagini satellitari sono costituite da diverse bande spettrali, ognuna delle quali corrisponde ad una determinata lunghezza d'onda. Le modalità di acquisizione e la risoluzione spaziale e temporale del dato rilevato sono caratteristiche proprie di ciascun satellite e del sensore con cui è equipaggiato. Come anticipato nell'introduzione, la presente sperimentazione si è focalizzata sull'utilizzo di dati Sentinel 2 a cui si sono aggiunti dati acquisiti da altri due satelliti.

Il **satellite Sentinel 2**, sviluppato dall'ESA e lanciato nel 2015, restituisce immagini multispettrali a 13 bande con una risoluzione temporale di 5 giorni per l'Europa. Le immagini possono essere consultate e scaricate gratuitamente.

Come si può notare dalla Tabella 28, ogni banda è costituita da una diversa lunghezza d'onda e da una differente risoluzione spaziale. Le bande 1, 9 e 10 sono state escluse dalle analisi perché utilizzate per caratterizzazioni delle condizioni atmosferiche e quindi non necessarie per gli scopi della presente sperimentazione, mentre tutte le restanti bande con una risoluzione spaziale superiore a 10 metri/pixel sono state ricampionate, attraverso un algoritmo in Python, ad una risoluzione di 10 metri per ottenere uniformità in termini di risoluzione spaziale delle analisi.

Analizzando singolarmente le firme spettrali di acqua, plastica e vegetazione, Biermann et al. (2020) hanno evidenziato che la distinzione di tali materiali è massima alla lunghezza d'onda di 840 nm (Figura 91). La banda 8 del satellite Sentinel 2 che considera l'infrarosso vicino (NIR) risulta quindi la miglior candidata per il riconoscimento dei materiali investigati in questo studio.

Tabella 28. Caratteristiche Sentinel 2. Si possono osservare le 12 bande, ognuna delle quali comprende un range di lunghezze d'onda. Le bande 2, 3 e 4 corrispondono alle lunghezze d'onda dello spettro del visibile, mentre la banda 8 coincide con l'infrarosso.

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (µm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

PlanetScope è una costellazione di circa 130 satelliti in grado di fornire immagini dell'intera superficie terrestre con risoluzione temporale giornaliera. La risoluzione spaziale dei sensori installati sui satelliti Planet è pari a 3 metri. Planet rientra nella tipologia di satelliti commerciali e la consultazione e utilizzo delle relative immagini è fruibile a pagamento.

Le immagini Planet sono di tipo multispettrale a quattro bande (Tabella 29), con le prime tre bande (1, 2 e 3) nel campo del visibile e la quarta banda nell'infrarosso vicino (NIR). Anche in questo caso la banda più adatta alle analisi condotte è quella che comprende la lunghezza d'onda di 840 nm, quindi la banda 4.

Tabella 29. Caratteristiche PlanetScope, 4 bande, ognuna delle quali comprende un range di lunghezze d'onda.

PlanetScope Band	Spectrum Region	Wavelength (nm)	Spatial Resolution
Band_1	Blue	455–515	3 m
Band_2	Green	500–590	
Band_3	Red	590–670	
Band_4	NIR	780–860	

L'azienda **Planetek Italia s.r.l.** (<https://www.planetek.it>) è un distributore che fornisce immagini acquisite da vari satelliti commerciali: Maxar, Pleiades, OneAtlas Analytics, WorldView-3, WorldView-2, PlanetScope, COSMO-SkyMed, ecc.

Nel presente caso studio l'immagine fornita è di tipo multispettrale a 4 bande (3 bande nel visibile ed una nel NIR, analogamente alle immagini Planet) ed ha una risoluzione spaziale di circa 1.8 m/pixel.

Tutte le elaborazioni eseguite per ottenere i risultati seguenti sono state effettuate mediante il linguaggio di programmazione Python (Van Rossum and Drake, 1995), attraverso la piattaforma di Data Science Anaconda, mediante la multipiattaforma open source Spyder (Anaconda Software Distribution, 2020).

Le immagini satellitari del Sentinel 2 analizzate riguardano il periodo temporale che va dal 24/11/2021 al 02/03/2022 (Tabella 30). Non sono state utilizzate tutte le date disponibili perché alcune presentavano una copertura nuvolosa eccessiva ed altre valori di riflettanza anomali. In totale sono state quindi considerate 12 immagini.

Tabella 30. Intervallo temporale dei dati satellitari del Sentinel 2 analizzati. La colonna "% Cloud Coverage" indica la percentuale di copertura nuvolosa presente nell'immagine scaricata

-	Dates	% Cloud Coverage	Analyzed
1	24/11/2021	20	Yes
2	29/11/2021	20	Yes
3	07/12/2021	20	Yes
4	12/12/2021	20	Yes
5	11/01/2022	20	Yes
6	13/01/2022	20	Yes
7	02/02/2022	20	Yes
8	07/02/2022	20	Yes
9	12/02/2022	50	Yes
10	25/02/2022	50	Yes
11	27/02/2022	20	Yes
12	02/03/2022	50	Yes

L'analisi temporale della riflettanza è stata incentrata sulla lunghezza d'onda di 840 nm (Biermann et al., 2020) e quindi con il solo utilizzo della banda 08 di Sentinel 2. Si è proceduto con il ritaglio dei Tiles originali disponibili (che hanno dimensioni pari a 100 km X 100 km) secondo l'estensione dell'area studio considerata in questa sperimentazione (25.000 m² circa).

Durante l'esecuzione del ritaglio, effettuato con un algoritmo presente nella libreria Rasterio (Gillies, 2013), si possono generare degli artefatti che corrispondono a pixel con valore zero nella parte più esterna della matrice in Figura 98.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	0	0	0	0	0	0	0	94	83	81	88	87	77	71	75	65	93	68	85	63	73	84	111	0
1	78	90	76	78	76	63	51	62	74	90	90	88	86	72	76	69	68	87	92	73	76	103	117	0
2	75	84	87	85	73	76	71	53	92	82	81	62	62	57	73	82	68	88	61	66	100	92	87	0
3	98	72	80	75	79	85	124	112	82	72	93	76	73	69	74	65	67	80	64	84	103	64	98	0
4	77	56	88	82	62	78	130	139	63	68	91	77	76	75	62	64	77	90	61	43	74	65	101	0
5	100	66	71	78	75	84	82	83	58	69	97	76	57	75	72	60	84	84	131	111	79	95	81	0
6	94	75	73	90	75	85	60	63	69	59	64	34	83	57	73	76	80	91	167	158	98	95	86	0
7	85	85	54	95	88	82	72	85	78	62	71	40	103	48	79	93	57	87	117	97	94	126	110	0
8	76	83	94	90	66	79	78	75	70	64	95	62	71	63	82	86	48	81	65	78	108	118	99	0
9	80	106	91	74	76	76	44	83	81	63	77	73	73	81	80	77	59	58	73	82	115	99	84	0
10	0	76	74	75	57	70	83	78	62	64	80	85	67	50	73	102	90	78	80	69	85	84	80	0
11	0	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 98. Matrice con dimensione 12X24. Ciascuna cella corrisponde ad un pixel di Sentinel 2 (10 m*10 m), quindi la superficie è pari a 28.800 m² (12X24X10 mX10 m). Si può notare, soprattutto nella parte più esterna della matrice, la presenza degli outlier (valori = 0) generati dalla funzione ritaglio

Questi outlier sono stati eliminati con una funzione della libreria NumPy (Harris et al., 2020), che maschera gli zeri in prossimità della zona di ritaglio, ottenendo così un'area finale di 22.000 m² [(10X10 m) X (10X22 m)], in Figura 99.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0	90	76	78	76	63	51	62	74	90	90	88	86	72	76	69	68	87	92	73	76	103	117
1	84	87	85	73	76	71	53	92	82	81	62	62	57	73	82	68	88	61	66	100	92	87
2	72	80	75	79	85	124	112	82	72	93	76	73	69	74	65	67	80	64	84	103	64	98
3	56	88	82	62	78	130	139	63	68	91	77	76	75	62	64	77	90	61	43	74	65	101
4	66	71	78	75	84	82	83	58	69	97	76	57	75	72	60	84	84	131	111	79	95	81
5	75	73	90	75	85	60	63	69	59	64	34	83	57	73	76	80	91	167	158	98	95	86
6	85	54	95	88	82	72	85	78	62	71	40	103	48	79	93	57	87	117	97	94	126	110
7	83	94	90	66	79	78	75	70	64	95	62	71	63	82	86	48	81	65	78	108	118	99
8	106	91	74	76	76	44	83	81	63	77	73	73	81	80	77	59	58	73	82	115	99	84
9	76	74	75	57	70	83	78	62	64	80	85	67	50	73	102	90	78	80	69	85	84	80

Figura 99. Matrice con dimensione 10*22. La diminuzione delle righe e colonne è dovuta alla maschera che ha eliminato gli outlier, che ha ridotto la superficie finale della matrice e quindi dell'area sulla quale vengono effettuate le analisi a 22.000 m².

In Figura 100 si possono osservare 12 subplots, ognuno dei quali corrisponde ai valori di riflettanza della banda 08 all'interno dell'area studio di 22.000 m² per ciascuna data. Al loro interno sono stati rilevati due picchi con diversi valori riflettanza. Si nota come il picco maggiore corrisponda sempre alla seconda zattera, verosimilmente a causa della miscela della firma spettrale di plastica e vegetazione in grado di aumentare la riflettanza in modo marcato.

Considerando la posizione delle zattere fornita dai punti GPS, si può confermare che le anomalie di riflettanza corrispondano effettivamente alle due zattere, che per le 12 date analizzate risultano sempre rilevabili e distinguibili dai restanti pixel corrispondenti ad acqua (Figura 100). In figura 100, i punti in rosso e verde indicano le posizioni GPS rilevate delle due zattere. Si può notare che per ogni data vi sono due picchi di riflettanza: il minore corrisponde alla zattera di sola plastica (indicate dai punti in verde), mentre il maggiore alla zattera contenente sia plastiche che vegetazione (indicata dai punti in rosso).

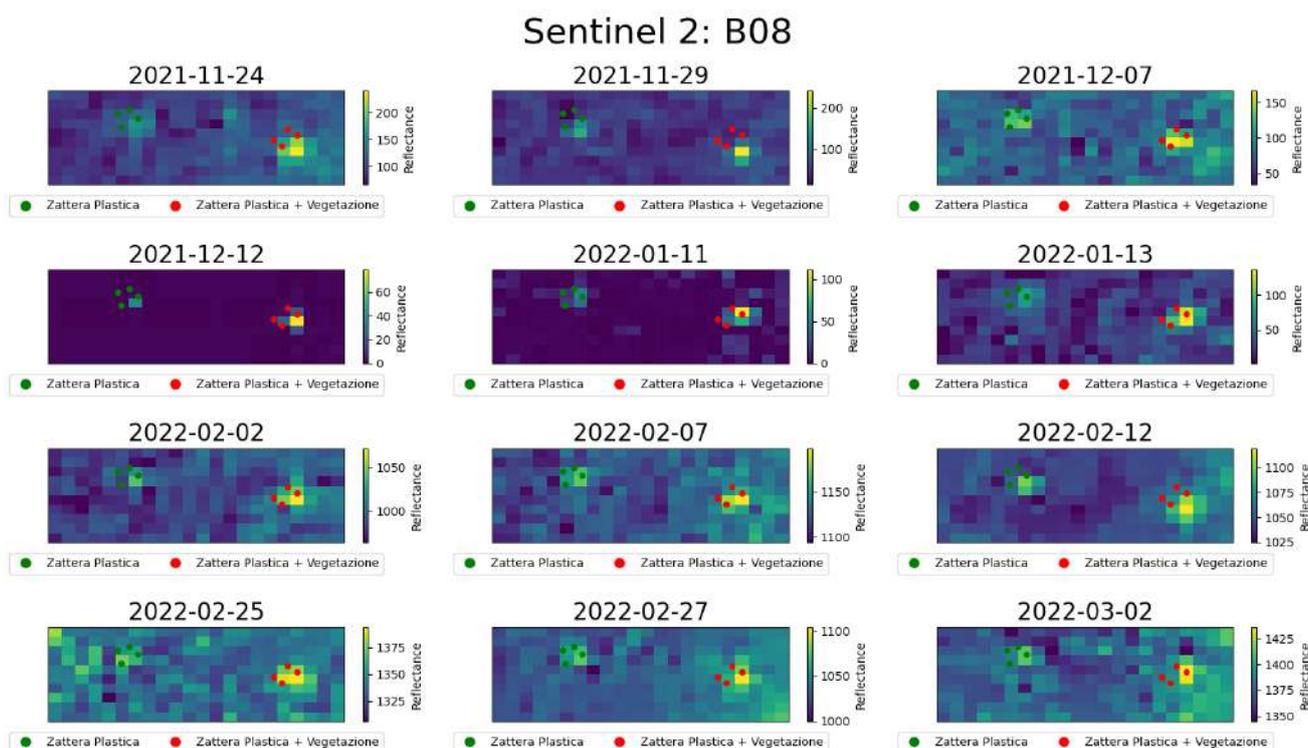


Figura 270. Analisi temporale dei raster Sentinel 2 per la sola banda 08.

Eventuali sfumature attorno ai valori più intensi dei pixel sono dovute al fatto che il pixel della banda 08 non si sovrappone perfettamente alla struttura della zattera e questo comporta un'influenza della firma spettrale nei pixel acqua circostanti. Inoltre, la differente posizione del massimo e delle relative sfumature nelle diverse date rispetto ai punti GPS, sono verosimilmente imputabili a due ragioni: i) allo spostamento delle zattere che, nonostante l'ancoraggio, sono soggette a spostamenti di alcuni metri, generati dalle variazioni del livello idrometrico e dal vento; ii) agli errori della georeferenziazione dei dati Sentinel 2 (Figura 101) rispetto ad un rilievo GPS con precisione centimetrica.

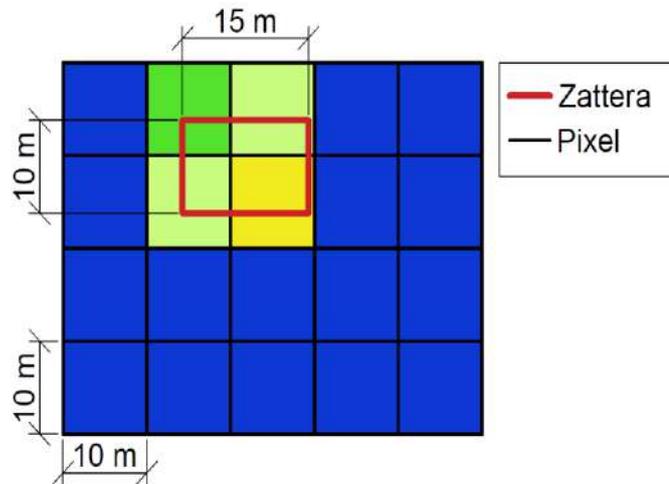


Figura 281. Influenza della firma spettrale dei pixel dell'immagine Sentinel 2 in relazione al posizionamento della zattera. La zattera, avendo valori di riflettanza maggiori rispetto ai pixel acqua circostanti (pixel in blu), genera delle sfumature che indicano quanto essa sia compresa all'interno dei pixel. In linea teorica, più la zattera sarà all'interno di un pixel, maggiore sarà il valore di riflettanza di quest'ultimo.

Con l'utilizzo di dati forniti da satelliti ad elevata risoluzione spaziale si sono effettuate ulteriori analisi di rilevabilità delle zattere.

Per le analisi Planet sono state utilizzate quattro immagini con risoluzione spaziale a 3 metri/pixel acquisite nell'intervallo temporale che va dal 01/12/2021 al 22/12/2021. La procedura di ritaglio e maschera degli outlier è la medesima di quella descritta per i raster di Sentinel 2.

Dai risultati delle analisi condotte si può osservare che il picco di riflettanza per le due zattere nell'infrarosso non è mai stato osservato; infatti, non si osservano anomalie nei valori di riflettanza e le due zattere non sono individuabili con questo satellite. (Figura 102).

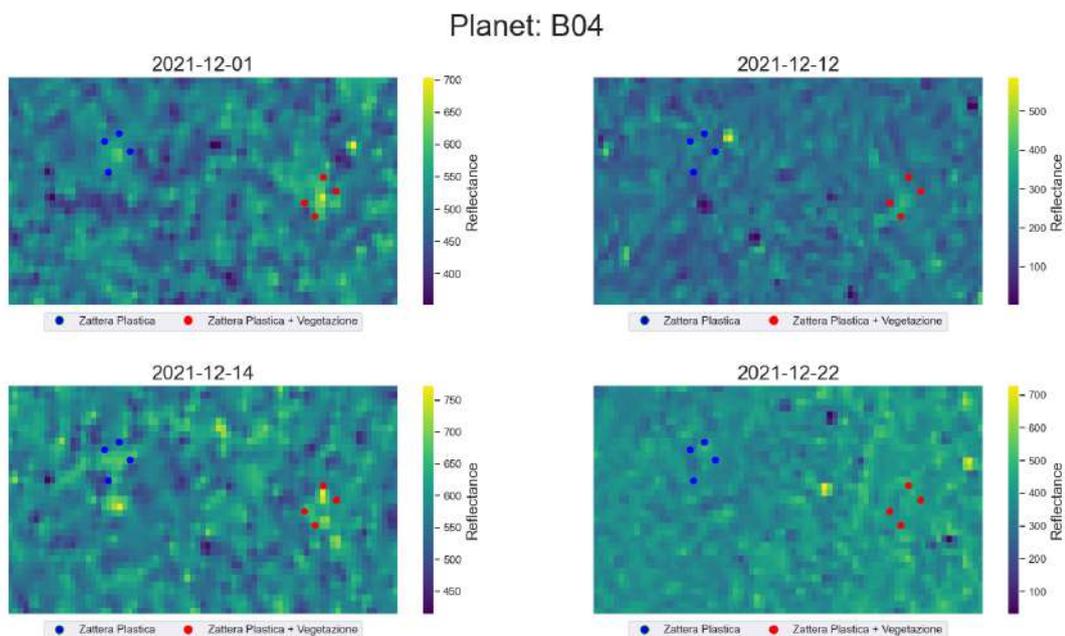


Figura 292. Analisi temporale dei raster Planet per la sola banda 04.

Questo preclude l'utilizzo di immagini Planet per la caratterizzazione e distinzione delle due zattere. Tale bassa efficacia delle immagini Planet nel riconoscere la presenza di materiale flottante potrebbe essere dovuta alle caratteristiche dei sensori installati sui satelliti della costellazione Planet. Questa però è solo un'ipotesi che richiede ulteriori riprove per essere confermata.

L'immagine Planetek con risoluzione spaziale a 1.8 m/pixel (Figura 103), processata analogamente a quanto dettagliatamente descritto per le immagini Sentinel 2, conferma la presenza delle due zattere che emettono un picco di riflettanza nell'infrarosso.

Planetek: B04

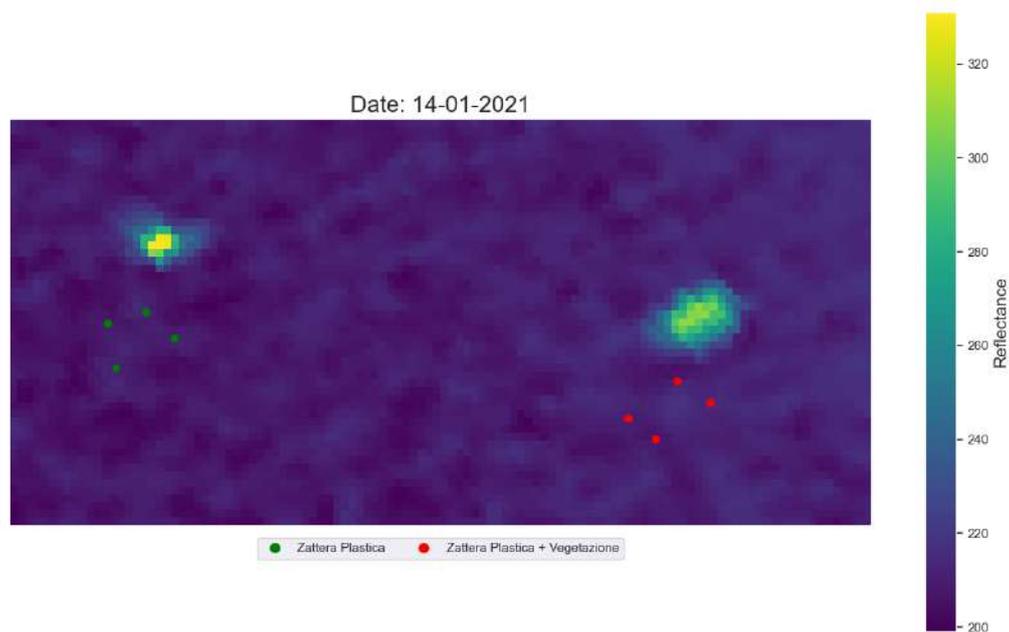


Figura 103. Analisi temporale dei raster Planetek per la sola banda 04

Infatti, in Figura 103 i punti in rosso e verde indicano le posizioni GPS rilevate delle due zattere. La mancata sovrapposizione alle anomalie è dovuta ad una non perfetta georeferenziazione dell'immagine satellitare disponibile. Si può notare che per ogni data vi sono due picchi di riflettanza: il minore corrisponde alla zattera di sola plastica (indicate dai punti in verde), mentre il maggiore alla zattera contenente sia plastiche che vegetazione (indicata dai punti in rosso).

Per l'analisi delle firme spettrali con immagini Sentinel 2 si è proceduto con la ricerca del massimo all'interno della banda 08. Conoscendo la posizione delle due zattere si è potuto dividere il raster dell'area studio in due parti, ognuna delle quali contiene una delle due zattere e quindi il picco di riflettanza nell'infrarosso relativo a ciascuna zattera, come mostrato in Figura 104. Mediante una funzione per la ricerca del massimo è stato possibile individuare i due picchi e applicare quindi una maschera di dimensioni 3 X 3 pixel, con un'area di 900 m² (10mX10mX3X3). Lo scopo della maschera è quello di considerare tutti i pixel possibilmente influenzati dalle firme spettrali delle due zattere, in modo tale da separare tali valori da quelli propri dei pixel costituiti da sola acqua. Le due maschere sono state poi applicate a tutte le restanti bande, utilizzando come riferimento gli indici della matrice.

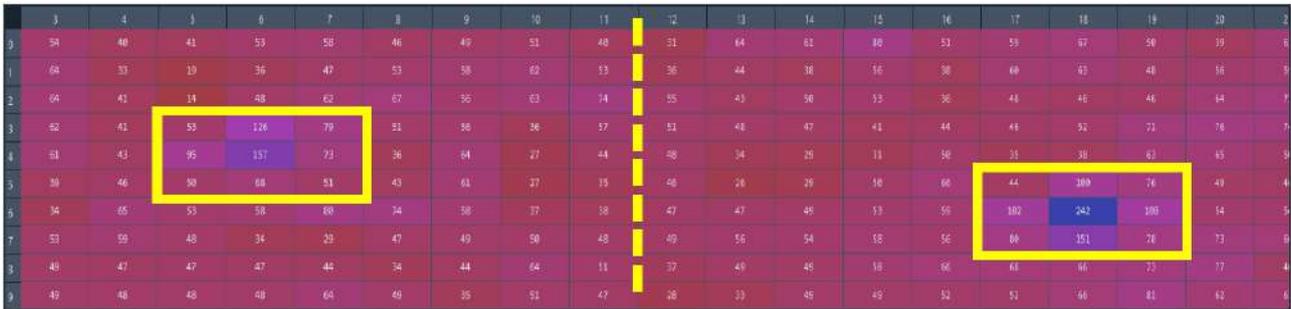


Figura 30. Segmentazione della matrice in due parti. I rettangoli gialli circondano i due picchi di anomalia nell'infrarosso che corrispondono alla posizione dei massimi delle due zattere.

Una volta applicata la maschera ad ogni banda per ciascuna data considerata, si è determinata la firma spettrale delle due zattere e dell'acqua per la serie temporale considerata.

Una prima analisi è stata effettuata sui massimi delle due zattere e sulla media dei pixel acqua. Tutti i grafici sono stati plottati attraverso la libreria Python Matplotlib (J. D. Hunter, 2007). Per il calcolo della media dei pixel acqua sono stati esclusi i valori di riflettanza dei pixel costituenti le due zattere (finestre da 9 pixel per zattera, si veda Figura 104).

Come si può osservare dalla Figura 105, le firme spettrali non sono uguali per tutte le date per via delle variazioni ambientali e di illuminazione locali e giornaliere. Nonostante la non costanza delle firme spettrali si ha un'ulteriore riconferma di quanto riportato in Figura 91 (Biermann et al., 2020): la banda 08 riesce a discriminare in modo più marcato rispetto alle altre bande le due zattere dall'acqua, conferendo maggiore intensità alla zattera che contiene plastica mista a vegetazione.

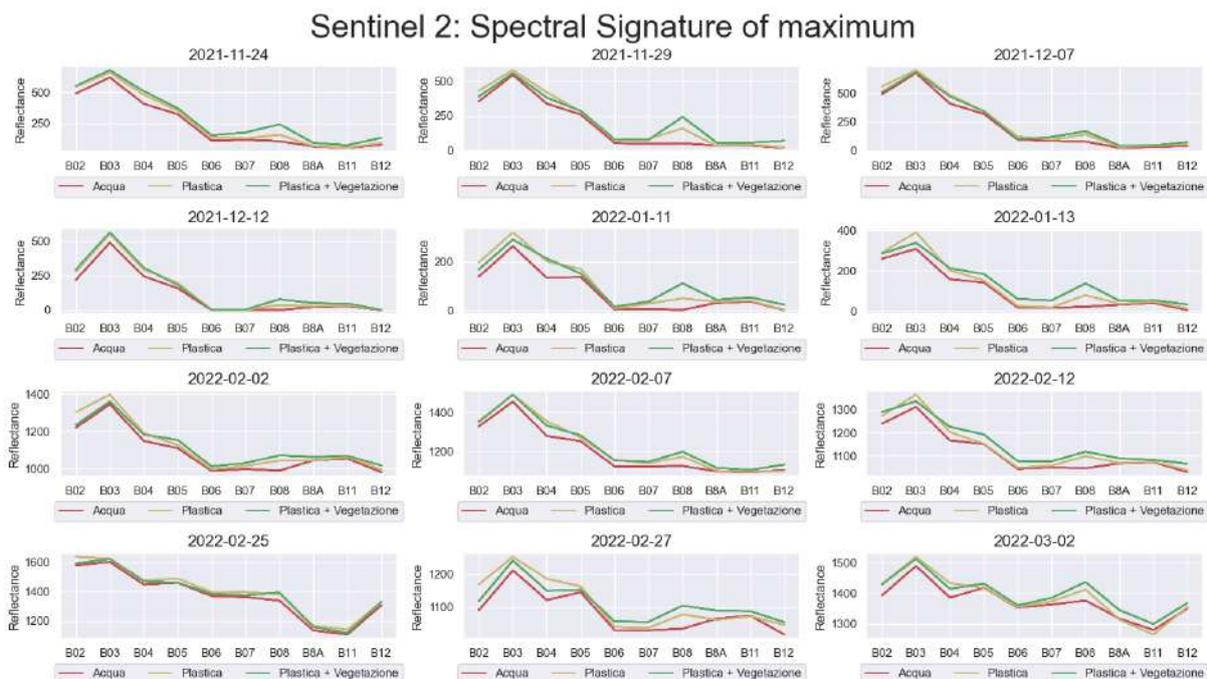


Figura 31. Firma spettrale dei massimi per ogni data. Sull'asse delle ascisse vi sono le 10 bande analizzate, mentre sull'asse delle ordinate si possono osservare i valori di riflettanza. Si può notare la costanza della banda B08 nel discriminare meglio rispetto alle altre bande tra acqua, plastica e plastica con vegetazione

Una seconda analisi è stata effettuata utilizzando le medie dei valori delle zattere. Il processo di elaborazione coincide con quello effettuato precedentemente, tranne per il fatto che, in questo caso, è stata utilizzata la media (e non il massimo) tra i nove valori di riflettanza dei pixel costituenti la maschera delle zattere. Il risultato atteso quindi avrà valori delle firme spettrali inferiori rispetto a Figura 105.

Come atteso, in Figura 106 si nota come i valori di riflettanza delle due zattere siano diminuiti di intensità rispetto a Figura 105, avvicinandosi così alla firma spettrale dell'acqua.

Nonostante la diluizione, la banda 08 riesce comunque a differenziare, anche se in modo minore, le zattere dai pixel acqua, mentre la distinzione tra le due zattere (plastica e plastica + vegetazione) risulta più ardua.

Sentinel 2: Spectral Signature of mean

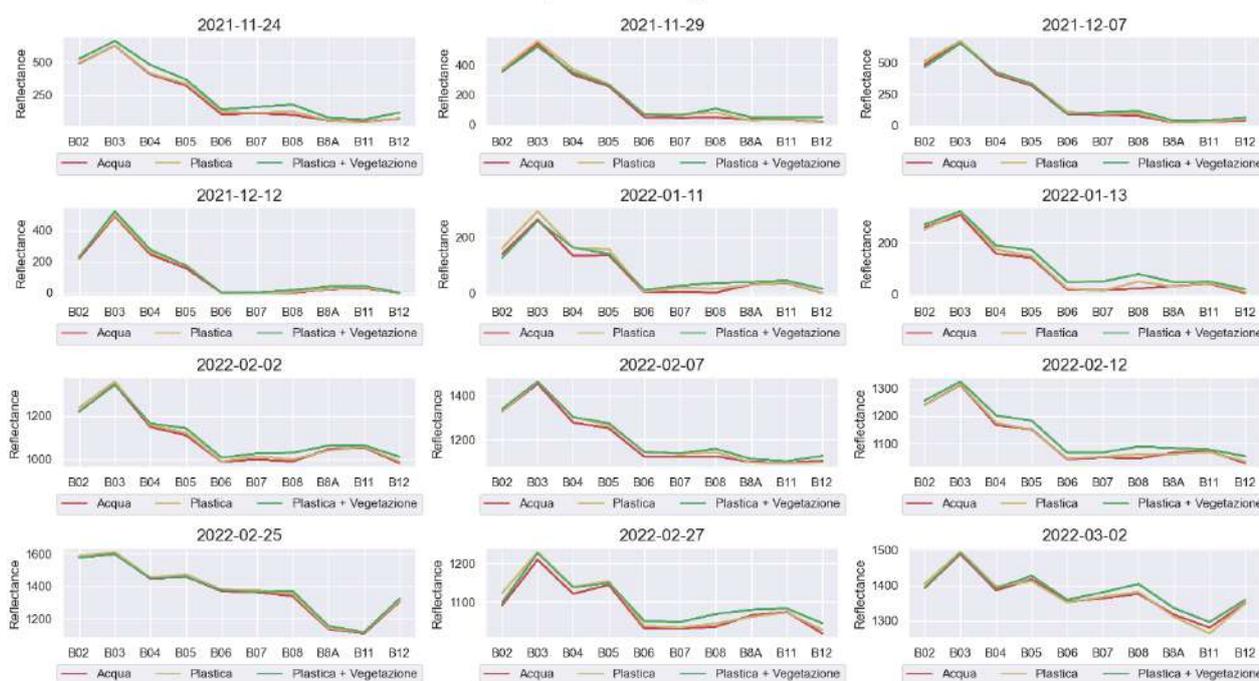


Figura 32. Firma spettrale dei valori medi per ogni data. Sull'asse delle ascisse vi sono le 10 bande analizzate, mentre sull'asse delle ordinate si possono osservare i valori di riflettanza. Nonostante vi sia una diluizione della firma spettrale dovuta all'utilizzo della media della matrice al posto dei massimi (Figura 104), si riescono comunque a distinguere acqua, plastica e plastica con vegetazione nella banda B08 per ogni data.

Dalle figure 105 e 106 emerge che le migliori bande per i fini della classificazione sono la B08 e la B11. Si è quindi proceduto ad analizzare ulteriormente i dati per queste bande mediante uno scatterogramma (Figura 107).

Per questa analisi al fine di confrontare le date tra di loro si è normalizzato i valori dei pixel dividendo per il valore medio dei pixel acqua e utilizzando per le zattere il valore massimo tra i rispettivi nove pixel della finestra che configura una zattera (si veda Figura 104).

In Figura 107 la zattera plastica è rappresentata con un triangolo rovesciato e la zattera plastica e vegetazione con un quadrato, a colori diversi si associano date diverse. I pixel acqua, indicati in questo grafico con una croce, sono riportati singolarmente perché si puntava ad analizzare la

dispersione dei pixel acqua rispetto ai valori massimi delle zattere. Entrambe le bande sono efficaci nel distinguere le due zattere nelle varie date. Infatti, come si evince dalla localizzazione delle zattere (quadrati e triangoli) nella parte in alto a destra nel grafico, sono chiaramente distinte dalla maggioranza dei pixel acqua (croci). Inoltre, leggendo il grafico per date (quindi leggendo solo i dati di uno stesso colore che contraddistingue una data), per la banda 08 i valori di riflettanza di tutti i pixel acqua sono sempre minori dei valori dei pixel delle zattere. La stessa cosa non è altrettanto evidente per la banda 11.

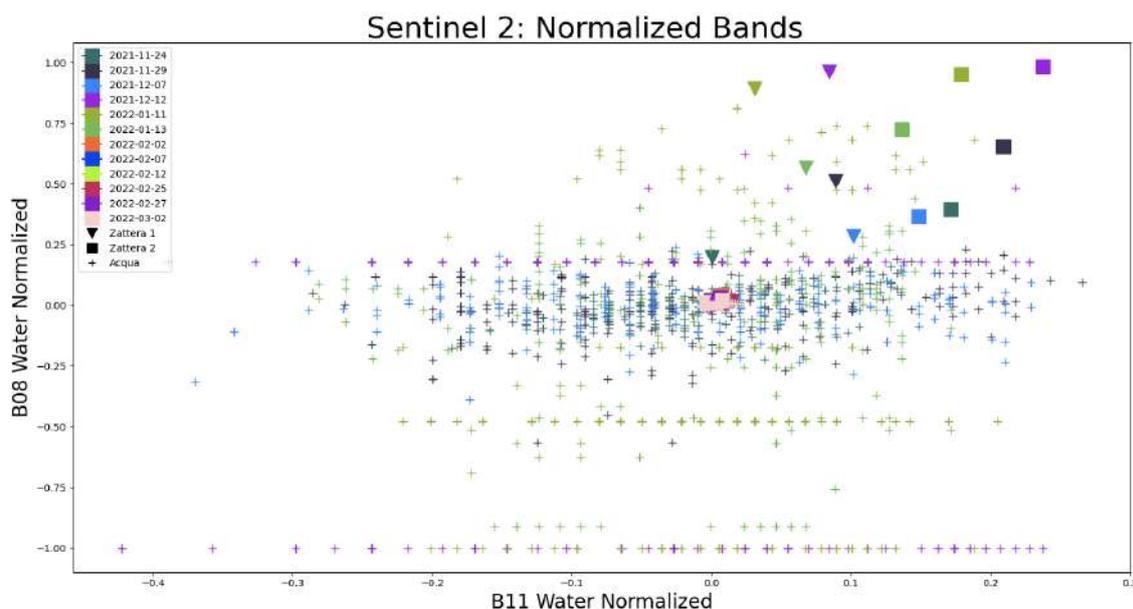


Figura 33. Scatterogramma della B08 vs B11. Entrambe le bande sono normalizzate con la media di riflettività dell'acqua. Osservando la banda B11 si può notare come sia in grado di differenziare molto bene le due zattere. La banda B08 non solo differenzia le due zattere ma anche i singoli pixel acqua hanno sempre riflettanza inferiore alle zattere.

Dai risultati ottenuti si evince che i valori di riflettanza nell'infrarosso vicino dell'acqua sono minori rispetto a quelli delle due zattere e la vegetazione presenta valori di riflettanza maggiori rispetto alla plastica. Questi risultati sono coerenti con quanto riportato nello studio di Biermann et al., (2020). Si è cercato quindi di stimare la robustezza di questa sequenza nelle varie date.

La sequenza di intensità di riflettanze da soddisfare secondo letteratura è:

Valore Max Zattera Plastica più Vegetazione > Valore Max Zattera Plastica > Valore medio Acqua

Per ogni data alle bande che soddisfano questa condizione verrà assegnato un valore pari ad 1, altrimenti zero. Dalla Figura 108 risulta, quindi, che più elevato è il valore della banda, fino ad un massimo pari al numero di date analizzate, migliore è la capacità di quella banda di garantire sempre la sequenza proposta.

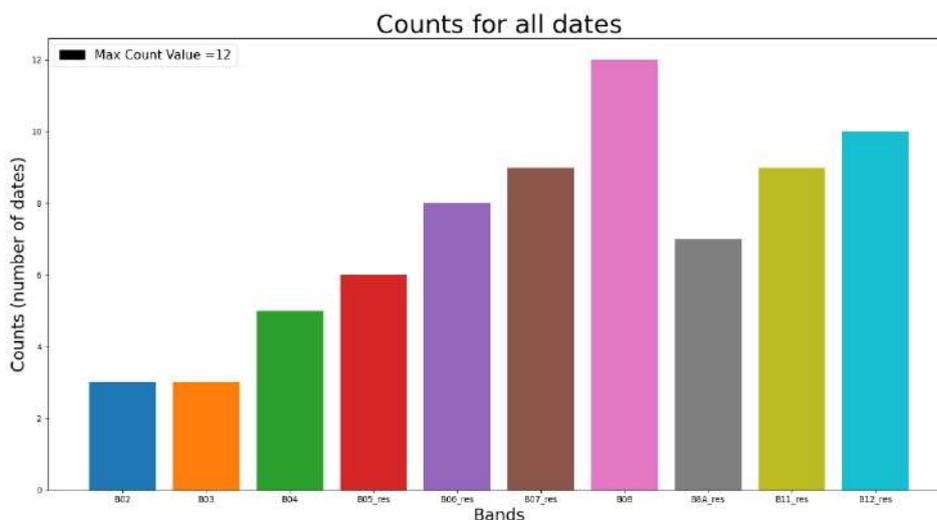


Figura 34. Istogramma Count Plot delle bande che soddisfano la sequenza di intensità di riflettanze attesa dalla bibliografia. Il valore massimo raggiungibile da ogni barra è pari al numero di date (12). La banda 08 è l'unica che soddisfa la sequenza attesa per tutte le date.

Per la presente sperimentazione, l'unica banda che soddisfa la sequenza attesa per tutte le data analizzate è la B08.

Per tutte le bande e date in cui la sequenza proposta è stata soddisfatta si è proceduto a verificare le differenze in termini percentuali di riflettanza tra le tre unità classificate: acqua, zattera plastica e zattera plastica e vegetazione. Più alte saranno le differenze spettrali, migliore sarà quella banda per un futuro classificatore.

In Tabella 31 sono rappresentate le differenze in percentuali medie di tutte le date che soddisfano la sequenza attesa (sopra descritta) per le varie bande. La seconda colonna, %Counts, riporta la % di date per ogni banda che hanno soddisfatto la sequenza attesa. La terza colonna riporta la differenza media in % (tra le varie date che hanno soddisfatto la sequenza) tra la riflettanza della zattera costituita da solo plastica e quella costituita da plastica + vegetazione. La quarta colonna è

Tabella 31. Differenze in percentuale per tutte le date e bande che soddisfano la sequenza attesa. Nella colonna "% Counts" possiamo osservare i valori in percentuale di quante date analizzate hanno soddisfatto la sequenza attesa. Nella colonna "% Max plastica VS plastica + vegetazione", sono contenuti i valori in percentuale della differenza in riflettanza tra i massimi delle due zattere. Nella colonna "% Max plastica VS media acqua" abbiamo il confronto tra il massimo della zattera di sola plastica e il valore medio dei pixel acqua.

Media delle differenze in % per tutte le date			
Bande	% Counts	% Max Plastica VS Plastica + Vegetazione	% Max Plastica VS Media Acqua
B02	25	2,1	14,3
B03	25	1,7	7,2
B04	41,6	4,6	24,3
B05_res	50	5,9	4,4
B06_res	66,6	44,8	26,7
B07_res	75	30,5	39,1
B08	100	37,1	635,9
B8A_res	58,3	33,1	11,3
B11_res	75	18,7	9,2
B12_res	83,3	118,4	27,5

calcolata come la terza, ma riporta la differenza di riflettanza tra la zattera di plastica e il valore medio riflettanza acqua.

Più elevati sono i valori in percentuale tra le due zattere e tra la zattera di sola plastica e l'acqua, maggiore è la possibilità della differenziazione degli elementi in esame. Si può notare che, come in tutte le analisi precedenti, la banda 08 si conferma nuovamente come la banda in grado di distinguere meglio tra le tre unità e secondo la sequenza attesa da letteratura.

Constatato che, mediante le precedenti analisi, la banda B08 è risultata la migliore per l'identificazione e caratterizzazione delle due zattere, si è proceduto con la normalizzazione dell'area di studio con la media dei pixel acqua delle rispettive date di acquisizione, secondo la seguente equazione:

$$B08_{norm} = \frac{B08 - \mu_w}{B08 + \mu_w}$$

Dove **B08** = valori di riflettanza della matrice nella banda B08 e μ_w = media dei pixel acqua.

La normalizzazione è finalizzata all'individuazione di anomalie nella banda B08.

Come si può osservare in Figura 109, la zattera costituita da plastica con vegetazione risulta coerentemente più marcata rispetto alla zattera con sola plastica, che risulta meno individuabile in alcune date (ad esempio in data 2022-02-25). Inoltre, si possono notare che ci sono delle anomalie in alcune date che non corrispondono alle zattere e la cui origine è al momento ignota. In ogni caso, anche un semplice indice di anomalia NIR come quello riportato in Figura 108 presenta della opportunità per identificare zattere galleggianti di legname e plastica.

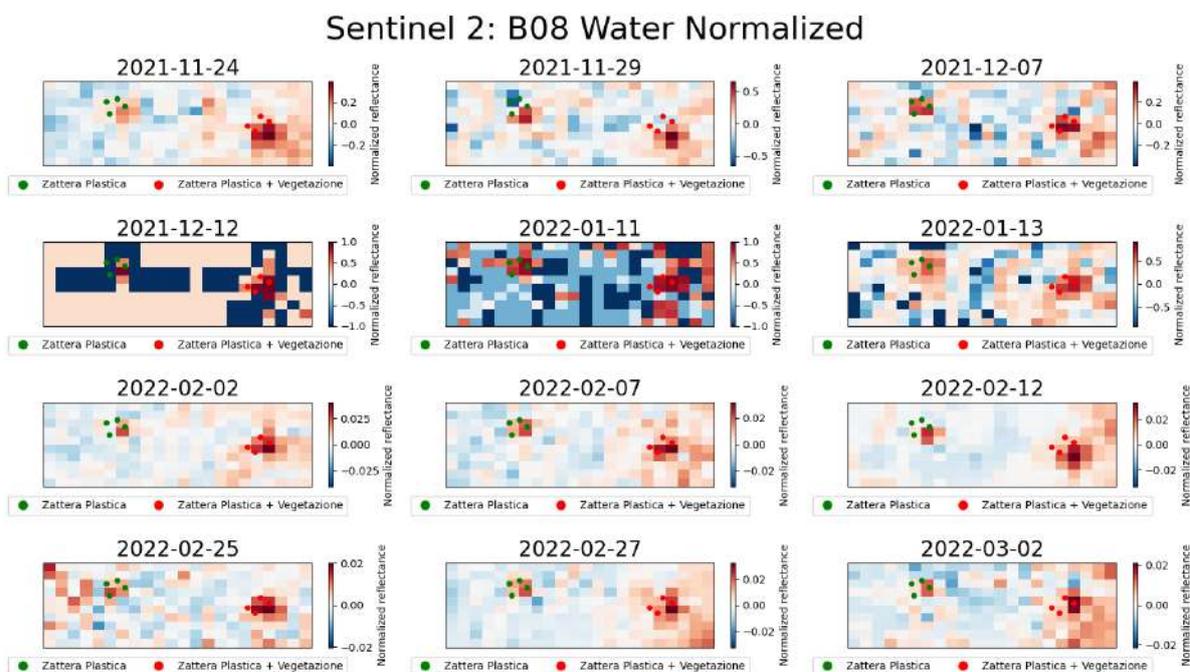


Figura 35. Indice di anomalia del NIR. I valori più elevati coincidono alle anomalie, che nella maggior parte dei casi corrispondono alle due zattere. I punti verdi e rossi corrispondono alle posizioni GPS delle due zattere.

VISIBILITÀ DELLE ISOLE: CONCLUSIONI

La rilevabilità di oggetti flottanti all'interno del canale bagnato del fiume Po mediante dati Sentinel 2 potrebbe essere potenzialmente limitata dalla relativamente bassa risoluzione spaziale delle immagini Sentinel 2, che rende ardua la ricerca di oggetti aventi una dimensione areale inferiore alla risoluzione spaziale dell'immagine (100 m^2). Inoltre, un ulteriore fattore di controllo sulla rilevabilità è dato dalla densità areale degli elementi flottanti. Le due zattere installate presso l'area studio della ex cava di Motta Baluffi (CR) sono caratterizzate da dimensione areale (150 m^2) di poco superiore a quella di un pixel delle immagini Sentinel 2 (100 m^2) e da una densità di materiale plastico o plastico e vegetale relativamente bassa (paragonabile a quella che si verifica in condizioni naturali nel canale bagnato di un fiume).

All'interno della presente sperimentazione, le due zattere di plastica e plastica e vegetazione sono risultate ben visibili e distinguibili dall'acqua circostante tramite l'osservazione e l'elaborazione dell'informazione spettrale del vicino infrarosso fornita da Sentinel 2. Un'ulteriore conferma di questo risultato si è raggiunto con l'acquisto delle immagini ad alta risoluzione Planetek. Queste, analogamente alle immagini Sentinel 2, presentano i due picchi di riflettanza nell'infrarosso vicino in corrispondenza della posizione di installazione delle zattere sperimentali. Tale conclusione, considerate le criticità sopra riassunte, risulta fortemente positivo e per niente scontato.

Diversamente, i dati satellitari di Planet non riescono attualmente a fornire informazioni sui picchi di riflettanza delle due zattere nell'infrarosso vicino, per questo motivo risultano inutilizzabile per i nostri scopi. Tale condizione potrebbe verosimilmente essere legata alla qualità dei sensori installati su tali satelliti o a operazioni di post-processing eseguite dai proprietari del dato. Al momento non è possibile verificare nessuna di queste ipotesi.

La sperimentazione eseguita conferma quindi la possibilità di utilizzare immagini Sentinel 2 e Planetek per il riconoscimento di detrito flottante in ambiente fluviale, costituito da legname e/o plastica, avente estensione areale di alcune decine di metri quadrati e densità relativamente ridotte.

Al contrario, è ancora incerta e necessita di ulteriori sperimentazioni la possibilità di stimare la probabilità di presenza specifica di plastica nel detrito multicomponente identificato da satellite. La difficile distinzione tra le zattere di sola plastica e di plastica con vegetazione non preclude allo stato attuale di ipotizzare lo sviluppo di un indice di anomalie del NIR per il riconoscimento ad ampia scala di detrito flottante, da applicare all'interno del canale bagnato del fiume Po. Non è possibile comunque ipotizzare se il classificatore lungo il Po possa funzionare con le stesse performance ottenute dalla sperimentazione effettuata nella cava. Gli eventuali risultati forniti dall'indice di anomalia del NIR, lungo l'alveo bagnato del fiume Po, dovranno essere validati a terra durante una fase di verifica per confermare o negare la presenza di zattere e riconoscere di quale materiale siano composte.

Applicazioni potenziali

I risultati positivi sopra riassunti sono stati impiegati quale base di partenza per lo sviluppo di una procedura finalizzata al riconoscimento ad ampia scala del detrito flottante, da applicare all'interno del canale bagnato del fiume Po. Considerando le difficoltà riscontrate nel corso della sperimentazione condotta durante la prima fase per la distinzione delle diverse tipologie di materiale flottante (plastica vs vegetazione) e che una parte consistente del rifiuto plastico si muove nei corsi d'acqua miscelato con la vegetazione (Schreyers et al., 2021, 2022a), formando anche grandi agglomerati soprattutto durante eventi di piena, la procedura si è concentrata sul riconoscimento generico di "materiale flottante" all'interno del canale bagnato. Tale materiale è quindi costituito essenzialmente da macro-plastiche, da detrito legnoso e vegetazione (Shumilova et al., 2019).

La ricerca di zattere naturali nel canale bagnato del fiume Po mediante immagini Sentinel 2, aventi una risoluzione geometrica relativamente bassa (10m X 10m a pixel), non permette di discriminare se i pixel appartengono realmente ad una zattera flottante rispetto all'acqua. Per questo motivo si è reso necessario investigare la reale presenza di materiale flottante attraverso immagini ad alta risoluzione geometrica, considerate quali "verità a terra". Le verità a terra devono essere però associate allo stesso momento temporale in cui è stata acquisita l'immagine satellitare, rendendo la procedura piuttosto complessa. Per questo motivo, la procedura si è focalizzata su luoghi in cui vi fosse un temporaneo accumulo di materiale flottante. La porzione di canale collocata immediatamente a monte delle pile di ponti in alveo ha costituito il luogo privilegiato ove condurre tali ricerche. Questo ha permesso di trovare la perfetta sovrapposizione temporale tra le immagini Sentinel 2, con un tempo di rivisitazione di cinque giorni, e le immagini ad alta risoluzione geometrica disponibili. Si è quindi effettuata una ricerca di fotografie in Google Maps, nella sezione "Immagini", in prossimità di ponti nei quali si riconoscesse la presenza di legname galleggiante bloccato in prossimità dei piloni e per le quali fosse nota la data di acquisizione.

Con la ricerca di materiale flottante lungo il fiume Po non ci si aspetta di ritrovare zattere composte puramente da plastica, ma si mira al monitoraggio di zattere composte anche da detrito legnoso e vegetazione. Queste rappresentano il principale veicolo di trasporto di materiali plastici (Schreyers et al., 2021, 2022a) e sono molto importanti a livello di processi geomorfologici fluviali, poiché i detriti legnosi sono componenti fondanti degli habitat ripariali, interagiscono con il trasposto solido e durante eventi intensi possono accumularsi e limitare la capacità portante dei fiumi soprattutto in prossimità di ponti e infrastrutture (Ravazzolo et al., 2015; Al-Zawaidah et al., 2021).

L'area di studio avente un'estensione areale complessiva di 8000 km², comprende l'asta principale del fiume Po per una lunghezza totale di circa 300 km da località Isola Serafini (PC) alla foce nel Mar Adriatico (Figura 110).

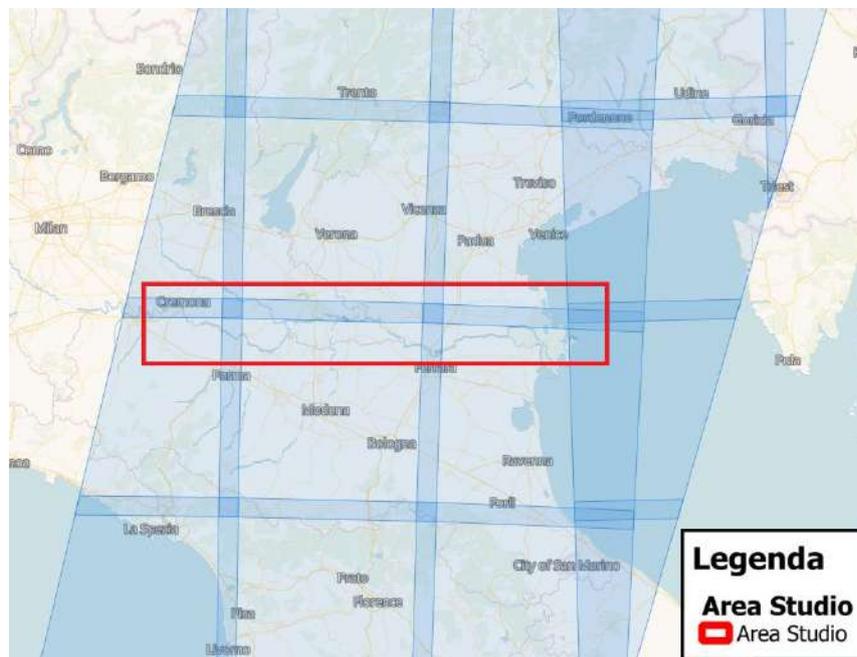


Figura 36. Area coperta dalle varie 'tiles' del satellite Sentinel 2 con un tempo di rivisitazione di 5 giorni.

CLASSIFICAZIONE DEL CANALE BAGNATO DEL FIUME PO

La ricerca delle anomalie nell'asta del fiume Po necessita innanzitutto dell'identificazione del canale bagnato del corso d'acqua, dal momento che solamente le zattere di materiale flottante collocate al suo interno sono oggetto di studio. Per identificare inequivocabilmente il canale bagnato in differenti istanti temporali si è utilizzato un classificatore basato sulle *Convolutional Neural Network* (CNN) (Carbonneau et al., 2020). Utilizzando immagini Sentinel 2, l'algoritmo è addestrato a riconoscere le classi di (barre di) sedimento, acqua e vegetazione all'interno di una maschera fluviale fornita all'utente. Il classificatore è stato calibrato usando dati di fiumi italiani, in particolare Po e Sesia e quindi applicabile per l'area di studio del Po qui proposta.

Come si può notare in Figura 111, la classificazione delle unità "fiume" e "sedimento" risulta essere di elevata qualità. L'algoritmo classifica e distingue correttamente le barre (classe sedimento, in giallo), il canale bagnato (classe acqua, in verde mare), le eventuali nuvole (azzurro) e laghi (verde chiaro, la superficie bagnata disconnessa dall'alveo fluviale è classificata come 'laghi') presenti nella scena. Da questa classificazione si estrae solo l'area classificata come 'fiume', nello specifico l'*alveo bagnato*, e su tale area si cercheranno di identificare anomalie nella firma spettrale, tali da far presumere la presenza di zattere flottanti.

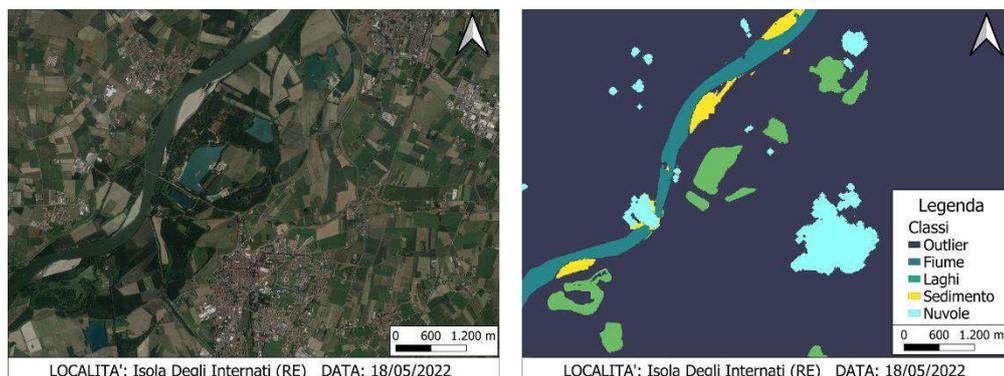


Figura 37. Esempio di classificazione di un'immagine Sentinel 2 con un algoritmo CNN (Carbonneau et al., 2020). A sinistra l'immagine Google Earth, a destra il raster classificato con l'algoritmo CNN in località Isola degli Internati (RE) in data 18/05/2022. L'immagine Sentinel2 è stata classificata in quattro diverse classi. In blu scuro sono classificati gli outlier, cioè tutte le parti dell'immagine che non fanno parte del canale fluviale, in verde mare il corso d'acqua, in verde chiaro i laghi, in giallo il sedimento, come ad esempio le barre ed infine in azzurro le nuvole.

INDICI DI ANOMALIA

I valori di riflettanza che arrivano al sensore dal satellite Sentinel 2 sono influenzati da numerosi fattori esterni (condizioni atmosferiche, illuminazione, torbidità dell'acqua, etc.) e, nonostante le correzioni atmosferiche applicate a monte dai produttori delle immagini satellitari, le immagini di una medesima scena e della medesima unità acquisita in differenti istanti temporali possono subire variazioni di riflettanza significativi.

La normalizzazione dell'alveo bagnato è quindi necessaria affinché si possano confrontare alvei bagnati afferenti ad immagini satellitari acquisite in differenti momenti e quindi trovare gli intervalli normalizzati in comune tra tutte le anomalie presenti in differenti date, così da poter calibrare in modo robusto il modello per la ricerca delle zattere flottanti.

Considerando l'importanza della banda nell'infrarosso vicino (Banda 08 del dato Sentinel 2) riconosciuta nel corso della sperimentazione condotta nella ex cava di Motta Baluffi, in questo caso studio sono state sperimentate tre diversi indici di anomalia (uno direttamente sviluppato in questo studio e due disponibili da letteratura) che tengono conto di tale banda spettrale. I seguenti indici verranno analizzati esclusivamente per i pixel classificati come 'fiume', cioè l'alveo bagnato, dal classificatore CNN, precedentemente, descritto al fine di identificare anomalie al suo interno che rappresentino potenziali zattere flottanti:

- 1) Indice di anomalia del NIR** (indice sviluppato nel corso di questa sperimentazione a partire dai dati ottenuti analizzando le zattere installate presso la cava di Motta Baluffi):

$$\text{Anomalie NIR} = \frac{B08 - \mu}{B08 + \mu}$$

Dove: **B08** = valori di riflettanza della Banda 8 di Sentinel 2; **μ** = riflettanza media dei pixel

- 2) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)** (Rouse et al., 1973). La normalizzazione in questo caso richiede la combinazione delle bande B08 e B04 di Sentinel 2.

$$NDVI = \frac{B08 - B04}{B08 + B04}$$

3) **Normalized Difference Water Index (NDWI)** (McFeeters, 1996), come per l'NDVI, questo indice richiede due bande del satellite Sentinel 2 che, in questo caso, sono però la B08 e la B03.

$$NDWI = \frac{B03 - B08}{B03 + B08}$$

VERITÀ A TERRA E CALIBRAZIONE

Dal momento che il modello per la verifica della rilevabilità di oggetti flottanti è stato messo a punto all'interno di una ex cava e su zattere artificiali, per poterlo validare e comprendere la sua reale applicabilità per la ricerca di zattere naturali nel canale bagnato del fiume Po, si è reso necessario cercare delle verità a terra - costituite da zattere di vegetazione e plastica relativamente stabili collocate a ridosso di pile di ponti - in modo tale da poter identificare gli intervalli di riflettanza normalizzati necessari alla definitiva calibrazione del modello.

Le immagini ad alta risoluzione geolocalizzate sulla piattaforma di Google Maps in una data definita hanno consentito l'individuazione attraverso il satellite Sentinel 2 di quattro zone a ridosso delle pile di alcuni ponti, in cui erano presenti accumuli temporanei di legname e plastica (Figura 112).

Si è poi proceduto, attraverso la piattaforma Cloud di Google Engine e i software QGis e Python, rispettivamente al download e alla elaborazione delle immagini.

Una volta classificate le immagini satellitari selezionate, identificato l'alveo bagnato e applicati gli indici di anomalie introdotti nella sezione precedente, si sono ricavati i valori di riflettanza normalizzata dei soli pixel appartenenti alle zattere naturali poste al ridosso dei ponti, in modo tale da definire le soglie per la classificazione delle anomalie per ognuno dei tre indici utilizzati.

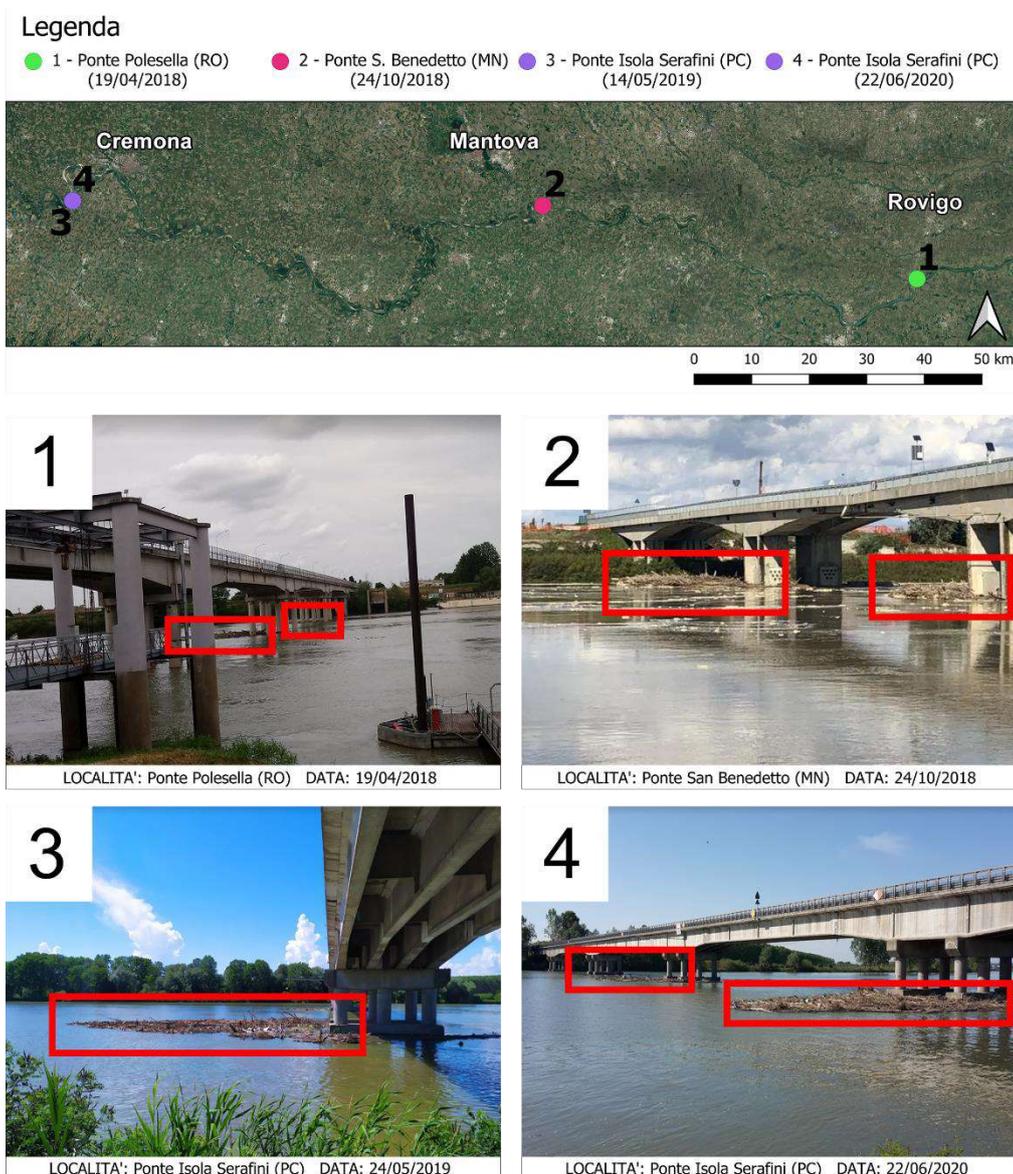


Figura 38. Verità a terra. Nell'immagine in alto è rappresentata la geolocalizzazione a grande scala delle quattro verità a terra. La zattera naturale numero 1 è situata presso il ponte di Polesella (RO) in data 19/04/2018; la zattera numero 2 è situata presso il Ponte di San Benedetto (MN) in data 24/10/2018; le zattere numero 3 e 4 sono localizzate presso il Ponte di Isola Serafini (PC), rispettivamente il 24/05/2019 e il 22/06/2020. In tutte le figure sono presenti due zattere, una di dimensioni maggiori, ben visibile nelle fotografie ed una di dimensioni minori.

APPLICAZIONE ALL'ASTA DEL FIUME PO

Una volta calibrato il modello di ricerca delle anomalie mediante le verità a terra, si è proceduto con l'applicazione di quest'ultimo per la ricerca di materiali flottanti all'interno del canale bagnato del fiume Po.

Sono state prese in considerazione quattro stazioni idrometriche facenti parte della rete tele-idrometrica del fiume Po, la quale fornisce dati idrometrici dal 2013 ad oggi (<https://www.agenziapo.it/content/monitoraggio-idrografico-0>). Il sito AIPO (<https://www.agenziapo.it/>) e che per ogni stazione idrometrica identifica tre livelli di allerta corrispondenti a livelli idrometrici crescenti.

Dal momento che il trasporto di materiale flottante all'interno del canale bagnato di un corso d'acqua si verifica principalmente durante le fasi di piena (Shumilova et al., 2019), al fine di massimizzare la probabilità di identificare la presenza di zattere flottanti, le date scelte per le analisi corrispondono alla fase in cui il livello idrometrico in almeno una delle quattro stazioni esaminate ha superato o è prossimo a superare il livello di allarme 1 (Figura 113). Per via della copertura nuvolosa presente, durante alcuni eventi di piena sono state prese in considerazione anche date successive al temporaneo aumento del livello idrometrico. Questo permette di aumentare la probabilità del detector di trovare eventuali detriti flottanti all'interno del canale bagnato o eventualmente momentaneamente bloccati a ridosso di ponti. Sono state quindi prese in considerazione quattro date ritenute adeguate alle analisi: 26/10/2019, 10/11/2019, 25/12/2019 e 10/10/2020.

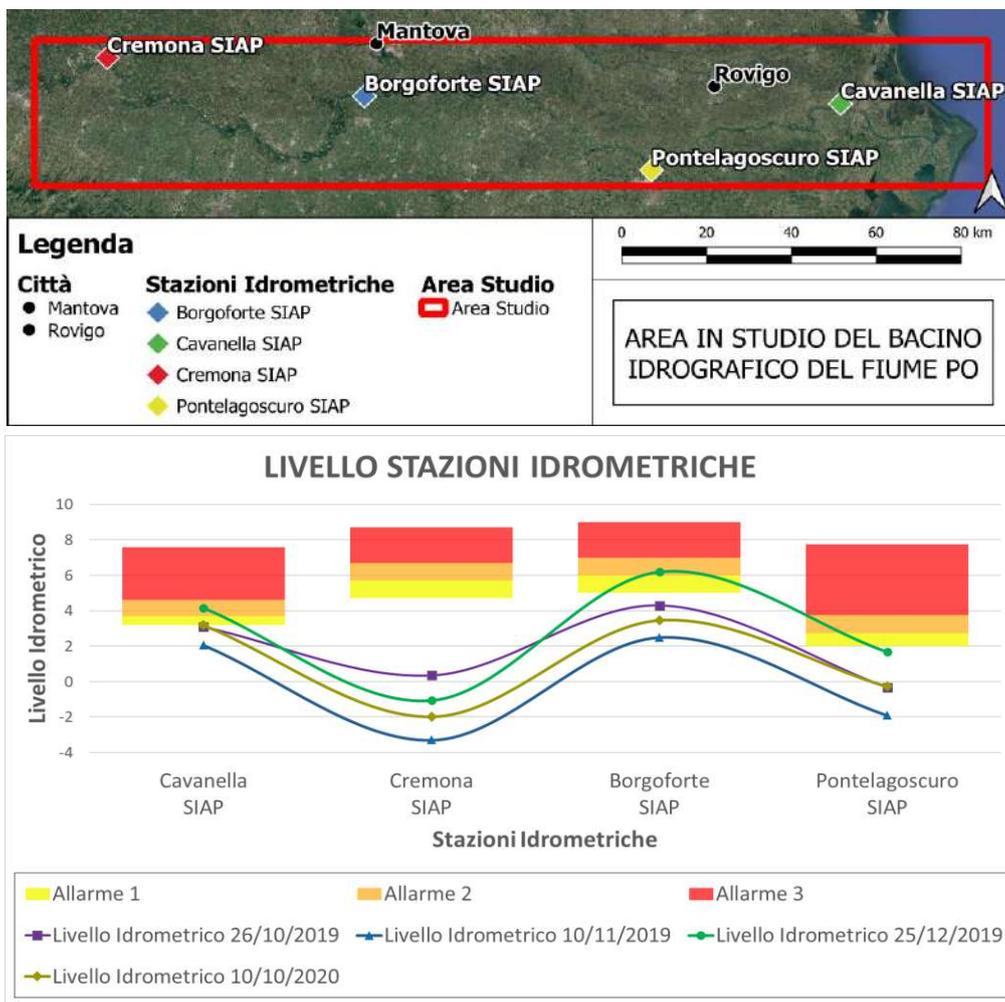


Figura 39. Area di studio e relative stazioni idrometriche considerate. Nella sezione in alto è rappresentata con un rettangolo in rosso di estensione di 8000 km² l'area di studio considerata nelle analisi del Fiume Po, mentre con i poligoni colorati sono rappresentate le quattro stazioni idrometriche per il controllo della fase di piena. Infine, con i punti circolari di colore nero sono rappresentate alcune delle più importanti città della zona. Nella sezione in basso invece, è raffigurato il livello massimo raggiunto dalle quattro stazioni idrometriche per le quattro date analizzate. Per ogni stazione differenti livelli di allarme: in giallo l'allarme di tipo 1, in arancione di tipo 2, in rosso l'allarme di tipo 3. Il livello idrometrico delle stazioni nelle differenti date è rappresentato da simboli e le linee continue di differente colorazione

METODOLOGIE PER L'INTERPRETAZIONE DELLE ANOMALIE

La presenza della vegetazione riparia, spesso presente ai margini del canale bagnato, crea un'alta riflettanza della banda 08 e quindi influenza i valori degli indici di anomalia al margine del canale bagnato. Questi pixel sono facilmente eliminabili tramite un'analisi manuale o applicando un buffer che elimini i pixel ai bordi dell'alveo bagnato. A valle di questa attività di post-processing si è quindi proceduto con la rappresentazione grafica (plot) delle principali anomalie su ortofoto recenti disponibili tramite Google Satellite. Le immagini Sentinel 2 hanno una risoluzione geometrica di 10m X 10m e l'anomalia viene rappresentata sulle ortofoto trasformandola in vettoriali e punti. Il punto dove viene riscontrata l'anomalia è localizzato al centro del pixel (Figura 114).

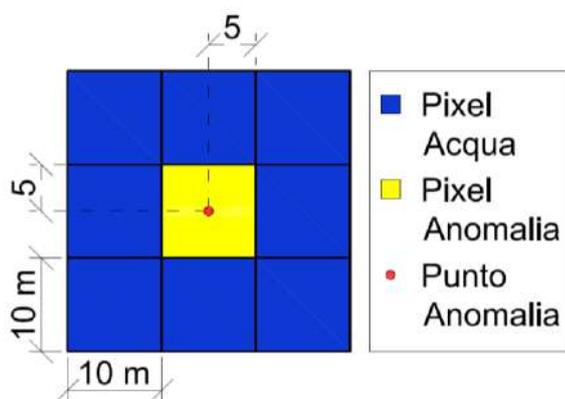


Figura 40. Localizzazione del centro dell'anomalia per il plot sulla base-map. Dal momento che la dimensione di un pixel di Sentinel 2 è pari a 10 m X 10 m, il punto per il plot è posizionato al centro del pixel, considerando quindi un offset di 5 metri dal margine dell'anomalia

Inoltre, nel caso in cui vi siano presenti più anomalie adiacenti, la potenziale zattera viene rappresentata da un solo punto anomalia (Figura 115). Questo tipo di visualizzazione offre la possibilità di esaminare le zone più soggette all'accumulo di materiale flottante e, allo stesso tempo, consente di verificare se realmente le anomalie trovate dal modello possano essere potenzialmente classificate come zattere naturali.

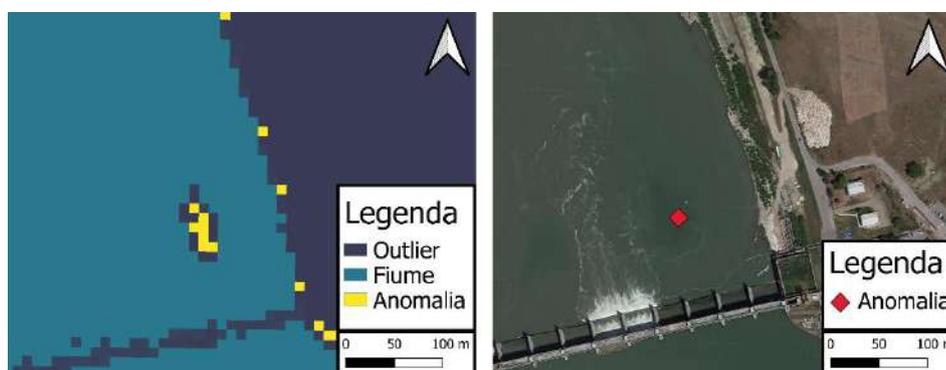


Figura 41. Plot delle anomalie su di una base-map. Nella sezione a sinistra è raffigurata l'immagine classificata con l'indice NDWI. Si può notare che sono presenti molteplici anomalie localizzate all'interno del canale bagnato del Fiume Po. Nella sezione a destra è rappresentata la geolocalizzazione della potenziale zattera

VERITÀ A TERRA

La prima elaborazione eseguita riguarda la classificazione con l'algoritmo CNN delle quattro aree studio collocate in prossimità alle verità a terra introdotte in Figura 112 (Figura 116).

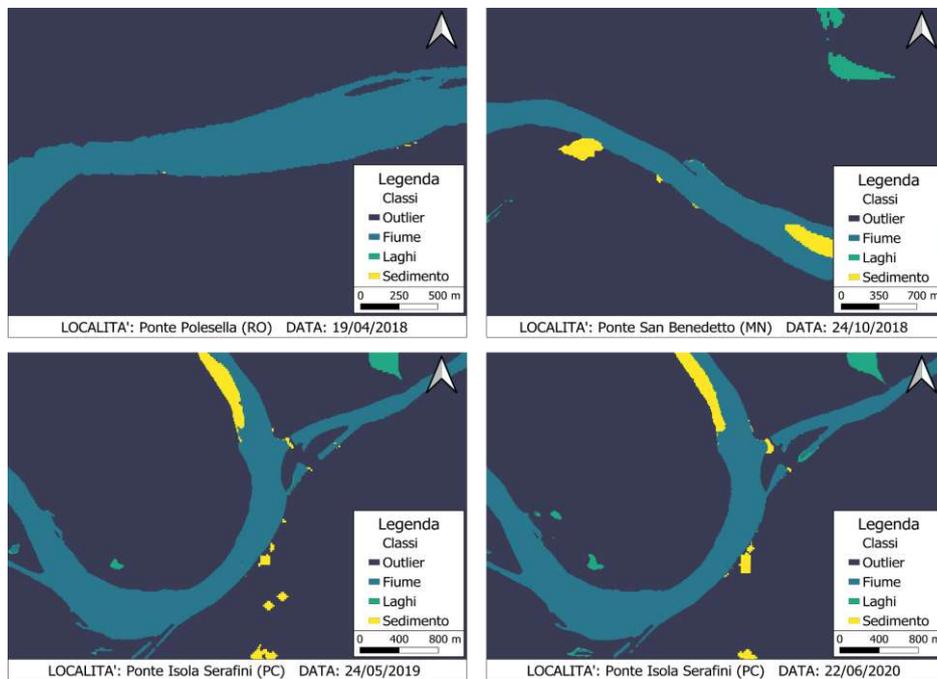


Figura 42. Area studio delle verità a terra classificate con l'algoritmo CNN. In tutte e quattro le date la classificazione è costituita da quattro classi, in blu la parte di immagine non classificata, in azzurro i fiumi, in verde i laghi ed infine in giallo le barre di sedimento. Nella classificazione non vengono inclusi i ponti.

Nelle quattro aree riportate in Figura 116, utilizzate per la calibrazione, sono stati calcolati i tre indici proposti: *Indice di Anomalia del NIR* (Figura 117), *NDVI* (Figura 118) e *NDWI* (Figura 119). L'*Indice di Anomalia del NIR* (Figura 117) permette di identificare visivamente delle variazioni in riflettanza normalizzata in prossimità delle sponde (presenza di vegetazione valori maggiori), dei ponti e delle barre di sedimento e/o isole fluviali. L'acqua viene rappresentata con valori negativi, anche se, come si può notare nelle due sezioni a sinistra, quando vi è un elevato carico sedimentario durante le piene, assume valori prossimi allo zero.

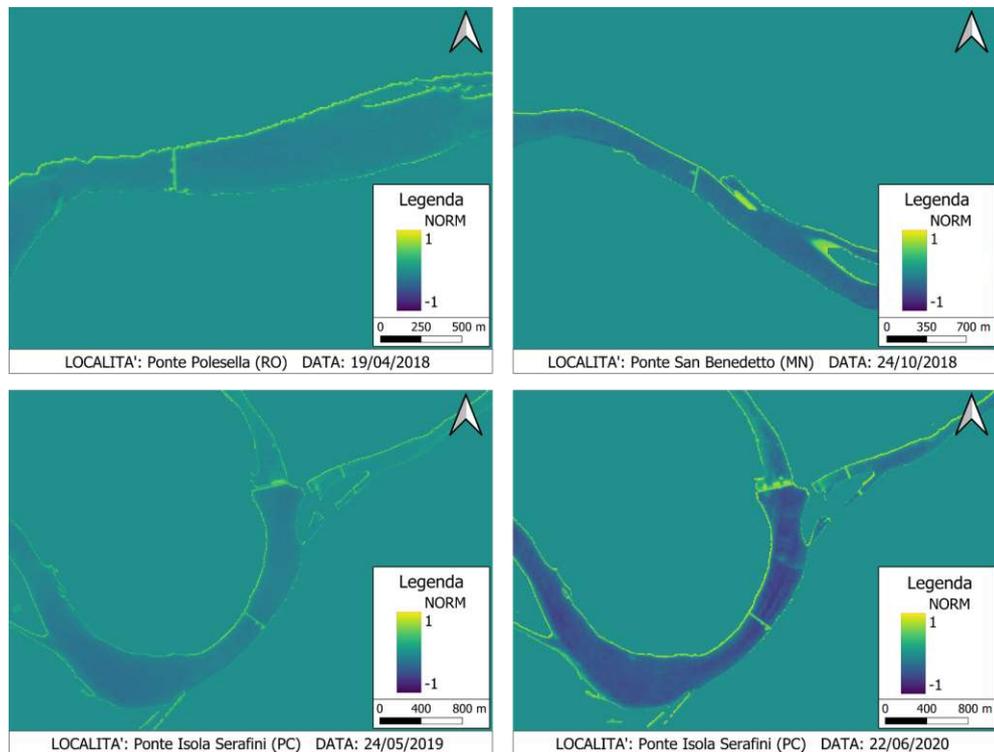


Figura 43. Area studio delle verità a terra normalizzata con l'Indice di Anomalia del NIR. Essendo una normalizzazione il range di valori all'interno del raster è compreso tra 1 e -1. In colore blu scuro (valori prossimi a -1), viene rappresentata l'acqua, mentre con il colore giallo (valori prossimi ad 1) viene rappresentata la vegetazione riparia, la spuma delle cascate e il sedimento delle barre di sedimento e/o isole fluviali.

Per quanto riguarda invece l'indice NDVI (Figura 118), come da letteratura, si osserva che funziona molto bene nella caratterizzazione degli stati fenologici della vegetazione (si guardi la distinzione tra le diverse tipologie di campi), e riesce anche a distinguere in modo ottimale il canale bagnato, le zattere e i ponti. Come per il caso precedente, l'acqua tende ad avere valori prossimi a -1, eccetto nel caso in cui vi sia il trasporto di un elevato carico sedimentario come, ad esempio, nella sezione di Isola Serafini, dove assume valori vicini allo zero.

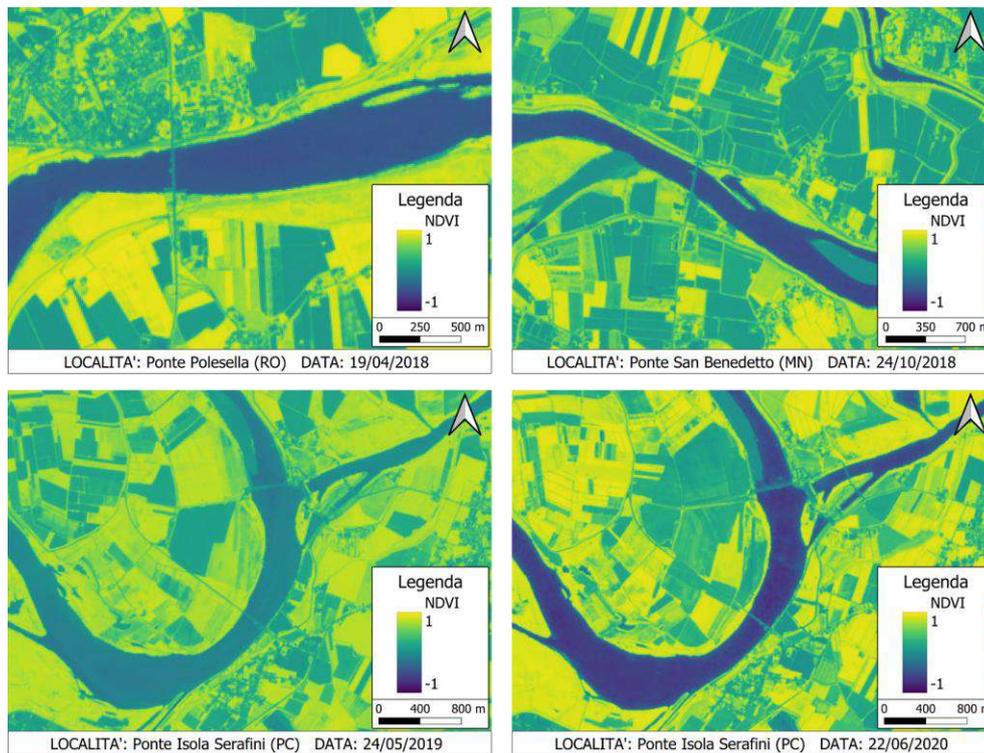


Figura 44. Area studio delle verità a terra normalizzata con l'indice NDVI. Essendo una normalizzazione il range di valori all'interno del raster è compreso tra 1 e -1. In blu scuro (valori prossimi a -1) viene rappresentata l'acqua, in giallo (valori prossimi ad 1) viene rappresentata la vegetazione. Nei colori intermedi si hanno le opere idrauliche della centrale idroelettrica di Isola Serafini (PC), il sedimento e i ponti.

Infine, in Figura 119 è rappresentato l'indice NDWI dove, a differenza delle due precedenti normalizzazioni, l'acqua è rappresentata con valori prossimi ad 1, mentre la vegetazione con valori prossimi a -1. Come per gli indici precedenti, si riescono a caratterizzare bene tutte le unità morfologiche, la vegetazione, i sedimenti e l'acqua. Quest'ultima però, come per gli indici precedenti, nel caso in cui sia trasportato un elevato carico sedimentario assume valori tendenti allo zero.

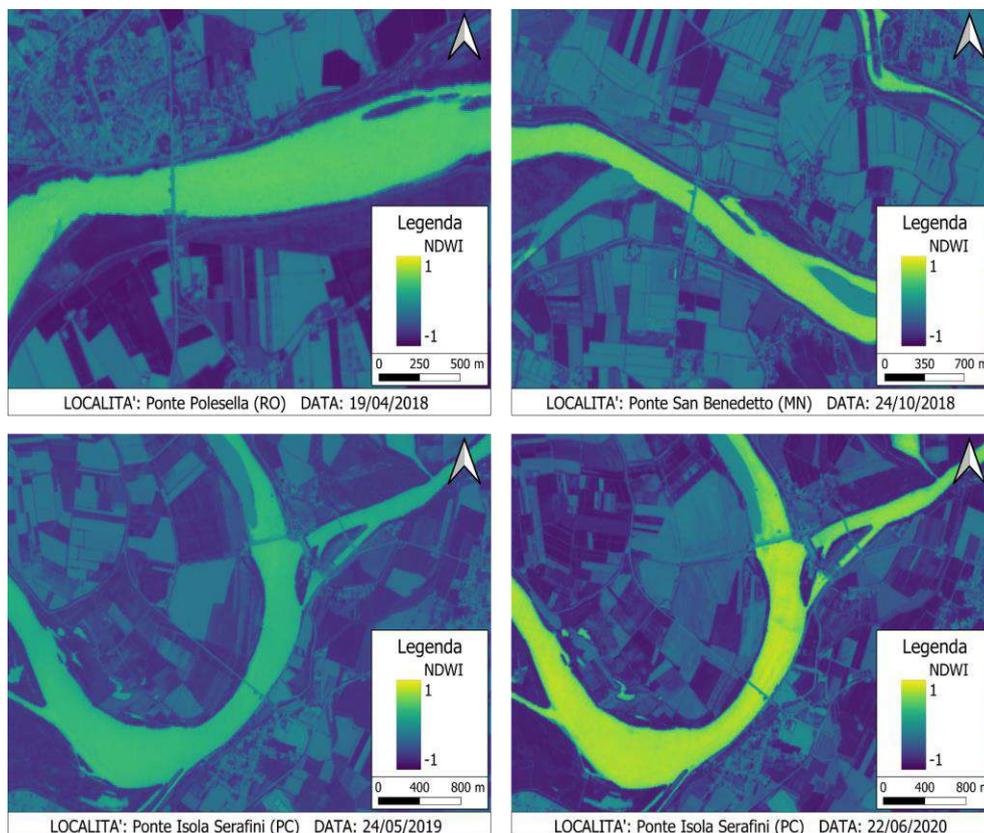


Figura 45. Area studio delle verità a terra normalizzata con l'indice NDWI. Essendo una normalizzazione il range di valori all'interno del raster è compreso tra 1 e -1. In blu scuro (valori prossimi a -1) viene rappresentata la vegetazione, in giallo (valori prossimi ad 1) viene rappresentata l'acqua. Nei colori intermedi si hanno le opere idrauliche della centrale idroelettrica di Isola Serafini (PC), il sedimento e i ponti.

In Tabella 32 sono rappresentati i valori dei tre diversi indici (Anomalia NIR, NDVI e NDWI) per i 9 pixels delle verità a terra raccolte (si veda Figura 104) nei quali risulta la presenza di materiale flottante.

Tabella 32. Valori dei tre diversi indici (Anomalia NIR, NDVI e NDWI) per i 9 pixel associabili alla presenza di materiale flottante (si veda Figura 103)

	Indice di Anomalia del NIR (valori riflettanza normalizzati con la media dell'acqua)	NDVI (valori riflettanza NDVI)	NDWI (valori riflettanza NDWI)
	0,520	0,127	-0,137
	0,500	0,142	-0,193
	0,550	0,124	-0,269
	0,750	0,195	-0,168
	0,610	0,231	-0,256
	0,670	0,124	-0,121
	0,530	0,134	-0,160
	0,480	0,148	-0,153
	0,540	0,151	-0,139
min	0,480	0,124	-0,269
max	0,750	0,231	-0,121
media	0,572	0,153	-0,177

Gli intervalli di classificazione per i primi due indici presenti in Tabella 32 sono delimitati alla base con il valore minimo dell'Indice di anomalia calcolato considerando i valori di tutti i pixel anomalie. Per l'indice NDWI, invece, la soglia è posta con il valore massimo. Quindi, l'intervallo di ricerca delle anomalie può essere così definito:

- **Indice di Anomalia del NIR $\rightarrow \forall \text{ pixelvalue} > 0.48$**

In Figura 120, in tutte e quattro le date le verità a terra vengono quasi del tutto classificate correttamente. Per quanto riguarda la classificazione delle anomalie al ridosso delle sponde (falsi positivi), sono prodotte dalla vegetazione ripariale e la loro presenza non inficia le analisi, poiché vengono considerate le sole anomalie presenti all'interno del canale bagnato del fiume Po. Si può infine notare che, in tutte e quattro le immagini, parte dei ponti presenti nel fiume Po vengono classificati come "anomalia".

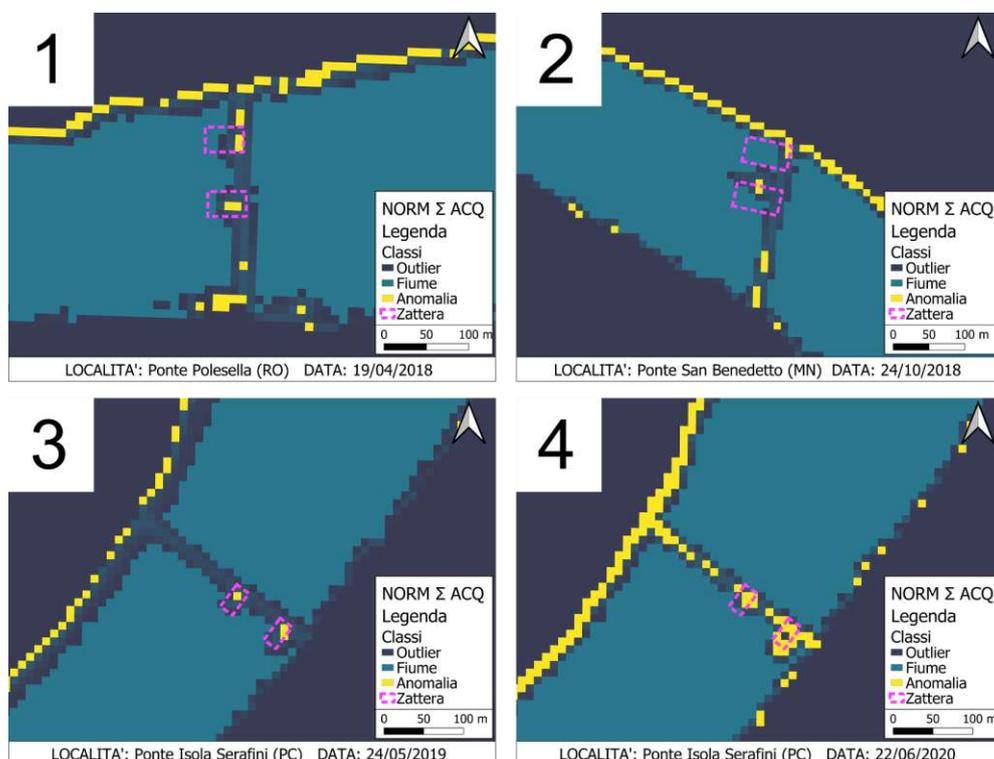


Figura 46. Verità a terra classificate con l'indice di Anomalia del NIR. In tutte e quattro le date, le anomalie delle verità a terra al ridosso dei ponti (rettangoli tratteggiati di colore rosa) vengono classificate, non tutte quelle classificate corrispondono alle verità a terra, infatti, nei ponti vi è un elevato numero di falsi positivi. I numerosi falsi positivi lungo i margini del canale bagnato sono dovuti all'effetto della vegetazione e non devono essere considerati.

- **NDVI $\rightarrow \forall \text{ pixelvalue} > 0.12$**

In Figura 121 è rappresentata la classificazione effettuata con l'indice NDVI. Si può notare che la classificazione delle verità a terra viene eseguita in modo corretto e discretamente preciso anche se, nella

sezione di Polesella, viene omessa una zattera generando così un falso negativo.

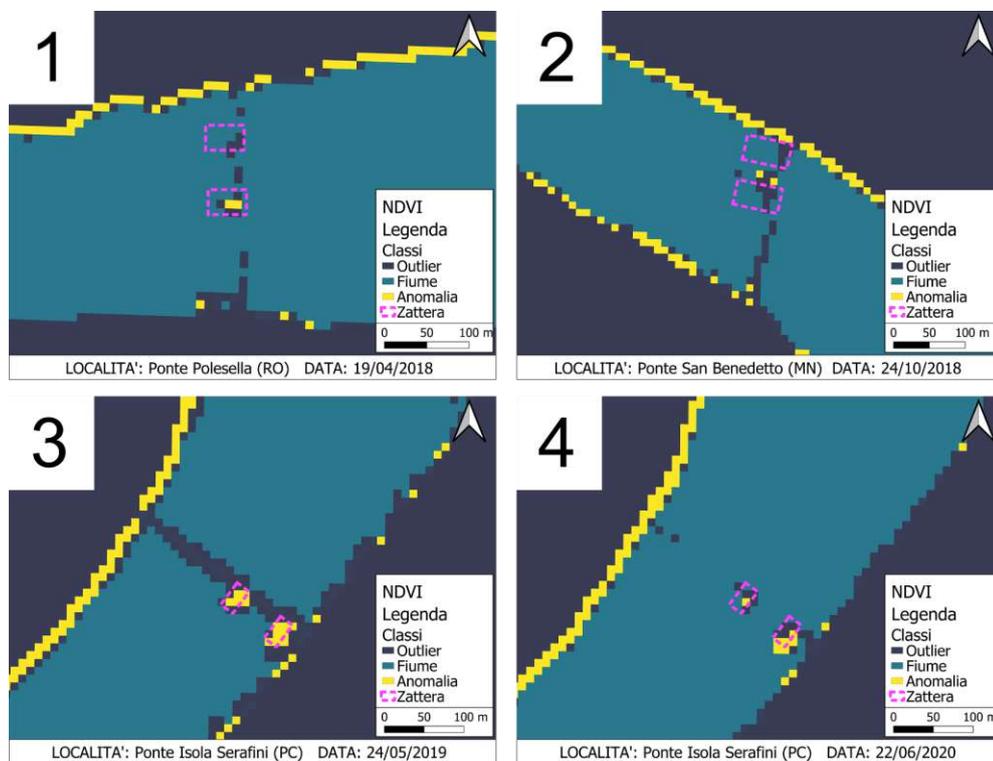


Figura 47. Verità a terra classificate sulla base dei raster normalizzati con l'indice NDVI. In tutte e quattro le date, le anomalie delle verità a terra al ridosso dei ponti (rettangoli tratteggiati di colore rosa) vengono classificate correttamente. I numerosi falsi positivi lungo i margini del canale bagnato sono dovuti all'effetto della vegetazione e non devono essere considerati.

- **NDWI** → $\forall \text{ pixelvalue} < - 0.12$

Infine, in Figura 122 è raffigurato il risultato della classificazione con l'indice NDWI che risulta molto precisa nel localizzare le verità a terra.

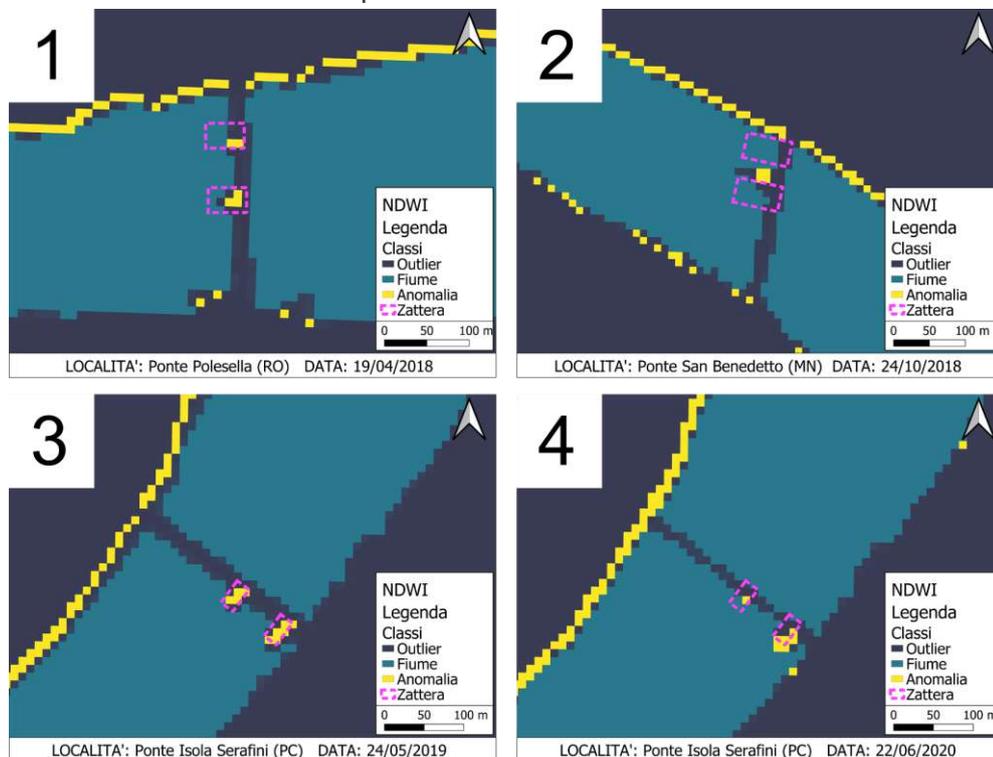


Figura 48. Verità a terra classificate sulla base dei raster normalizzati con l'indice NDWI. In tutte e quattro le date, le anomalie delle verità a terra al ridosso dei ponti (rettangoli tratteggiati di colore rosa) vengono classificate correttamente. I numerosi falsi positivi lungo i margini del canale bagnato sono dovuti all'effetto della vegetazione e non devono essere considerati.

Confrontando i tre metodi utilizzati per la ricerca delle zattere naturali utilizzate come verità a terra, si nota chiaramente come gli indici NDVI e NDWI spiccano per precisione nel riconoscimento e quantificazione (numero di pixel) delle zattere.

In Tabella 33 si possono osservare le percentuali di successo degli indici normalizzati rispetto al numero reale di zattere presenti a ridosso delle pile dei ponti. Un valore pari a 100 nella colonna “% Successo” significa che l'indice ha rilevato tutte le zattere presenti in una determinata data, valori inferiori indicano, invece, una sottostima del numero di zattere realmente presenti, mentre i valori superiori a 100 stanno ad indicare una sovrastima delle zattere, cioè che sono state identificate un numero di zattere maggiore rispetto a quello che è realmente presente, generando così un errore di tipo “falso positivo”. Nel calcolo di tali statistiche sono stati rimossi tutti i pixel anomali ai bordi del canale bagnato determinati dalla presenza di vegetazione riparia.

Tabella 33. Stima quantitativa sulla rilevazione delle zattere al ridosso delle pile dei ponti da parte degli indici normalizzati. Valori uguali a 100 nella colonna “% Successo” indicano la corretta rilevazione e classificazione di tutte le zattere presenti al ridosso delle pile dei ponti. Percentuali inferiori a 100 indicano una sottostima delle zattere presenti, valori superiori a 100 significa che l’indice sta sovrastimando le zattere presenti

Classificazione Indice di Anomalia del NIR			
Luogo e Data	Numero di Zattere Reali	Numero di Zattere Rilevate	% Successo
Ponte Polesella (RO) 19/04/2018	2	5	250
Ponte San Benedetto (MN) 24/10/2018	2	3	150
Ponte Isola Serafini (PC) 24/05/2019	2	2	100
Ponte Isola Serafini (PC) 22/06/2020	2	N.C.	N.C.
Classificazione NDVI			
Luogo e Data	Numero di Zattere Reali	Numero di Zattere Rilevate	% Successo
Ponte Polesella (RO) 19/04/2018	2	1	50
Ponte San Benedetto (MN) 24/10/2018	2	1	50
Ponte Isola Serafini (PC) 24/05/2019	2	2	100
Ponte Isola Serafini (PC) 22/06/2020	2	2	100
Classificazione NDWI			
Luogo e Data	Numero di Zattere Reali	Numero di Zattere Rilevate	% Successo
Ponte Polesella (RO) 19/04/2018	2	2	100
Ponte San Benedetto (MN) 24/10/2018	2	1	50
Ponte Isola Serafini (PC) 24/05/2019	2	2	100
Ponte Isola Serafini (PC) 22/06/2020	2	2	100

Si può quindi affermare, coerentemente con quanto mostrato nelle Figure 120-121-122, che l’indice NDWI riesce a classificare e distinguere più precisamente la presenza di zattere flottanti e a minimizzare i casi di “falsi positivi”.

APPLICAZIONE ALL'ASTA DEL FIUME PO

In seguito ai risultati ottenuti dalle analisi sulle verità a terra e al successo ottenuto con l'indice NDWI come miglior indice per la ricerca delle anomalie all'interno del canale bagnato del fiume Po, si è proseguito l'applicazione di tale indice per la ricerca delle zattere naturali nell'intera asta del fiume Po.

Allo stesso modo del procedimento eseguito per le verità a terra, si è classificata con l'algoritmo CNN ogni data scelta per l'analisi dell'area studio del fiume Po (si veda Figura 113).

Come si può notare in Figura 123, l'algoritmo classifica in modo preciso e corretto il canale bagnato del fiume Po, la copertura nuvolosa, i sedimenti e i laghi minori. Inoltre, osservando l'immagine classificata dal CNN in data 25/12/2019, dove è presente il più elevato livello idrometrico registrato nelle quattro date analizzate (Figura 113), si può notare come la dimensione del canale bagnato classificata dall'algoritmo è coerentemente maggiore rispetto alle tre restanti date analizzate.

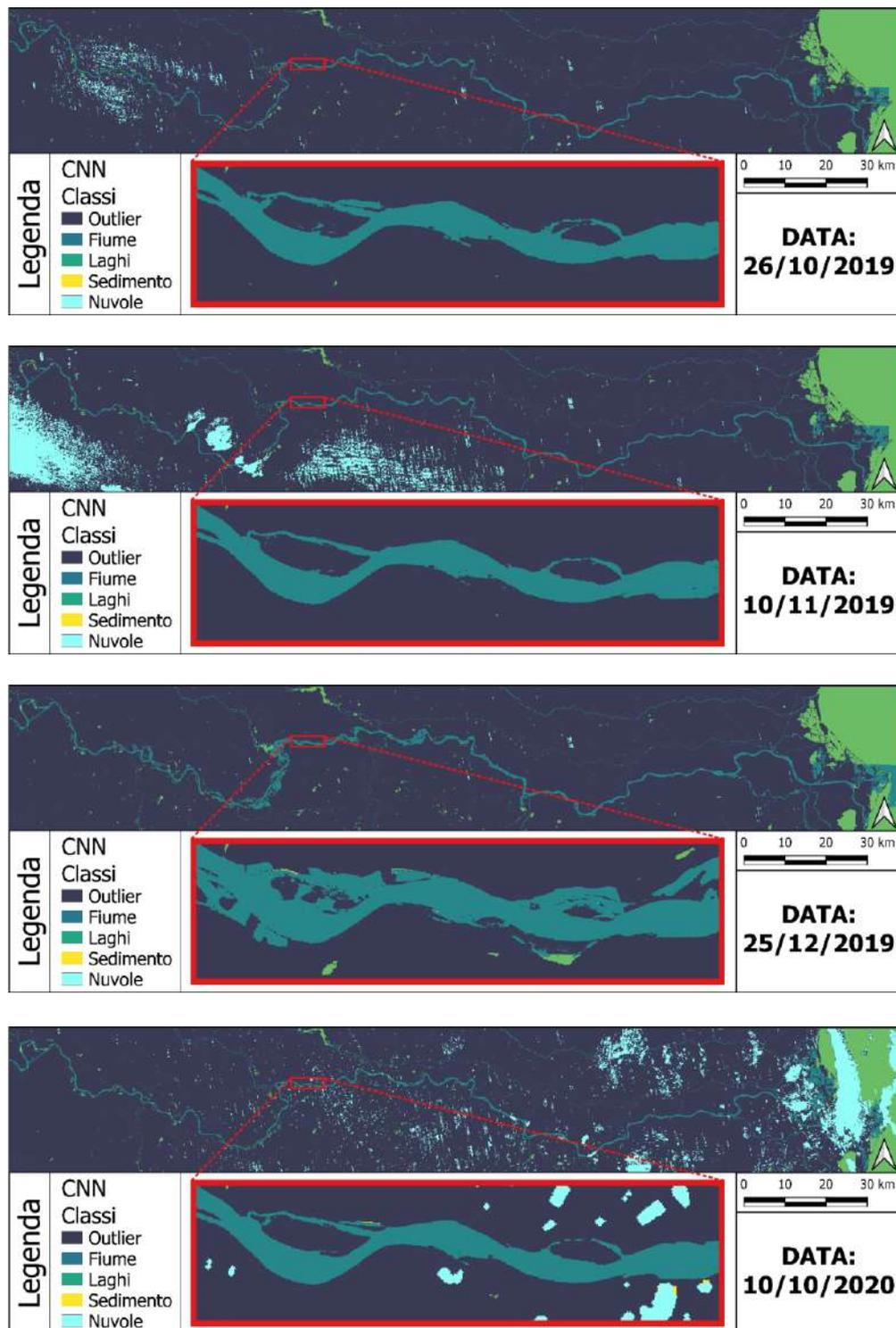


Figura 49. Classificazione dell'area di studio con l'algoritmo CNN nelle quattro date analizzate. Cinque differenti colori che identificano: le morfologie fluviali mediante la classe verde "Fiume", la classe gialla "Sedimento"; in verde i laghi, in azzurro le nuvole. La classe sedimento non è quasi mai presente nelle date esaminate per via del livello idrometrico relativamente alto.

Successivamente, si è proceduto alla normalizzazione del raster con l'indice NDWI (Figura 124) per poi effettuare la classificazione con la soglia identificata precedentemente con l'analisi delle verità a terra (Tabella 32), ottenendo così il primo risultato di classificazione delle anomalie nel fiume Po (Figura 125).

In Figura 125 si nota come quasi tutte le anomalie trovate dal modello sono localizzate in prossimità delle pile di ponti, eccetto che per le immagini acquisite da Sentinel 2 in data 10/11/2019 e 10/10/2020 dove, nel riquadro a grande scala di colore arancio, si può notare che alcune anomalie vengono classificate all'interno del canale bagnato. Il possibile accumulo di materiale flottante rilevato in data 10/10/2020 è localizzato immediatamente a valle dello sfioratore della centrale idroelettrica di Isola Serafini (PC). Lo sbarramento idraulico, essendo costruito appositamente per il passaggio di legname e detrito rende possibile un eventuale passaggio di materiale flottante a valle della centrale.

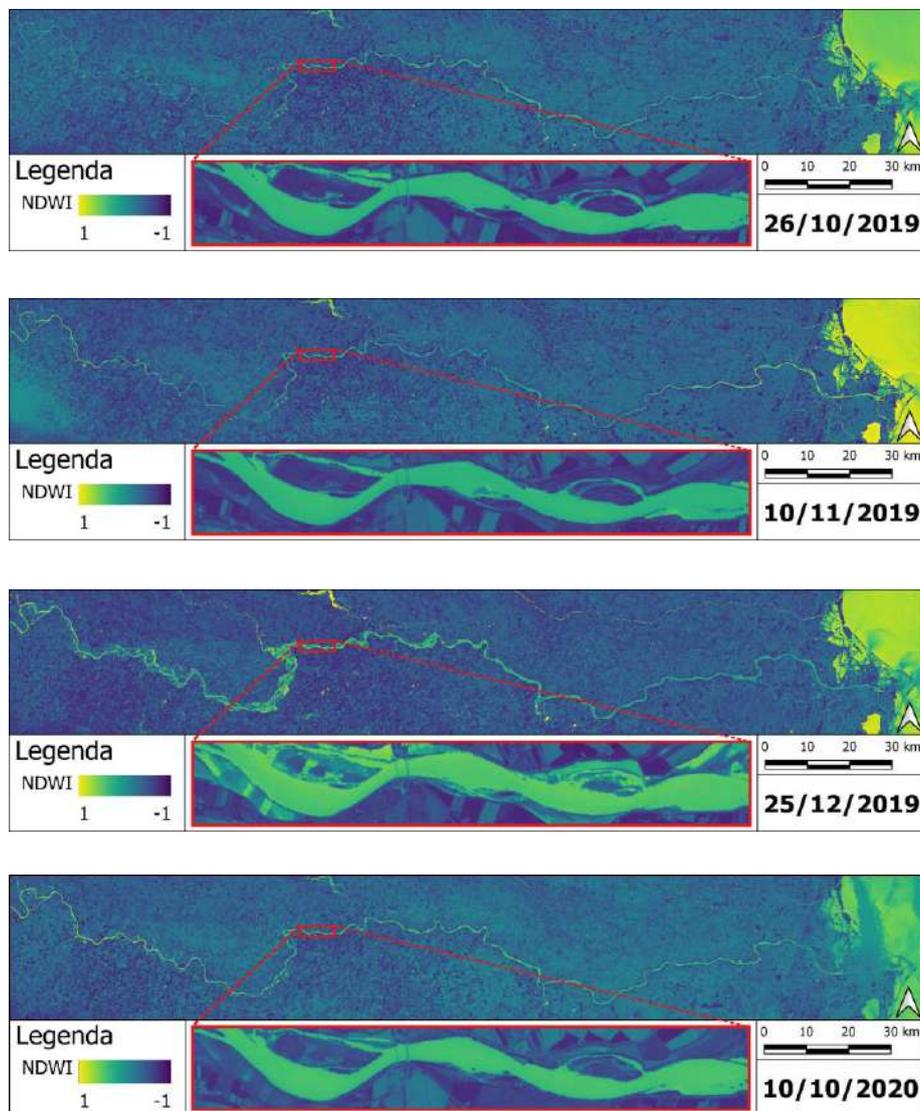


Figura 50. Normalizzazione con l'indice NDWI. In figura sono rappresentate le quattro date analizzate. Come si può notare, l'acqua possiede valori positivi (tendenti ad 1) e quindi in un ipotetico caso ideale, dovrebbe assumere una colorazione gialla (valore = 1). Nelle date analizzate la colorazione è tendente al verde, questo perché la torbidità dell'acqua e il carico solido del Fiume Po fanno, con tutta probabilità, variare la firma spettrale.

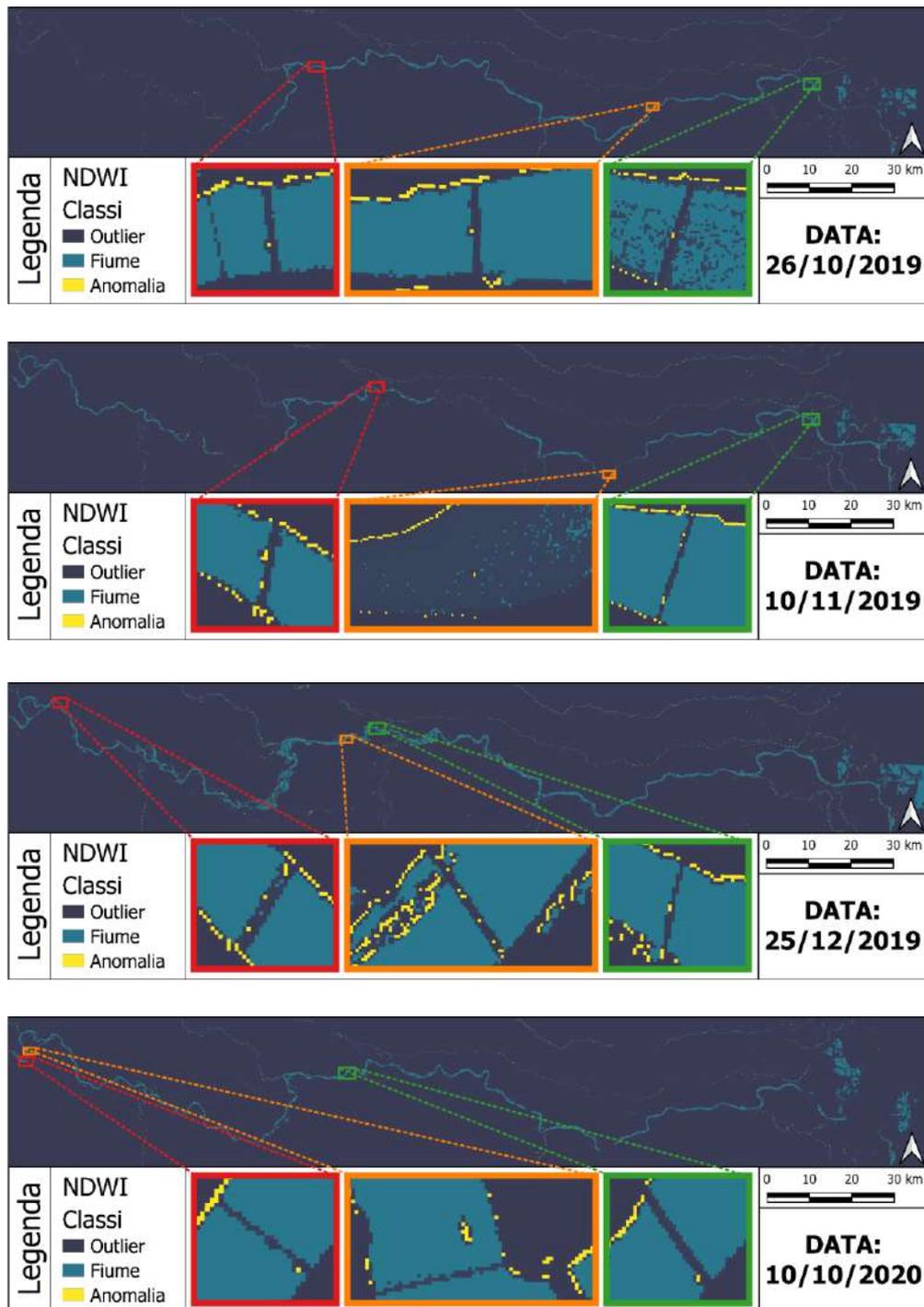


Figura 51. NDWI con soglia per anomali. Per la classificazione sono state utilizzate valori delle verità a terra sulle quali si basa il modello. Per ogni data sono presenti tre zone di interesse dove sono localizzate delle anomalie. In quasi tutte le date, le anomalie sono localizzate al ridosso delle pile dei ponti. Le uniche due eccezioni sono presenti in data 10/11/2019 e 10/10/2020 dove, nel rettangolo di colore arancione, è presente un'anomalia localizzata al centro del canale bagnato. I numerosi falsi positivi lungo i margini del canale bagnato sono dovuti all'effetto della vegetazione e non devono essere considerati.

TIPOLOGIE E PERIODICITÀ DELLE ANOMALIE

Quasi tutte le anomalie presenti all'interno dell'area di studio nelle quattro date analizzate sono localizzate a ridosso delle pile di ponti. Le uniche due eccezioni sono le anomalie in data 11/10/2019 e 10/10/2020 localizzate rispettivamente in vicinanza della città di Pontelagoscuro (FE) e a valle dello sbarramento idraulico di Isola Serafini (PC).

Dal momento che il modello applicato sul bacino del fiume Po è calibrato con i valori di riflettanza normalizzati delle quattro verità a terra, si è proceduto con la verifica di tutti i valori di riflettanza delle anomalie trovate durante l'analisi sull'intero bacino, in modo tale da poter ricalibrare, in un secondo momento, il classificatore. Inoltre, un maggior numero di dati inerenti alle riflettanze normalizzate delle zattere naturali consentirebbe la costruzione di un modello più robusto.

In Figura 126 sono rappresentati i valori di riflettanza normalizzati tramite l'indice NDWI dei 68 pixel anomalia (i quali potrebbero essere zattere) posizionati al ridosso delle pile dei ponti nelle quattro date analizzate.

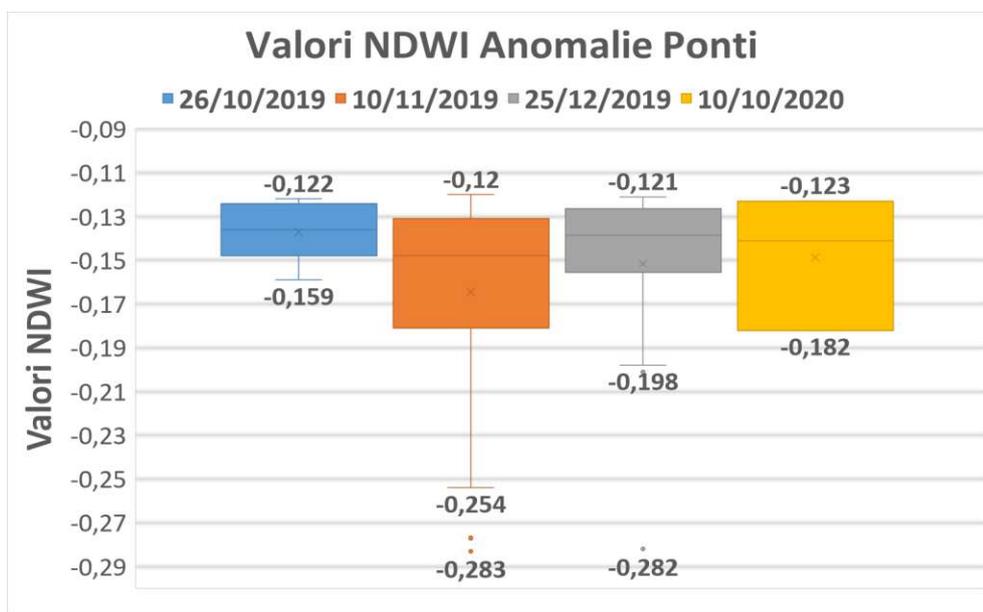


Figura 52. Box Plot dei valori NDWI delle anomalie al ridosso delle pile dei ponti nelle quattro date analizzate. Tutte le anomalie trovate sono localizzate nel range compreso tra il valore massimo impostato nella fase di calibrazione (-0.12) e il valore -0.283.

Si può notare come la soglia minima dell'intervallo è definita dalle due date 10/11/2019 e 25/12/2019, le quali possiedono i valori dell'indice NDWI più negativi. In Figura 127, invece, sono rappresentati i valori dell'indice NDWI appartenenti alle anomalie presenti all'interno del canale bagnato del fiume Po (esclusi i valori di bordo condizionati dalla vegetazione riparia).

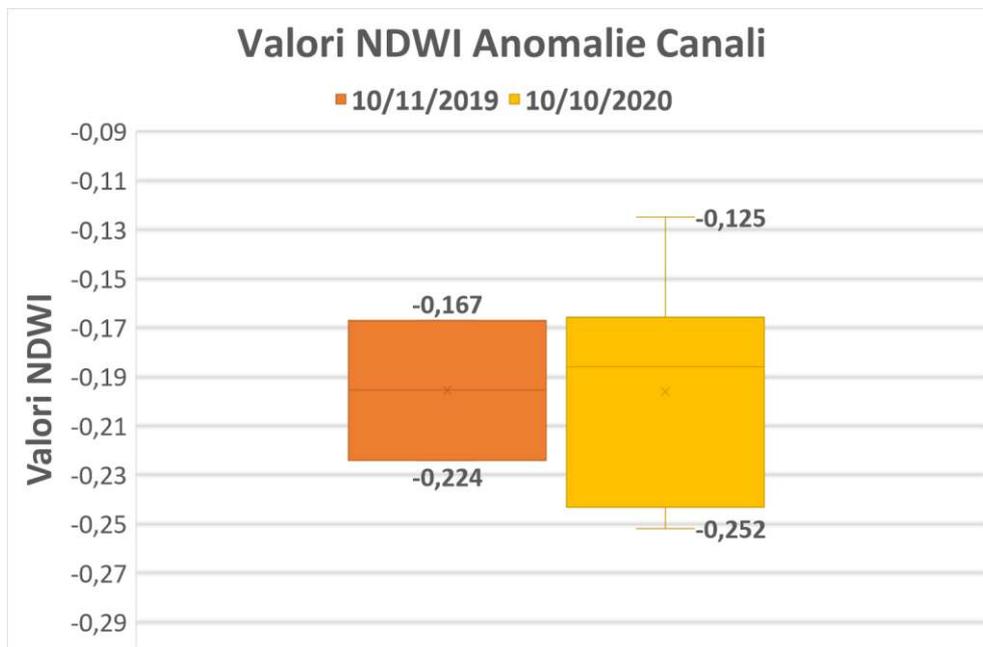


Figura 53. Box Plot dei valori NDWI delle anomalie presenti all'interno del canale bagnato del fiume Po.

La calibrazione e analisi dei valori di soglia delle anomalie consentono l'eventuale esclusione di ulteriori falsi positivi. Infatti, l'identificazione di anomalie all'interno del canale bagnato sarà inevitabilmente influenzata da valori di bordo dei pixel classificati come canale bagnato che sono influenzati da vegetazione riparia, barre di sedimento esposto, isole fluviali. Questi falsi positivi sono comunque facilmente riconoscibili a valle dell'applicazione del NDWI con una validazione manuale delle anomalie identificate con il supporto di ortofoto.

Al fine di una validazione al di fuori dei dati usati come verità a terra (Figura 112) in Figura 128 e 129 si rappresentano i pixel anomalia identificati per le 4 date analizzate. Come si può notare negli ingrandimenti dei quadrati colorati, sia in Figura 128 che in Figura 129, le anomalie, rappresentate dai differenti colori e simboli nelle diverse date, sono quasi sempre localizzate a ridosso delle pile dei ponti e questo aumenta la probabilità che l'anomalia segnalata sia riconducibile ad un possibile accumulo di materiale flottante.

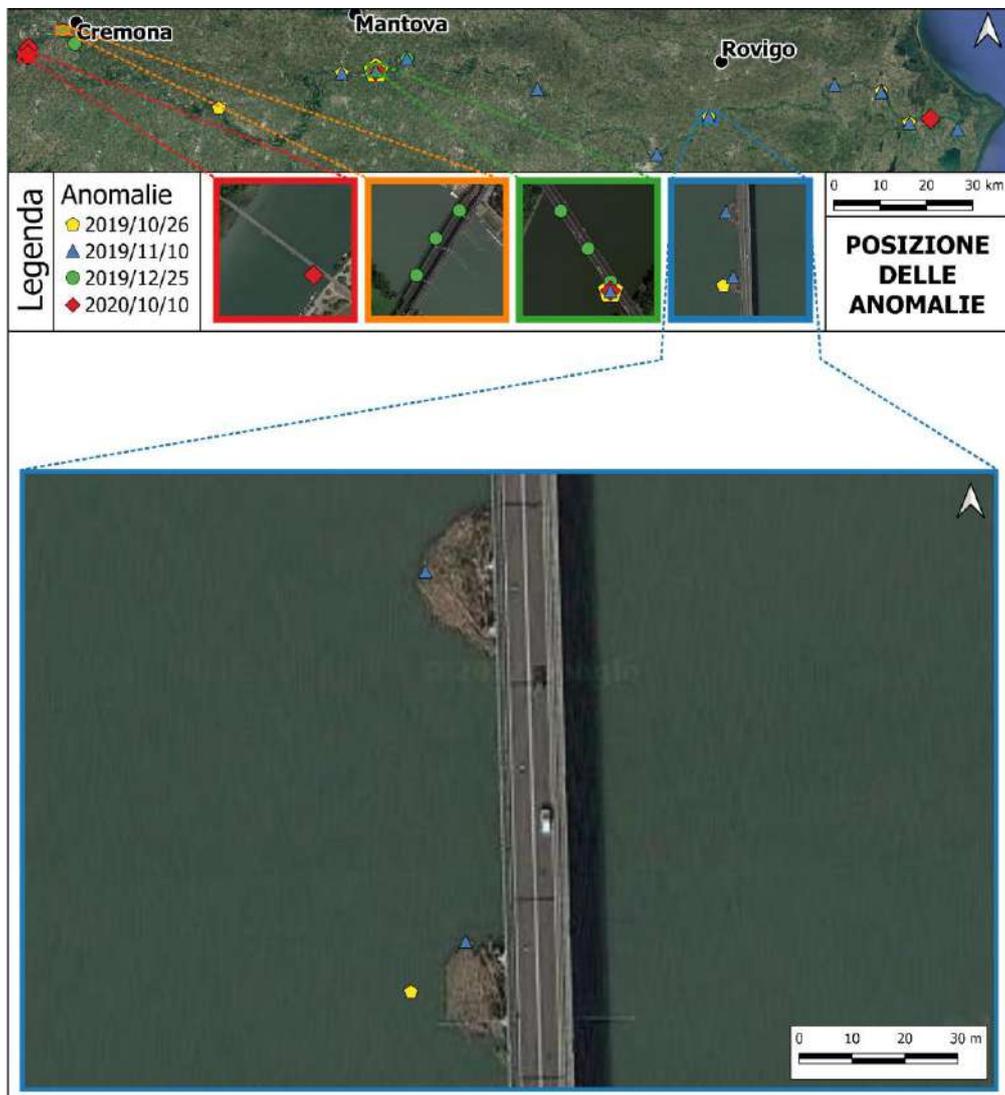


Figura 54. Posizione delle anomalie. Le principali anomalie sono state plottate su di una base-map in modo tale da avere una più facile ed immediata localizzazione delle possibili zattere. Inoltre, questo tipo di plot permette un'analisi temporale sulla frequenza dei luoghi in cui tende ad accumularsi il materiale flottante.

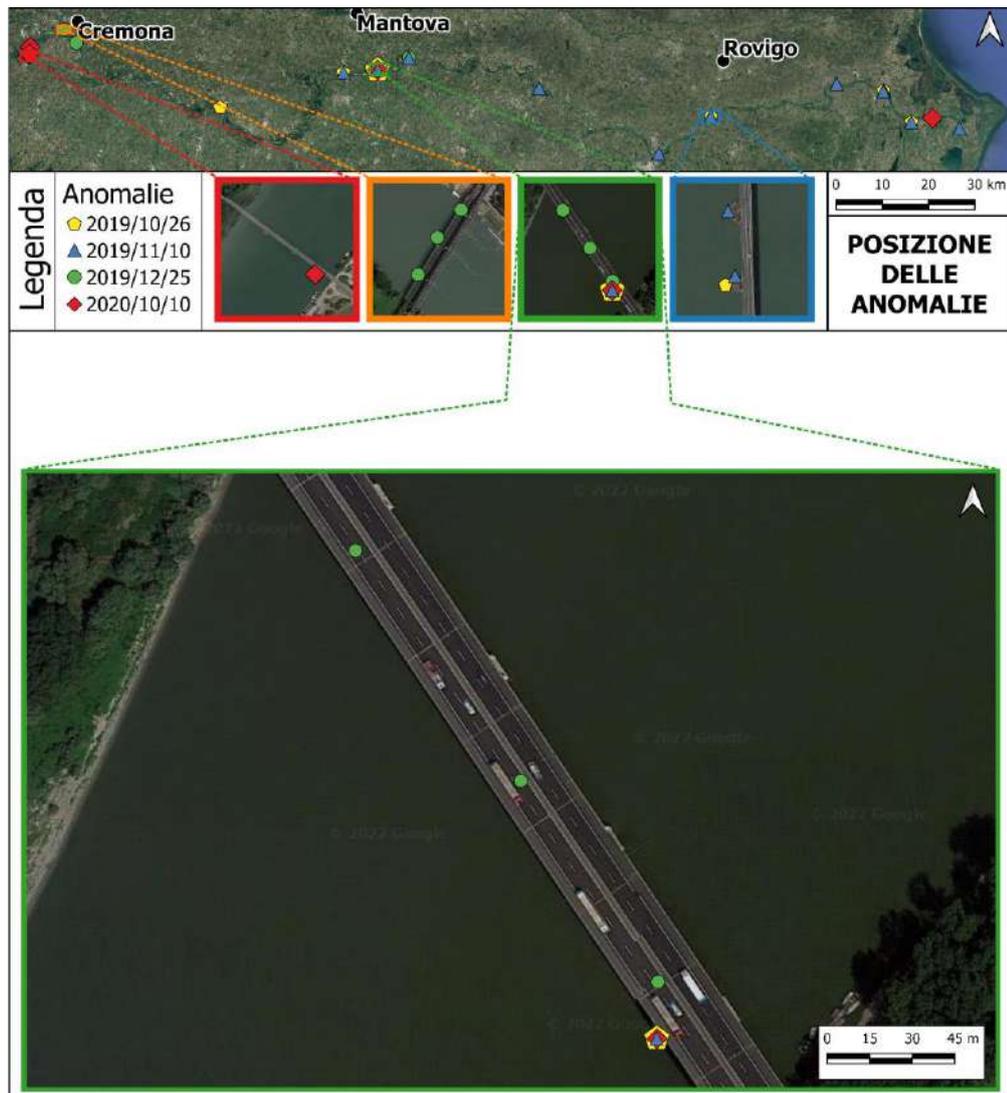


Figura 55. Posizione delle anomalie. Le anomalie evidenziate nell'ingrandimento del rettangolo verde si localizzano per tutte le date analizzate a ridosso del pilastro del ponte in basso a destra.

Come validazione si riportano due esempi di zattere identificate a ridosso delle pile dei ponti e non utilizzate nella fase di calibrazione come verità a terra. Prendendo in considerazione la finestra di colore blu con una scala maggiorata in Figura 128, si osserva che le anomalie sono perfettamente sovrapposte ad un accumulo di materiale flottante vegetale stabile presente nelle immagini ad alta risoluzione scattate da Google Earth. Prendendo in considerazione invece il riquadro di colore verde a più grande scala nella parte bassa di Figura 129, si può chiaramente notare che, per tutte e quattro le date prese in considerazione, le anomalie sono sempre localizzate al ridosso della pila del ponte in basso a destra. Lo stesso fenomeno si verifica anche per le altre anomalie presenti nei riquadri di colore rosso, arancio e blu.

Conoscendo la posizione delle anomalie, il numero e la dimensione dei pixel che le costituiscono si è calcolata la superficie totale del potenziale detrito flottante al ridosso delle pile dei ponti e di quello flottante all'interno del canale bagnato del fiume Po (Tabella 34). Il calcolo della superficie va interpretato come approssimativo dal momento che, come visto precedentemente, il detrito flottante con un'elevata densità e dimensioni areali inferiori rispetto a quelle della risoluzione geometrica di

Sentinel 2 può influenzare anche i valori di riflettanza adiacenti alla reale anomalia. Questo comporta quindi una sovrastima del materiale flottante presente.

Tabella 34. Quantificazione della superficie delle anomalie. Conoscendo il numero di pixel e la loro dimensione è stata calcolata approssimativamente la superficie del detrito flottante.

AREA PIXEL SENTINEL 2 = 100 m ²	Quantificazione Superficie delle Anomalie			
	Date			
	26/10/2019	10/11/2019	25/12/2019	10/10/2020
Numero di Anomalie Ponti (Pixel)	11	31	17	3
Numero di Anomalie Canale (Pixel)	-	2	-	8
Superficie delle Anomalie Ponti (m ²)	1100	3100	1700	300
Superficie delle Anomalie Canale (m ²)	-	200	-	800

Considerazioni conclusive

La rilevabilità di rifiuti plastici mediante Sentinel 2 è già stata testata da studi precedenti, ma solo in ambiente marino (Biermann et al., 2020; Themistocleous et al, 2020). Viceversa, attualmente non esistono applicazioni di questo tipo condotte su acque interne, per le quali sono stati sviluppati invece alcuni modelli di tipo concettuale (Liro et al., 2020). Quindi la rilevabilità di oggetti flottanti utilizzando i dati forniti dal satellite Sentinel 2 in questi ambienti risulta essere ad oggi essenzialmente sconosciuta.

La verifica della rilevabilità e della sensibilità del satellite testata con l'installazione di due zattere: una di plastica e l'altra di plastica e materiale vegetale nella ex cava di Motta Baluffi (Cr) ha dimostrato che la rilevabilità di oggetti flottanti all'interno del canale bagnato del fiume Po è limitata dalla relativa bassa risoluzione geometrica delle immagini Sentinel 2 (10m x 10), che rende ardua la ricerca di oggetti che hanno una dimensione areale inferiore alla risoluzione geometrica dell'immagine. Inoltre, un ulteriore fattore di controllo sulla rilevabilità è dato dalla densità areale dei singoli elementi. Una maggiore densità, nonostante una dimensione dell'oggetto inferiore rispetto ai pixel delle immagini di Sentinel 2, porta ad un aumento dei valori di riflettanza e quindi alla possibilità di identificare il materiale flottante all'interno del canale bagnato. Infatti, le due zattere installate sono caratterizzate da dimensione areale (150 m²) di poco superiore a quella di un pixel fornito dal satellite Sentinel 2 (100 m²) e da una densità di materiale plastico o plastico e legnoso relativamente bassa (circa il 19%, probabilmente paragonabile a quella che si verifica in condizioni naturali nel canale bagnato di un fiume). Ciononostante, esse risultano ben visibili e distinguibili dall'acqua tramite l'osservazione e l'elaborazione dell'informazione spettrale dell'infrarosso vicino fornita da Sentinel 2.

La sperimentazione eseguita conferma quindi la possibilità di utilizzare immagini Sentinel 2 per il riconoscimento in ambiente fluviale di detrito flottante costituito da legname e/o plastica, avente estensione areale di alcune decine di metri quadrati e densità relativamente ridotte. Al contrario, è ancora incerta, necessitando di ulteriori sperimentazioni, la possibilità di stimare la probabilità di presenza specifica di plastica miscelata al detrito flottante identificato da satellite.

La difficile distinzione tra le zattere di sola plastica e di plastica con vegetazione ha consentito di sviluppare e applicare un indice delle anomalie all'interno del canale bagnato del fiume Po, per il riconoscimento ad ampia scala di generico "detrito flottante". Questo perché all'interno dei corsi d'acqua la via preferenziale per il trasporto della plastica è all'interno di zattere di legname flottanti (Schreyers et al., 2022b). Questo lavoro ha quindi puntato all'identificazione e quantificazione dei rifiuti plastici e legnosi e al monitoraggio delle zattere flottanti per scopi geomorfologici al fine di comprendere al meglio i processi fluviali (Gurnell et al., 2002).

Si è proceduto quindi all'applicazione del detector al fiume Po, che ha necessitato della sperimentazione di tre differenti indici normalizzati e di un filtro matriciale per effettuare il filtraggio e la verifica delle anomalie mediante l'analisi spettrale di quattro verità a terra presenti a ridosso delle pile dei ponti. Tali indici sono tutti fortemente determinati dalla banda 08 di Sentinel 2, poiché la sperimentazione ha dimostrato l'efficacia dell'infrarosso vicino quale lunghezza d'onda dello spettro più efficace nel riconoscere materiali flottanti. I risultati inerenti alle verità a terra hanno rivelato che l'indice NDWI risulta essere il migliore indice normalizzato per l'individuazione di zattere flottanti al ridosso delle pile dei ponti. Si è quindi proceduto ad applicare l'indice NDWI a 300 km dell'asta del fiume Po, da poco a monte di Cremona fino al delta, in quattro differenti date in cui vi era una portata superiore rispetto alla portata ordinaria, situazione che aumenta la probabilità di riscontrare materiale flottante nel canale bagnato. L'applicazione ha identificato numerose anomalie (quindi potenziale presenza di detrito flottante) a ridosso delle pile dei ponti (si veda Tabella 34), alcune delle quali verificate dalle immagini satellitari disponibili (Figura 128 e 129). Pertanto, la

presenza di numerose zattere a ridosso dei ponti è coerente con l'osservazione che questi siano le zone dove è più probabile che si concentri il detrito flottante a seguito di aumenti del livello idrologico più o meno intensi e dove può localizzarsi per periodi più o meno lunghi a seconda delle condizioni locali. Da questi risultati sembra che il fiume Po trasporti un numero relativamente limitato di zattere flottanti e che la maggior parte di esse vengano temporaneamente intercettate e bloccate dalle pile in alveo dei ponti stradali e ferroviari. Questo è comunque un risultato parziale poiché è probabile che gli eventi con portate maggiori non siano stati inclusi nell'analisi per la presenza di nuvole. Ed è durante gli eventi di portata maggiore che è possibile osservare il maggior numero di detrito flottante. Inoltre, il detrito flottante può variare in modo molto significativo anche per portate confrontabili, a seconda delle condizioni che si sono create nei bacini a monte drenati dal fiume Po.

3 SINTESI DEI RISULTATI E POSSIBILI ATTIVITÀ FUTURE

Il progetto MAPP ha portato a termine una approfondita ricerca sui rifiuti di plastica galleggianti lungo l'intero corso del Po, utilizzando metodiche finalizzate alla comprensione di aspetti differenti del fenomeno del riverine litter.

È stato realizzato un censimento visivo dei rifiuti trasportati dal fiume mediante osservazione da punti sopraelevati - adattando la metodologia messa a punto da JRC nell'ambito del progetto RIMMEL "Riverine and Marine floating macro litter Monitoring and Modelling of Environmental Loading" – localizzati in 5 stazioni distribuite dal tratto iniziale, in Piemonte, fino al delta del Po. È la prima volta che in Italia l'approccio della visual observation viene utilizzato in maniera diffusa su un grande fiume, consentendo di caratterizzare il fenomeno anche per singoli tratti. Solitamente, anche a livello internazionale, le osservazioni sono state effettuate su una sola stazione, posta in prossimità della foce.

Per la simulazione delle modalità di spostamento del plastic floating litter è stato messo a punto un sistema originale di tracciamento, costituito da una serie di trasmettitori di posizione e da un GIS per la raccolta e l'elaborazione dei dati inviati dai tracker.

Infine, è stata verificata la possibilità di utilizzare sia i dati satellitari liberamente disponibili del satellite Sentinel 2 che le tecniche di analisi spettrali per l'identificazione e la localizzazione di ammassi di rifiuti plastici flottanti nel fiume.

In entrambi i casi si tratta di applicazioni del tutto innovative riferite ad un corso d'acqua, poiché sperimentazioni analoghe erano state finora testate solo in ambiente marino.

Il progetto MAPP ha dunque sviluppato contenuti scientifici di grande rilievo ma, allo stesso tempo, ha anche costruito un quadro conoscitivo utile a supportare la futura definizione di azioni concrete di prevenzione e gestione della problematica.

Relativamente agli esiti della visual observation, è verosimile che i dati complessivi siano leggermente sottostimati, a causa della difficoltà di avvistamento e identificazione dei materiali più piccoli, determinata dalla notevole altezza dei ponti e dal basso livello idrologico che ha caratterizzato il fiume per tutto il 2022. Cionondimeno, i valori di numero oggetti/ora registrati nelle 5 stazioni, unitamente all'analisi delle classi dimensionali, sembrano indicare che la quantità totale di floating plastic litter trasportata dal Po (da 106.15 ± 43.98 – media oraria primaverile a 152.31 ± 53.78 – media oraria estiva - nella stazione di Pontelagoscuro) è fortemente inferiore rispetto a quella attribuita in passato da stime modellistiche.

Questa valutazione è suffragata dai risultati di altri progetti di monitoraggio delle plastiche realizzati in Italia. L'iniziativa Po d'Amare ha previsto la selezione e raccolta dei rifiuti galleggianti attraverso l'installazione di un dispositivo di raccolta che è stato collocato in tratti diversi del Po, rappresentativi di condizioni ambientali e di contesto territoriale molto differenti. Nei 3 cicli di applicazione, le quantità di rifiuti raccolti sono state sempre contenute e decisamente al di sotto di quanto atteso, soprattutto quando la barriera è stata posizionata in ambito urbano.

Recentemente ISPRA ha presentato i primi risultati di un'attività di monitoraggio, durata 1 anno, sui macro rifiuti galleggianti (> di 2,5 cm) veicolati da 12 fiumi italiani. Il trasporto di litter da parte di questi corsi d'acqua è stato registrato da punti di osservazione posti in prossimità della foce,

applicando anche in questo caso una versione adattata del metodo Rimmel. La media annua del numero degli oggetti/ora riscontrata sul Po è pari a $33,2 \pm 10,8$, un valore sostanzialmente comparabile a quelli riscontrati in questa ricerca – tenuto conto delle differenze di metodo e di localizzazione delle stazioni di osservazione.

Sebbene non sia agevole – come asserito da numerosi studi (ad esempio Jia et al., 2023 e Hurley et al., 2023) – mettere a confronto dati di riverine litter su corsi d'acqua diversi, a causa di una serie di fattori ambientali e di inevitabili differenze intrinseche alle modalità di svolgimento delle ricerche, è bene evidenziare che gli studi più recenti stanno correggendo le valutazioni del passato riguardo al ruolo dei grandi fiumi, che erano stati individuati come possibili responsabili del trasporto di circa il 90 % dei rifiuti di plastica che dalle acque interne arrivano a mare (Lebreton et al., 2017).

Ad esempio Meijer et al. (2021), analizzando dati provenienti da 1.656 corsi d'acqua, sono giunti alla conclusione che l'80 % dei rifiuti di plastica viene in realtà portato da circa 1.000 corpi idrici, con un forte contributo di quelli, anche di piccole dimensioni, che attraversano aree urbane densamente popolate. Un dato che sembra trovare riscontro anche nella ricerca di ISPRA, che ha registrato il valore più elevato sul Sarno.

Rispetto a questa tendenza i dati di MAPP sono invece parzialmente differenti. La stazione di Verolengo, posta poca dopo la città di Torino, è quella interessata da minori quantità di floating litter, un risultato che conferma quanto emerso nel corso del progetto Po d'Amare - allorché la barriera posta nel tratto torinese del Po intercettò 63 kg di rifiuti in circa 4 mesi - e che testimonia l'elevata variabilità del fenomeno del floating litter in funzione di numerose componenti ambientali e socio-economiche.

L'analisi complessiva mostra un andamento tendenzialmente crescente delle quantità di plastic litter procedendo da monte verso valle, a meno di una flessione rilevata successivamente alla stazione di Isola Serafini (PC), quasi certamente da attribuire alla presenza della centrale idroelettrica, sia per la rimozione periodica dei rifiuti intercettati dallo sgrigliatore a servizio della suddetta centrale, sia per il probabile accumulo indotto dallo sbarramento. Non è un caso che questa stazione sia caratterizzata anche dai valori più elevati di rifiuti riscontrati lungo le sponde.

La distribuzione nel corso delle 4 stagioni di campionamento evidenzia quantità sensibilmente maggiori di rifiuti trasportati in autunno e inverno, un risultato che in parte dipende anche dalla maggiore difficoltà di osservazione nei mesi in cui il livello del fiume è stato particolarmente basso.

È interessante sottolineare la netta predominanza di frammenti o oggetti di piccole dimensioni, inferiori a 10 cm, che rappresentano l'80,9 % del totale degli items registrati, un valore peraltro da ritenersi sottostimato, in ragione della forte difficoltà di avvistamento e identificazione.

Questo dato può essere messo in relazione con uno degli aspetti emersi dall'analisi dei comportamenti di spostamento dei tracciatori nel fiume. Solo 12 di quelli immessi nel Po hanno raggiunto il mare. Questo risultato conferma che i tempi di permanenza nei corsi d'acqua degli oggetti più grandi possono essere elevati. Non è un caso che la percentuale di rifiuti di plastica con dimensione maggiore di 10 cm ritrovato sulle sponde (52,2 %) risulta notevolmente superiore a quello osservato da ponte (19,1 %), pur tenendo conto che in acqua quelli più grandi e pesanti ovviamente non vengono intercettati perché vanno a fondo. I tempi lunghi di sosta degli oggetti determinano l'avvio di fenomeni di degrado e la conseguente circolazione di frammenti e *microlitter*.

In questa ottica l'identificazione dei percorsi preferenziali compiuti dai tracker e delle potenziali aree di sosta può essere molto utile per la pianificazione di azioni di rimozione e prevenzione. L'analisi compiuta da MAPP ha evidenziato la presenza di otto zone d'accumulo principali, di cui quattro nel

tratto a monte, da Torino a Isola Sant'Antonio, due in quello centrale, tra Isola Serafini e Boretto, e due in quello a valle, tra Pontelagoscuro e la foce del fiume.

Nel corso dei periodi di maggiore carenza idrica i tracciatori si sono fermati lungo le sponde, le barre centrali e laterali e anche in corrispondenza delle pile dei ponti, in particolare in mezzo ad accumuli di rami. Ma è stata soprattutto la vegetazione spondale a esercitare l'azione più diffusa e duratura di sequestro dei tracker. La rimobilizzazione di quelli incagliati è avvenuta con dinamiche diverse, dalle quali non emergono elementi particolarmente determinanti e tendenza univoche. In particolare, non sono state registrati specifici valori di portata in corrispondenza dei quali i trasmettitori hanno avuto comportamenti di spostamento uniformi. Non si è, dunque, evidenziata una soglia di portata oltre la quale i tracciatori vengono certamente movimentati ma è stato osservato che ciò avviene di frequente in corrispondenza di un sensibile e rapido aumento del livello idrico, anche se le distanze percorse successivamente dai trasmettitori possono essere anche molto brevi. Infatti, neanche eventi come quelli di maggio 2023 – durante il quale si sono registrate portate sensibilmente superiori a quelle dei mesi precedenti - sono stati sufficienti a veicolare a mare i tracker. Tra quelli rilasciati nella stazione più a valle di Pontelagoscuro (Fe), che in media durante quell'evento hanno compiuto uno spostamento di poco più di 40 km, solo uno è giunto in Adriatico mentre gli altri sono rimasti intrappolati nella vegetazione della zona di foce.

I dati di MAPP hanno invece evidenziato una correlazione positiva tra aumento della portata – e conseguentemente della velocità dell'acqua - e incremento della rapidità di spostamento dei trasmettitori.

Infine, la verifica della rilevabilità e sensibilità delle immagini da satellite messe a disposizione da Sentinel 2, testata con la sperimentazione nella ex cava di Motta Baluffi, ha dato esito positivo. Le due zattere installate, di dimensione di poco superiore a quella di un pixel fornito dal satellite Sentinel 2 e realizzate con una densità di materiale plastico relativamente bassa - circa il 19%- per replicare una condizione che probabilmente si verifica in condizioni naturali in alveo, sono risultate chiaramente distinguibili dall'acqua tramite l'osservazione e l'elaborazione dell'informazione spettrale dell'infrarosso vicino. Come detto, si tratta di un risultato scientificamente molto interessante, poiché finora non erano state realizzate applicazioni di questo tipo su corsi d'acqua, per i quali ci si era limitati alla messa in opera di modelli esclusivamente concettuali (Liro et al., 2020).

Successivamente è stato quindi sviluppato e applicato un detector delle anomalie all'interno del canale bagnato del fiume, in grado di distinguere ammassi di generico "detrito flottante". Questo sistema di monitoraggio potrà dunque essere applicato sia per l'identificazione di eventuali accumuli di plastica di grandi dimensioni – che nella maggior parte dei casi si spostano all'interno di zattere di legname flottanti (Schreyers et al., 2022b) – che, più generalmente, per il controllo delle zattere flottanti per scopi geomorfologici. L'osservazione realizzata nell'ambito di MAPP ha evidenziato che tali ammassi si arrestano soprattutto in corrispondenza delle pile dei ponti.

In conclusione, MAPP rappresenta una iniziativa di elevato interesse tecnico e scientifico internazionale - in considerazione della carenza di sperimentazioni sistematiche su corsi d'acqua, specie di dimensioni e importanza paragonabili a quelle del Po – e ha anche raccolto una serie di informazioni utili per una migliore comprensione delle dimensioni della problematica del plastic litter.

Per quanto concerne la visual observation sarebbe interessante replicare le osservazioni già realizzate, soprattutto nella stazione di foce, per avere un periodo di analisi più lungo e rappresentativo e comparare informazioni raccolte anche in annate con condizioni idrologiche sensibilmente differenti.

Per una migliore misurazione dei rifiuti che transitano sul Po, sarebbe inoltre utile avere un controllo esatto delle quantità che vengono periodicamente rimosse in corrispondenza dell'impianto della centrale idroelettrica di Isola Serafini, con esame e classificazione del materiale, così da avere una informazione di maggior dettaglio sulle tipologie di materiale e sul settore di provenienza.

Inoltre, si dovrebbe allargare il monitoraggio ad altri corpi idrici dell'area terminale del bacino, in particolare quelli che nel loro tratto finale attraversano zone a forte urbanizzazione.

Anche la ricerca sulle modalità di spostamento potrebbe essere replicata, al fine di valutare gli effetti di condizioni idrologiche differenti. Oltre a ciò, dovrebbe essere realizzata una più approfondita indagine sulle principali zone di accumulo identificate, per analisi di una maggiore comprensione delle condizioni locali che favoriscono la permanenza dei rifiuti. In corrispondenza di tali siti si potrebbero realizzare dei transetti di controllo, per una ulteriore conoscenza della tipologia di materiali che rimangono intrappolati nella vegetazione.

Per quanto attiene all'utilizzo di immagini satellitari, sarebbe utile applicare gli indici messi a punto ad un numero elevato di date e realizzare una serie di rilievi di campo, per una loro più accurata calibrazione a singole peculiarità del corso del fiume. Si potrebbe così verificare la possibilità di identificare specifiche finestre di intensità spettrale che indichino differenti densità di plastica all'interno delle zattere di vegetazione. Questa informazione darebbe all'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po uno strumento capace di monitorare nel tempo gli aspetti qualitativi e quantitativi del detrito flottante, gestendo in maniera dinamica informazioni di carattere ambientale e geomorfologico.

BIBLIOGRAFIA

1. Al-Zawaidah, H., Ravazzolo, D., & Friedrich, H. (2021). Local geomorphic effects in the presence of accumulations of different densities. *Geomorphology*, 389, 107838.
2. ARPAE (2021a). Bollettino Mensile a cura della Struttura Idro-Meteo-Clima. Anno II, n.8, Agosto 2021
3. ARPAE (2021a). Bollettino Mensile a cura della Struttura Idro-Meteo-Clima. Anno II, n.9, Settembre 2021
4. ARPAE (2022). Bollettino Mensile a cura della Struttura Idro-Meteo-Clima. Anno III, n.6, Giugno 2022
5. ARPAE (2023a). *Bollettino Mensile* a cura della Struttura Idro-Meteo-Clima. Anno IV, n. 5, Maggio 2023
6. ARPAE (2023b). Bollettino Mensile a cura della Struttura Idro-Meteo-Clima. Anno IV, n. 6, Giugno 2023
7. Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (2022). Bollettino n° 17/2022 a cura di Osservatorio permanente sugli utilizzi idrici nel distretto idrografico del fiume Po https://www.adbpo.it/wp-content/uploads/2022/10/17_Bollettino_12ottobre22_Osservatorio.pdf
8. Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (2023). Bollettino n° 1/2023 a cura di Osservatorio permanente sugli utilizzi idrici nel distretto idrografico del fiume Po https://www.adbpo.it/wp-content/uploads/2023/02/01_Bollettino-Osservatorio_09feb23.pdf
9. Azevedo-Santos, V. M., Brito, M. F., Manoel, P. S., Perroca, J. F., Rodrigues-Filho, J. L., Paschoal, L. R., ... & Pelicice, F. M. (2021). Plastic pollution: A focus on freshwater biodiversity. *Ambio*, 50(7), 1313-1324.
10. Biermann, L., Clewley, D., Martinez-Vicente, V., & Topouzelis, K. (2020). Finding plastic patches in coastal waters using optical satellite data. *Scientific reports*, 10(1), 5364.
11. Bruge, A., Barreau, C., Carlot, J., Collin, H., Moreno, C., & Maison, P. (2018). Monitoring litter inputs from the Adour River (Southwest France) to the marine environment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(1), 24.
12. Carbonneau, P. E., Belletti, B., Micotti, M., Lastoria, B., Casaioli, M., Mariani, S., ... & Bizzi, S. (2020). UAV-based training for fully fuzzy classification of Sentinel-2 fluvial scenes. *Earth surface processes and landforms*, 45(13), 3120-3140.
13. Castro-Jiménez, J., González-Fernández, D., Fornier, M., Schmidt, N., & Sempéré, R. (2019). Macro-litter in surface waters from the Rhone River: Plastic pollution and loading to the NW Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 60-66.
14. Cesarini, G., & Scalici, M. (2022). Riparian vegetation as a trap for plastic litter. *Environmental Pollution*, 292, 118410.
15. Cesarini, G., Crosti, R., Secco, S., Gallitelli, L., & Scalici, M. (2023). From city to sea: Spatiotemporal dynamics of floating macrolitter in the Tiber River. *Science of The Total Environment*, 857, 159713.
16. Commissione Europea (2008). Direttiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 17 giugno 2008 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (Direttiva quadro sulla Strategia Marina Europea)

17. Commissione Europea (2019). Direttiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 giugno 2019 sulla riduzione dell'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente
18. Corcoran, P. L. (2015). Benthic plastic debris in marine and fresh water environments. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(8), 1363–1369
19. Crosti, R., Arcangeli, A., Campana, I., Paraboschi, M., & González-Fernández, D. (2018). 'Down to the river': amount, composition, and economic sector of litter entering the marine compartment, through the Tiber river in the Western Mediterranean Sea. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 29(4), 859-866.
20. EC JRC (2016). European Commission, Joint Research Center. Exploratory Research Project: RIMMEL (Riverine and Marine floating macro litter Monitoring and Modeling of Environmental Loading). Available online at: http://mcc.jrc.ec.europa.eu/dev.py?N=simple&O=380&titre_page=RIMMEL&titre_chap=JRC%20Projects
21. Fleet, D., Vlachogianni, T., & Hanke, G. (2021). A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring. *EUR 30348 EN*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-21445-8, doi:10.2760/127473, JRC121708.
22. González-Fernández, D., & Hanke, G. (2017). Toward a harmonized approach for monitoring of riverine floating macro litter inputs to the marine environment. *Frontiers in Marine Science*, 4, 86.
23. González-Fernández, D., Cózar, A., Hanke, G., Viejo, J., Morales-Caselles, C., Bakiu, R., ... & Tourgeli, M. (2021). Floating macrolitter leaked from Europe into the ocean. *Nature Sustainability*, 4(6), 474-483.
24. Gurnell, A. M., Piégay, H., Swanson, F. J., & Gregory, S. V. (2002). Large wood and fluvial processes. *Freshwater biology*, 47(4), 601-619.
25. Harris, C. R., Millman, K. J., Van Der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... & Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357-362.
26. Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in science & engineering*, 9(03), 90-95.
27. Hurley, R., Braaten, H. F. V., Nizzetto, L., Steindal, E. H., Lin, Y., Clayer, F., ... & Olsen, M. (2023). Measuring riverine macroplastic: Methods, harmonisation, and quality control. *Water Research*, 119902.
28. Jia, T., Kapelan, Z., de Vries, R., Vriend, P., Peereboom, E. C., Okkerman, I., & Taormina, R. (2023). Deep learning for detecting macroplastic litter in water bodies: A review. *Water Research*, 119632.
29. Kershaw, P. J. (2016). Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environmental Programme (UNEP).
30. Kiessling, T., Knickmeier, K., Kruse, K., Brennecke, D., Nauendorf, A., & Thiel, M. (2019). Plastic Pirates sample litter at rivers in Germany—Riverside litter and litter sources estimated by schoolchildren. *Environmental Pollution*, 245, 545-557.

31. Lebreton, L. C., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8(1), 15611.
32. Liro, M., Emmerik, T. V., Wyżga, B., Liro, J., & Mikuś, P. (2020). Macroplastic storage and remobilization in rivers. *Water*, 12(7), 2055.
33. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
34. Meijer, L. J., van Emmerik, T., Van Der Ent, R., Schmidt, C., & Lebreton, L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Science Advances*, 7(18), eaaz5803.
35. Montanari, A., Nguyen, H., Rubineti, S., Ceola, S., Galelli, S., Rubino, A., Zanchettin, D. (2023). Why the 2022 Po River drought is the worst in the past two centuries. *Science Advances* 9 Aug 2023 - Vol 9, Issue 32 DOI: 10.1126/sciadv.adg8304
36. Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11(1), 65–73.
37. Ravazzolo, D., Mao, L., Picco, L., Sitzia, T., & Lenzi, M. A. (2015). Geomorphic effects of wood quantity and characteristics in three Italian gravel-bed rivers. *Geomorphology*, 246, 79-89.
38. Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Campodónico, C. K., & Thiel, M. (2015). Sampling of riverine litter with citizen scientists—findings and recommendations. *Environmental monitoring and assessment*, 187, 1-18.
39. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
40. Schmidt, C., Krauth, T., & Wagner, S. (2017). Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environmental science & technology*, 51(21), 12246-12253.
41. Schreyers, L., Van Emmerik, T., Nguyen, T. L., Castrop, E., Phung, N. A., Kieu-Le, T. C., ... & van Der Ploeg, M. (2021). Plastic plants: the role of water hyacinths in plastic transport in tropical rivers. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 177
42. Schreyers, L., Bui, T. K., van Emmerik, T., Biermann, L., & van der Ploeg, M. (2022a). Stuck in vegetation: the role of hyacinths in macroplastic debris accumulation in tropical rivers. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU22-8453).
43. Schreyers, L., van Emmerik, T., Biermann, L., & van der Ploeg, M. (2022b). Direct and Indirect River Plastic Detection from Space. In *IGARSS 2022-2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 5539-5542). IEEE.
44. Shumilova, O., Tockner, K., Gurnell, A. M., Langhans, S. D., Righetti, M., Lucía, A., & Zarfl, C. (2019). Floating matter: a neglected component of the ecological integrity of rivers. *Aquatic Sciences*, 81, 1-20.
45. Themistocleous, K., Papoutsas, C., Michaelides, S., & Hadjimitsis, D. (2020). Investigating detection of floating plastic litter from space using sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 12(16), 2648.
46. United Nations Environment Programme / Mediterranean Action Plan (2015). *Marine Litter Assessment in the Mediterranean*, UNEP/MAP, Athens.

47. United Nations Environment Programme (2021). *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*. Nairobi.
48. van Emmerik, T. & Schwarz, A. (2019). Plastic debris in rivers. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7. 10.1002/wat2.1398
49. van Emmerik, T., Vriend, P., & Roebroek, J. (2020). *An evaluation of the River-OSPAR method for quantifying macrolitter on Dutch riverbanks*. Wageningen University.
50. Van Rossum, G., & Drake, F. L. (1995). *Python reference manual* (Vol. 111, pp. 1-52). Amsterdam: Centrum voor Wiskunde en Informatica.
51. Vriend, P., Roebroek, C. T., & Van Emmerik, T. (2020). Same but different: A framework to design and compare riverbank plastic monitoring strategies. *Frontiers in water*, 2, 563791.
52. Williams, A. T., & Simmons, S. L. (1996). The degradation of plastic litter in rivers: implications for beaches. *Journal of Coastal Conservation*, 2, 63-72.
53. Williams, A. T., & Simmons, S. L. (1997). Movement patterns of riverine litter. *Water, Air, and Soil Pollution*, 98, 119-139.
54. Williams, A. T., & Simmons, S. L. (1999). Sources of riverine litter: the river Taff, South Wales, UK. *Water, Air, and Soil Pollution*, 112, 197-216.
55. Windsor, F. M., Durance, I., Horton, A. A., Thompson, R. C., Tyler, C. R., & Ormerod, S. J. (2019). A catchment-scale perspective of plastic pollution. *Global Change Biology*, 25(4), 1207-1221.

SITOGRAFIA

1. Anaconda Software Distribution. (2020). Anaconda Documentation. Anaconda Inc. <https://docs.anaconda.com/>
2. Gillies, S. (2013). Mapbox, Rasterio: geospatial raster I/O for {Python} programmers. <https://github.com/rasterio/rasterio>.
3. Planetek Italia s.r.l. <https://www.planetek.it/>
4. Sentinel EO Browser. <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>, Sinergise Ltd.
5. Sentinel Playground. <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground>, Sinergise Ltd.
6. Planet Team (2017). Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA. <https://api.planet.com>.
7. QGIS Development Team (2022). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

ALLEGATI

Allegato 1. “The Joint List of Litter Categories (J-CODE list)” di JRC (Fleet et al., 2021)

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
CHEMICALS				
ch_nn_drk_	J216		unidentified generally dark-coloured oil-like chemicals	Unidentified generally dark-coloured oil-like chemicals, i.e. no chemical analysis carried out.
ch_nn_lig_	J217		unidentified generally light-coloured paraffin-like chemicals	Unidentified generally light-coloured paraffin-like chemicals, i.e. no chemical analysis carried out.
ch_nn_uch_	J218		unidentified chemicals	Any unidentified chemicals, i.e. no chemical analysis carried out.
Cloth/Textiles				
ct_cl_clg_	J137	G137	clothing	Any type of clothes, garments and headwear made of natural or artificial polymer materials.
ct_cl_ftw_	J138	G138	shoes & sandals made of leather and/or textile	Various types of footwear, such as shoes and sandals made of leather and/or textile.
ct_nn_cpt_	J141	G141	cloth textile carpet & furnishing	Thick woven fabric used for covering the floor or other fabric used for furniture, fittings, and other decorative house accessories such as curtains.
ct_nn_sac_	J140	G140	hessian sacks/packaging	Sacks and other packaging items made of a strong, coarse fabric from hemp or jute (Hessian).
ct_nn_sal_	J143	G143	sails, canvas	A heavy durable cloth made of cotton, hemp, or jute, used for sails, tents, etc.
ct_nn_tex_	J145	G145	other textiles	Other textile items, including pieces of cloth, rags, etc. that are unidentifiable, as well as other identifiable cloth textile items, which do not fit in any other category of this list.
ct_re_bps_	J139	G139	cloth textile backpacks & textile bags	Textile receptacles with an opening at the top, shoulder straps or a handle, used for carrying things.
FOOD WASTE				
fw_	J215	G215	food waste	All types of anthropogenic non-packaged food and food remains.
GLASS/CERAMICS				
gc_co_btc_	J204	G204	glass ceramic construction materials (bricks, tiles, cement)	Any glass and ceramic material which is used for construction purposes such as brick, roof tiles, floor tiles, bricks, cement, etc.
gc_fc_tab_	J203	G203	glass and ceramic tableware (plates/cups/glasses)	Glass or ceramic dishes or dishware used for serving food and dining, plates, cups, glassware, serving dishes and other useful items for practical as well as decorative purposes.
gc_fi_trp_octo_	J207	G207	ceramic or glass octopus pots	Pots made of pottery, weighted with concrete, and typically having a volume of 4 litres. Octopus seeking refuge in the pots can be trapped.
gc_nn_b&c_bott_	J200	G200	glass bottles	Glass or ceramic containers with a narrow neck, used for storing drinks or other liquids. Includes pieces of glass that can be identified as coming from a bottle.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
gc_nn_b&c_jars_	J201	G201	glass jars	Wide-mouthed cylindrical containers made of glass or pottery, especially used for storing food. Includes pieces of glass that can be identified as coming from a jar.
gc_nn_gfr_	J208	G208	pieces of glass/ceramic (glass or ceramic fragments ≥ 2.5 cm)	Fragments of pottery or glass items that cannot be identified (≥ 2.5 cm).
gc_nn_lit_fibu_	J205	G205	glass fluorescent light tube	A low-pressure mercury-vapour gas-discharge lamp that uses fluorescence to produce visible light.
gc_nn_lit_libu_	J202	G202	glass light bulbs	A glass bulb inserted into a lamp or a socket in a ceiling, which provides light by passing an electric current through a filament or a pocket of inert gas. Includes all types, also halogen, LED, etc.
gc_nn_occ_ocet_	J219		other ceramic items	Other identifiable ceramic items, which do not fit in any other category of this list.
gc_nn_occ_ogli_	J210	G210	other glass items	Other identifiable glass items, which do not fit in any other category of this list.
METAL				
me_co_cab_	J194	G194	metal cables	A thick metal wire or a group of wires usually inside a rubber or plastic covering, which is used to carry electricity or electronic signals.
me_fc_b&c_cans_bevg_	J175	G175	metal drinks cans	Metal containers that are used for storing and selling, e.g. beer or soft drinks.
me_fc_b&c_cans_fcan_	J176	G176	metal food cans	Metal containers that are used for storing and selling food such as beans, soup, fish, corn, etc.
me_fc_tab_	J181	G181	metal tableware (e.g. plates, cups & cutlery)	Metal dishes or dishware used for serving food and dining, including cutlery, plates, cups, serving dishes and other useful items.
me_fi_trp_	J184	G184	metal lobster/crab pots	A portable trap that traps lobsters or crayfish. It can be constructed of wire or metal and netting. An opening permits the lobster or crab to enter a tunnel of netting.
me_fi_wsl_	J182	G182	metal fisheries related weights/sinkers, and lures	Fisheries related items such as: weights/sinkers (a metal weight used in conjunction with a fishing lure or hook to increase its rate of sink, anchoring ability, and/or casting distance); lures (any bright artificial bait consisting of metal mounted with hooks and trimmed with feathers).
me_nn_app_	J180	G180	metal appliances (refrigerators, washers, etc.)	Metal (mostly electrical) devices or pieces of equipment designed to perform a specific task such as air conditioners, dishwashers, clothes dryers, freezers, refrigerators, kitchen stoves, water heaters, washing machines, trash compactors, microwave oven, etc.
me_nn_b&c_barl_	J187	G187	metal drums & barrels	Large cylindrical metal containers used for storing or shipping bulk cargo, i.e. oil, chemicals, etc.
me_nn_b&c_cans_aesp_	J174	G174	metal aerosol/spray cans	A type of dispensing system which creates an aerosol mist of liquid particles; used with a can or bottle that contains a payload and propellant under

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
				pressure. Indicative examples of such items are: spray paints, cleaning spray foam, engine oil spray, etc.
me_nn_b&c_cans_ocan_	J188	G188	other metal cans	Other metal containers that are used for storing and selling products that are not food or drinks or paints
me_nn_b&c_cans_ptin_	J190	G190	metal paint tins	Metal containers that are used for paint
me_nn_b&c_lids_	J178	G178	metal bottle caps, lids & pull tabs from cans	Metallic caps and lids from bottles and containers, including the pull tabs from cans
me_nn_bat_	J195	G195	metal household batteries	Small-sized batteries that are typically used in small electronic devices such as flashlights, cameras, etc.
me_nn_foi_	J177	G177	metal foil wrappers, aluminium foil	Thin aluminium sheeting or leaves used, especially, to cover and wrap food.
me_nn_ome_larg_	J199	G199	other metal pieces > 50cm	Other identifiable metal items that are bigger than 50 cm in the longest dimension and do not fit in any other item category of this list.
me_nn_ome_smal_	J198	G198	other metal pieces 2.5cm ≥ ≤ 50cm	Other identifiable metal items that are smaller than 50 cm in the longest dimension and do not fit in any other item category of this list.
me_nn_srp_	J186	G186	metal industrial scrap	Metal resulting from the disuse of metal products such as parts of vehicles, building supplies, and surplus materials.
me_nn_wir_	J191	G191	wire, wire mesh, barbed wire	A metal mesh woven, knitted, welded, expanded, photo-chemically etched or electroformed steel or other (wire mesh); a metal wire with or without clusters of short, sharp spikes set at short intervals along it, used to make fences.
me_re_bbq_	J179	G179	metal disposable BBQs	A single-use barbecue grill made from lightweight aluminium material.
me_vkprt_	J193	G193	metal vehicle parts / batteries	Any part of a car or other transport vehicle (i.e., boat) made predominantly of metal, including vehicle batteries. Excluding wheels.
ARTIFICIAL POLYMER MATERIALS / PLASTIC				
pl_ag_ghs_	J220		plastic sheeting from greenhouses	Plastic sheeting used to cover greenhouses generated during the construction, renovation, and demolition. This category is possibly only separable from other plastic sheeting by experienced workers.
pl_ag_lrg_	J221		plastic irrigation pipes	Plastic irrigation pipes from agriculture generated during construction, renovation, and demolition.
pl_ag_oag_	J222		other plastic items from agriculture	Other plastic items from agriculture generated during construction, renovation, and demolition.
pl_ag_pot_	J90	G90	plastic flower pots	A plastic container in which plants are grown.
pl_ag_tra_	J223		trays for seedlings of foamed plastic	A foamed plastic tray in which seedlings are grown.
pl_aq_shf_oyst_	J46	G46	plastic oyster trays	A special tray made of square mesh used for growing oysters. Trays may be single, double or triple stacked, with or without feet, doors, v-braces and hooks.
pl_aq_shf_sack_	J45	G45	plastic mussels/oyster mesh bags, net sack, socks	A special bag or sack made of extruded net which is used for growing (underwater) oysters and other shellfish species. These bags can have different sizes and shapes, e.g. sack-like and tubular and the mesh net can have different sizes.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
pl_aq_shf_tahi_	J47	G47	plastic sheeting from mussel culture (Tahitians)	Pieces of plastic sheeting about 50X40 cm which are cut at one end into fringes or stripes, so they look a little like a grass skirt from Hawaii. They are used to protect mussel cultures from animals that feed on mussels.
pl_cl_ftw_flip_	J102	G102	plastic flip-flops	A light sandal made of plastic, with a thong between the big and second toe.
pl_cl_ftw_shoe_	J136	G136	footwear made of plastic - not flip flops	Items of footwear made of plastic - not flip flops.
pl_cl_glv_hogl_	J40	G40	plastic gloves (household/dishwashing, gardening)	Gloves used to do household chores such as dishwashing, gardening, etc. They are typically made of different polymers, including latex, nitrile rubber, polyvinyl chloride. Less heavy-duty than industrial gloves.
pl_cl_glv_ingl_	J41	G41	plastic gloves (industrial/professional applications)	Gloves specifically dedicated to industrial applications, mechanical, engineering, agriculture, fisheries and aquaculture and construction. They are typically made of different polymers, including latex, nitrile rubber, polyvinyl chloride and neoprene.
pl_cl_glv_sugl_	J252		single-use plastic gloves	Single-use plastic gloves used, for example, in relation to the COVID-19 pandemic.
pl_cl_hdw_helm_	J69	G69	plastic hard hats/helmets	A hard or padded protective hat, various types of which are worn by construction workers, workers from offshore installations, soldiers, police officers, motorcyclists, sports players, and others.
pl_co_fom_pain_insu_	J256		foamed plastic insulation, including spray foam	Lightweight cellular foam (mainly foamed PU and PE materials) used especially for insulation (i.e. in walls, roofs, and foundations as thermal insulation and water barrier). Includes spray foam.
pl_co_oco_	J89	G89	plastic construction waste (not foamed insulation)	Plastic waste materials generated during the construction, renovation, and demolition of buildings or structures. These may include drainage pipes, waste pipes, plastic tubes for cables, etc. Not foamed insulation materials.
pl_fc_b&c_dbot_lage_	J8	G8	plastic drink bottles >0.5 l	Plastic bottles and containers with a volume larger than 0.5 litres, used to hold water, juice or other drinks for consumption.
pl_fc_b&c_dbot_sml_	J7	G7	plastic drink bottles ≤ 0.5 l	Plastic bottles and containers with a volume of 0.5 litres or less, used to hold water, juice or other drinks for consumption.
pl_fc_b&c_ffmd_	J224		plastic food containers made of foamed polystyrene	Foamed polystyrene containers used for carrying or storing food, such as fast food containers, lunchboxes, etc.
pl_fc_b&c_lids_drnk_	J21	G21	plastic caps/lids drinks	Plastic caps and lids from bottles and containers, used to hold water, juice or other drinks for consumption
pl_fc_b&c_pfoc_	J225		plastic food containers made of hard non-foamed plastic	Plastic containers used for carrying or storing food, such as fast-food containers, Tupperware, lunchboxes, etc. Made of non-foamed plastic.
pl_fc_sxp_	J1	G1	plastic 4/6-pack yokes & six-pack rings	Four or six-pack rings or yokes are a set of connected plastic rings that are used in multi-packs of drinks, particularly of drinks cans, to hold the cans together.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
pl_fc_tab_cups_fcup_	J226		cups and cup lids of foamed polystyrene	Single-use cups and their lids for coffee and other drinks; made of foamed polystyrene. They have a wide range of uses in restaurants, bakeries, or catering settings.
pl_fc_tab_cups_hpcp_	J227		cups and lids of hard plastic	Single-use cups and their lids for coffee and other drinks; made of non-foamed artificial polymer materials. They have a wide range of uses in restaurants, bakeries, or catering settings.
pl_fc_tab_cupt_cutl_	J228		plastic cutlery	Single-use knives, forks, and spoons.
pl_fc_tab_cupt_plat_	J229		plastic plates and trays	Single-use plates and trays made of artificial polymer material.
pl_fc_tab_stst_stir_	J230		plastic stirrers	Stirrers are used when serving hot drinks such as tea and coffee or other drinks such as cocktails.
pl_fc_tab_stst_strw_	J231		plastic straws	A drinking straw or drinking tube is a small pipe that allows its user to more conveniently consume a drink.
pl_fc_wrp_cwls_crsp_	J30	G30	plastic crisps packets/sweets wrappers	Plastic food packets and wrappers created and designed in various colours, materials, shapes, sizes and styles for crisp food products (i.e., potato chips, etc.) or sweets (i.e., chocolates, candy, ice-creams, etc.).
pl_fc_wrp_cwls_loly_	J31	G31	plastic lolly & ice-cream sticks	A plastic stick attached to the bottom of a popsicle/lolly/ice-cream or lollypop used as a handle to facilitate the eating process.
pl_fi_bag_hdsa_salt_	J85	G85	plastic commercial salt packaging	Heavy-duty sacks and other containers used for packaging and shipping salt.
pl_fi_box_fbox_	J58	G58	fish boxes - foamed polystyrene	Boxes made of foamed polystyrene, which are used for packaging fish or other seafood.
pl_fi_box_plbx_	J57	G57	fish boxes - hard plastic	Boxes made of plastic materials (other than expanded polystyrene), which are used for packaging fish or other seafood.
pl_fi_bte_	J92	G92	plastic bait containers/packaging	Plastic packaging (pouches, bags) and plastic containers suitable for storing, transporting, selling fishing baits.
pl_fi_fil_	J60	G60	plastic fishing light sticks / fishing glow sticks incl. packaging	An item that is used by anglers in order to make baits more attractive to fish. Fishing light sticks or glow sticks are typically tubes filled with fluorescent fluid. They can be found in a variety of sizes.
pl_fi_flb_	J62	G62	plastic floats for fishing nets	An item attached to the top of some types of fishing nets, like seine and trammel, that keeps them hanging vertically in the water. Floats come in different sizes and shapes.
pl_fi_lin_	J59	G59	plastic fishing line	A long nylon thread, usually attached to a baited hook, with a sinker or float, and used for catching fish. The fishing line may be found tangled or not and with or without hooks, sinkers and floats.
pl_fi_net_larg_	J54	G54	plastic nets and pieces of net > 50cm	Pieces of plastic open-meshed material made of twine, cord, or something similar, used typically for catching fish; bigger than 50 cm in the longest dimension.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
pl_fi_net_smal_	J53	G53	plastic nets and pieces of net 2.5 cm ≥ ≤ 50 cm	Pieces of plastic open-meshed material made of twine, cord, or something similar, used typically for catching fish; smaller than 50 cm in the longest dimension.
pl_fi_net_strg_drop_	J232		plastic string and filaments exclusively from dolly ropes	Strings and filaments from blue, black or orange string that are used to protect bottom trawling nets against wear and tear. A dolly rope consists of around 30 strings; each string has around 25 threads.
pl_fi_net_strg_fish_	J233		other plastic string and filaments exclusively from fishery	Other string and filaments exclusively from fishery.
pl_fi_net_tang_mixd_	J234		plastic tangled nets and rope without dolly rope or mixed with dolly rope	Tangled pieces of plastic open-meshed material made of twine, cord, or something similar, used typically for catching fish. They may be found tangled with rope or dolly rope.
pl_fi_net_tang_tadr_	J235		plastic tangled dolly rope	Tangles of blue, black or orange rope that are used to protect bottom trawling nets against wear and tear. A dolly rope consists of around 30 strings; each string has around 25 threads. The dolly rope string as well as the separated threads, can occur in tangles in the marine environment. Tangles of dolly rope should consist entirely of dolly rope.
pl_fi_ofi_	J61	G61	other plastic fisheries related items not covered by other categories	Other fisheries related litter items that are not explicitly addressed by the fisheries related items included on this list, e.g. soft and hard plastic baits such as wobblers, spinners, etc.
pl_fi_trp_crab_	J42	G42	plastic crab/lobster traps (pots) and tops	Stationary plastic traps or pots used to catch crustaceans such as lobsters and crabs. Though the size and shape of the traps may vary, most feature a net covering and a cone-shaped entrance tunnel through which a crab or lobster is enticed with bait but cannot escape from.
pl_fi_trp_octo_	J44	G44	plastic octopus pots	Pots made of plastic or PVC tubing, weighted with concrete, and typically having a volume of 4 litres. Octopus seeking refuge in the pots can be trapped.
pl_hu_car_	J70	G70	plastic shotgun cartridges	A shotgun cartridge is a self-contained cartridge often loaded with multiple metallic "shot", which are small, generally spherical projectiles. The shells consist of a plastic tube mounted on a brass base holding a primer. Also plastic wads from shotgun cartridges can be found on their own.
pl_hy_b&c_bech_	J11	G11	plastic beach use related body care and cosmetic bottles and containers	Bottles and containers of body care and cosmetics products used at the beach such as sunscreen, suntan or after sun lotion, etc.
pl_hy_b&c_obch_	J12	G12	plastic non-beach use related body care and cosmetic bottles and containers	Bottles and containers of body care and cosmetics products such as shampoo, shower gel, toothpaste, perfume and others that are not explicitly used at the beach.
pl_hy_cbs_	J95	G95	plastic cotton bud sticks	A short plastic stick with a small amount of cotton on each end that is used for cleaning, especially the ears. The cotton is usually no-longer attached. The ends are rough when touched, where the cotton was attached. This feature can be used to separate from lolly sticks.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
pl_hy_com_	J29	G29	plastic combs/hair brushes/sunglasses	Plastic items used for untangling or arranging the hair, as well as plastic glasses tinted to protect the eyes from sunlight or glare.
pl_hy_dap_	J98	G98	plastic diapers/nappies	Basic garments for infants consisting of absorbent synthetic polymer material drawn up between the legs and fastened about the waist, used to retain urine and faeces.
pl_hy_ohy_	J236		other plastic personal hygiene and care items	Other identifiable personal hygiene and care items that do not fit in any other category of this list. Can be made of other materials than artificial polymers.
pl_hy_stt_sant_	J96	G96	plastic sanitary towels/panty liners/backing strips	Sanitary towels/panty liners/backing strips.
pl_hy_stt_tamp_	J144	G144	plastic tampons and tampon applicators	A feminine hygiene product designed to absorb the menstrual flow or a plug of material used to stop a wound or block an opening in the body and absorb blood or secretions. The tampon applicator should be recorded within this category.
pl_hy_tfr_	J97	G97	plastic toilet fresheners	Toilet bowl fresheners, which are attached inside the toilet bowl to keep it smelling fresh.
pl_hy_wws_	J237		plastic wet wipes	A small disposable synthetic cloth treated with a cleansing agent, used especially for personal hygiene.
pl_md_msk_	J253		plastic single-use face-mask	Single-use facemask used to protect against, for example, dust, chemicals and pathogens (e.g., COVID-19 pandemic).
pl_md_omd_	J211	G211	other plastic medical items (swabs, bandaging, adhesive plasters etc.)	Items deemed necessary for the treatment of an illness or injury. These may include swabs, bandaging, adhesive plasters, etc. Can be made of other materials than artificial polymers.
pl_md_pha_	J100	G100	plastic medical/ pharmaceuticals containers/tubes/ packaging	A wide variety of artificial polymer packages used for the packaging of a wide variety of pharmaceutical solids, liquids, and gases. Some of the common primary plastic packages are: blister packs, small bottles and containers, tubes, ampoules, etc.
pl_md_syg_	J99	G99	plastic syringes/needles	A plastic tube with a nozzle and piston or bulb for sucking in and ejecting liquid in a thin stream, used for cleaning wounds or body cavities, or fitted with a hollow needle for injecting or withdrawing fluids. Includes all parts of syringes (e.g. syringe plunger and the metal needle with plastic adapter) found separately.
pl_nn_b&c_cing_	J9	G9	plastic bottles and containers of cleaning products	Bottles and containers of cleaning products such as detergents, toilet cleaners, glass cleaners, etc.
pl_nn_b&c_eoil_larg_	J15	G15	plastic engine oil bottles & containers >50cm	Plastic bottles and containers bigger than 50 cm in any dimension, used for packaging motor oil, engine oil, or engine lubricant.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
pl_nn_b&c_eoil_smal_	J14	G14	plastic engine oil bottles & containers 2.5 cm ≤ < 50 cm	Plastic bottles and containers smaller than 50 cm in any dimension, used for packaging motor oil, engine oil, or engine lubricant.
pl_nn_b&c_injn_	J17	G17	plastic injection gun containers/cartridges	A cartridge made of plastic for devices that are used to inject grease, silicone, or other fluids. Includes their nozzles.
pl_nn_b&c_jery_	J16	G16	plastic jerry cans	Large plastic flat-sided containers with a handle used for storing or transporting liquids, typically petrol or water.
pl_nn_b&c_lids_dtgt_	J22	G22	plastic caps/lids chemicals, detergents (non-food)	Plastic caps and lids from bottles and containers of cleaning products (i.e. detergents, toilet cleaners, glass cleaners, etc.) and chemicals.
pl_nn_b&c_lids_olid_	J23	G23	plastic caps/lids unidentified	Plastic caps and lids from unidentified bottles and containers.
pl_nn_b&c_lids_ring_	J24	G24	plastic rings from bottle caps/lids	Plastic structures around the circumference (usually) of the closure that is often found attached below a closure in bottles, jars, and tubs. The bottom part of a cap that breaks off when the cap is screwed off.
pl_nn_b&c_ob&c_	J13	G13	other plastic bottles & containers (drums)	Other plastic bottles and containers such as drums (cylindrical containers) generally used for the transportation and storage of liquids and powders.
pl_nn_bag_cabg_	J3	G3	plastic shopping/carrier/grocery bags	Shopping bags are medium-sized bags, typically around 10–20 litres in volume (though much larger versions exist, especially for non-grocery shopping), that are used by shoppers to carry home their purchases. Shopping bags can be made with a variety of plastics.
pl_nn_bag_dogb_	J101	G101	plastic dog/pet faeces bag	A plastic bag used for picking up and removing the faeces of a dog or other pet.
pl_nn_bag_ends_	J5	G5	the part that remains from tear-off plastic bags	Plastic packing bags are commonly found on the market in packs of 10, 20, 50, etc. This litter item refers to the part that remains after tearing-off the bags.
pl_nn_bag_hdsa_ohds_	J36	G36	other plastic heavy-duty sacks	Non-salt heavy duty plastic sacks for content such as animal feed, fertilizers, garden rubbish, etc.
pl_nn_bag_mesh_vege_	J238		plastic mesh bags for vegetable, fruit and other products	A special mesh bag made out of polypropylene, polyethylene or high-density polyethylene used for packaging and transporting agricultural products such as vegetables, fruit, bird feed, etc.
pl_nn_bag_smbg_	J4	G4	small plastic bags	Small plastic bags refer to small-sized bags such as freezer bags, zip-lock re-sealable food bags, poly bags, etc.
pl_nn_bio_	J91	G91	plastic biomass holder from sewage treatment plants and aquaculture	Plastic Filter Media or Biofiltration Media are small (1-4 cm diameter ca. 1 cm high) usually round plastic items that look a bit like a cake. https://www.bing.com/images/search?q=Plastic+Filter+Media+or+Biofiltration+Media&FORM=HDRSC2
pl_nn_box_	J18	G18	plastic crates, boxes, baskets	Plastic containers typically used to transport or store different types of items and products, other than fisheries and aquaculture related.
pl_nn_buc_	J65	G65	plastic buckets	A roughly cylindrical open container with a handle made of plastic and used to hold and carry liquids

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
pl_nn_cbt_	J93	G93	plastic cable ties	A cable tie (also known as a wire tie, hose tie, steggel tie, zap strap or zip tie, and by the brand names Ty-Rap and Panduit strap) is a type of fastener, for holding items together, primarily electrical cables or wires.
pl_nn_cds_	J84	G84	plastic CDs & DVDs	Small plastic discs (and their keep cases) on which sound and data can be stored (CDs & DVDs).
pl_nn_cpa_shet_	J67	G67	plastic sheets, industrial packaging, sheeting	Large plastic packaging or sheeting used for the protection or covering/wrapping of large cargo objects. Plastic sheeting is used for a variety of industrial and commercial applications. It comes in many sizes, strengths, styles, and colours depending on the application.
pl_nn_fen_	J64	G64	plastic fenders	Plastic cushions (such as foam rubber) placed between a boat and a dock or between two boats to lessen shock and prevent chafing.
pl_nn_fib_	J68	G68	fibre glass items	Items made of fibreglass, a common type of fibre-reinforced plastic using glass fibre. Examples of fibreglass items include water pipes, pods, domes, traffic lights, pieces of boats etc.
pl_nn_fib_	J63	G63	plastic floats/buoys other source than fishing or not known	Plastic floats/buoys other source than fishing or not known. Floating devices that serve as navigation marks, marking reefs or other hazards, mooring locations. They can be anchored (stationary) or allowed to drift with ocean currents.
pl_nn_fom_nfpy_	J239		other foamed plastic items and fragments not made of foamed polystyrene	Items and fragments not made of foamed polystyrene (other than packaging or insulation related) made out of foamed sponge-like plastic, such as mattresses, bathing sponges, etc.
pl_nn_fom_pain_pack_	J257		foamed plastic packaging	Lightweight cellular foam (mainly foamed PU and PE materials) used as a packing material.
pl_nn_frg_fopy_larg_	J83	G83	fragments of foamed polystyrene > 50cm	Fragments of foamed polystyrene that are bigger than 50 cm in the longest dimension and originate from unidentifiable polystyrene items.
pl_nn_frg_fopy_smal_	J82	G82	fragments of foamed polystyrene 2.5 cm ≥ ≤ 50 cm	Fragments of foamed polystyrene that are bigger than 2.5 cm and smaller than 50 cm in the longest dimension and originate from unidentifiable polystyrene items.
pl_nn_frg_nofp_larg_	J80	G80	fragments of non-foamed plastic > 50cm	Fragments of plastic that are larger than 50 cm in the longest dimension and originate from unidentifiable plastic non-foamed polystyrene items.
pl_nn_frg_nofp_smal_	J79	G79	fragments of non-foamed plastic 2.5cm ≥ ≤ 50cm	Fragments of plastic that are bigger than 2.5 cm and smaller than 50 cm in the longest dimension and originate from unidentifiable plastic non-foamed polystyrene items.
pl_nn_idp_idfd_	J240		other identifiable foamed plastic items	Items that are made of foamed polystyrene, which are identifiable but do not fit in any other litter type category in this list.
pl_nn_idp_idnf_	J241		other identifiable non-foamed plastic items	Items that are made of non-foamed artificial polymers, which are identifiable but do not fit in any other litter type category in this list.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
pl_nn_pai_	J166	G166	plastic paint brushes	A brush used for painting, typically consisting of bristles fastened into a wooden or plastic handle. Can be made of a mixture of materials including metal.
pl_nn_pen_	J28	G28	plastic pens and pen lids	Any writing or drawing utensils, their parts and lids, made predominately from artificial polymer materials.
pl_nn_rps_rope_	J49	G49	plastic rope (diameter more than 1cm)	A stout cord of strands of plastic fibres twisted or braided together, with a diameter larger than 1 cm.
pl_nn_rps_strg_nodr_	J242		plastic string and cord (diameter less than 1cm) not from dolly ropes or unidentified	A material consisting of threads made of plastic twisted together to form a thin length, with a diameter smaller than 1 cm; excluding string and cord from dolly ropes.
pl_nn_stb_	J66	G66	plastic strapping bands	Plastic bands and straps used for fastening any type of package. Polypropylene and polyester strapping is the most commonly used plastic strapping on the market. Usually made of quite hard plastic.
pl_nn_tag_	J43	G43	plastic tags (fishing, shipping, farming and industry)	Plastic tags used to mark fish and shellfish such as lobsters and plastic cargo seals (pull-tight) both usually with a serial number. Also animal tags from farming.
pl_nn_tap_	J87	G87	plastic masking/duct/packing tape	Different sorts of plastic adhesive tape: used in painting, to cover areas on which paint is not wanted (masking tape); strong cloth-backed waterproof adhesive tape (duct tape); box-sealing tape, parcel tape or packing tape used for closing or sealing corrugated fibreboard boxes.
pl_nn_tel_	J88	G88	telephone	Mobile phone devices and any other type of telephones.
pl_nn_tfk_	J72	G72	plastic traffic cones	Plastic cone-shaped objects that are used to separate off or close sections of a road.
pl_re_div_	J86	G86	plastic fin trees (from fins for scuba diving)	The plastic supports placed inside diving flippers or fins to keep them in shape.
pl_re_fwo_	J243		plastic remains of fireworks	The plastic remains of fireworks such as caps of rockets, covers for fuses, exploding parts of battery fireworks.
pl_re_toy_	J32	G32	plastic toys and party poppers	Any plastic object that children play with, as well as objects commonly used at parties. Party poppers are small devices used as an amusement at parties, which explode when a string is pulled, ejecting thin paper streamers.
pl_sm_but_	J27	G27	tobacco products with filters (cigarette butts with filters)	A cigarette filter, also known as a filter tip, is a component of a cigarette, placed at the one tip of the cigarette in order to absorb vapours and accumulate particulate smoke components. The filter is commonly made from synthetic plastic cellulose.
pl_sm_lht_	J26	G26	plastic cigarette lighters	Small objects that produce a flame, commonly used for lighting cigarettes or cigars.
pl_sm_tob_	J25	G25	plastic tobacco pouches / plastic cigarette packet packaging	Plastic containers (pouches, boxes) used for cigarettes and tobacco.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
PAPER/CARDBOARD				
pp_fc_b&c_tpak_milk_	J150	G150	paper cartons/Tetrapak milk	Containers made of carton with a plastic-lining used for milk.
pp_fc_b&c_tpak_otpk_	J151	G151	paper cartons/Tetrapak (non-milk)	Containers made of carton with a plastic-lining used for food products, other than milk.
pp_fc_tab_cups_	J244		paper cups	Cups for coffee and other drinks; made of cardboard. They have a wide range of uses in restaurants, bakeries, or catering settings.
pp_fc_tab_tray_	J245		paper food trays, food wrappers, drink containers	Single-use food trays, food wrappers and drink containers, made of paper.
pp_hy_cbs_	J246		paper cotton bud sticks	A short paper stick with a small amount of cotton on each end that is used for cleaning, especially the ears.
pp_nn_b&c_	J247		other paper containers	Other paper containers.
pp_nn_bag_	J147	G147	paper bags	A small bag made of paper, commonly used as shopping bags, packaging, etc.
pp_nn_box_	J148	G148	cardboard boxes	Boxes made of cardboard (a thick, stiff paper or material containing multiple layers of corrugated paper).
pp_nn_frg_	J156	G156	paper fragments	Fragments of paper items that cannot be identified.
pp_nn_new_	J154	G154	paper newspapers & magazines	Printed publications consisting of paper sheets and containing news, articles, advertisements.
pp_nn_opp_	J158	G158	other paper items	Other identifiable paper and cardboard items, which do not fit in any other category of this list.
pp_re_fwo_	J155	G155	paper tubes and other pieces of fireworks	Small paper/cardboard containers/tubes filled with explosive chemicals that produce bright coloured light patterns or loud noises when they explode (fireworks).
pp_sm_cig_	J152	G152	paper cigarette packets	A rectangular container made of paperboard, used as packaging for cigarettes. It may also include a plastic covering.
RUBBER				
ru_cl_fw_rubo_	J127	G127	rubber boots	A tall boot that is made of rubber and that keeps the feet and lower legs dry.
ru_hy_con_	J133	G133	rubber condoms (incl. packaging)	A thin rubber sheath, used during sexual intercourse as a contraceptive or as a protection against infection. Within this category also the packaging should be recorded.
ru_nn_bnd_	J131	G131	rubber band (small, for kitchen/household/post use)	A thin, flexible loop that is made of rubber and used to hold things together.
ru_nn_its_rush_	J248		rubber sheet	Rubber sheeting made of rubber (or rubber-like artificial polymer). Rubber sheets are used for varied purposes, e.g. flooring, under shower pans, drainage systems, as lining for water containers and in construction.
ru_nn_oru_	J134	G134	other rubber pieces	Other identifiable rubber pieces, which do not fit in any other category of this list.
ru_nn_tyr_belt_	J249		rubber belts	Rubber belts are elongated rectangular rubber items.

Type-Code	J-Code	G-Code	Name	Definition
ru_re_bln_	J125	G125	rubber balloons	A small, coloured, rubber sack-like object which is inflated with air or gas and then sealed at the neck, used as a child's toy or for decoration. Within this category balloon ribbons, strings, plastic valves and balloon sticks that are or were attached to balloons are included.
ru_re_bls_	J126	G126	rubber balls	A spherical toy ball, usually fairly small, made of elastic material which allows it to bounce against hard surfaces.
ru_vk_its_intu_	J250		rubber inner-tubes	An inflatable usually ring-shaped rubber tube designed for use inside a pneumatic tire.
ru_vk_tyr_tyre_	J251		rubber tyres	Rubber tyres from all types of vehicles.
PROCESSED/WORKED WOOD				
wo_fc_b&c_cork_	J159	G159	wooden corks	A bottle stopper made of cork or a similar material. Note that plastic corks should be recorded under plastic caps and lids.
wo_fc_ice_	J165	G165	wooden ice-cream sticks, chip forks, chopsticks, toothpicks	Various wooden sticks, including sticks from ice-creams, small wooden forks from fast food suppliers (chip forks), tapered sticks of wood held together in one hand and used as eating utensils in Asian cuisine (chopsticks), short pointed pieces of wood used for removing bits of food lodged between the teeth (toothpicks).
wo_fi_box_	J164	G164	wooden fish boxes	Boxes made of wood, which are used for storing or transferring fish or other seafood.
wo_fi_trp_	J163	G163	wooden crab/lobster pots	Stationary wooden traps used to catch crustaceans such as lobsters and crabs. Usually covered in a net.
wo_nn_box_	J162	G162	wooden crates, boxes, baskets for packaging	Wooden containers typically used to transport or store different types of items and products. Not fish boxes.
wo_nn_owo_larg_	J172	G172	other processed wooden items > 50cm	Other identifiable processed, worked or treated wooden items larger than 50 cm in the longest dimension, which do not fit in any other category of this list, e.g. planks, boards, beams.
wo_nn_owo_smal_	J171	G171	other processed wooden items 2.5 cm ≤ 50 cm	Other identifiable processed, worked or treated wooden items smaller than 50 cm in the longest dimension, which do not fit in any other category of this list, e.g. planks, boards, beams.
wo_nn_pal_	J160	G160	wooden pallets	A flat wooden structure on which heavy goods are put so that they can be moved using a fork-lift truck.
wo_re_fwo_	J167	G167	wooden fireworks & matches	A small thin piece of wood or cardboard tipped with flammable chemicals that catch fire with friction (match); any wooden remains of fireworks, e.g. sticks from rockets.

Allegato 2. Scheda riassuntiva dei trasmettitori rilasciati nel bacino del fiume Po

Per ciascun tracker lanciato la tabella mostra il punto di rilascio, la distanza percorsa espressa in km, il numero di segnali inviati, le giornate di vita, la data e il luogo dell'ultimo segnale inviato al 30 giugno 2023. La tabella mostra, inoltre, quali tracker sono giunti in mare alla data di fine progetto. I tracker sono ordinati in funzione della distanza percorsa e sono stati raggruppati per ciascuna delle tre sezioni in cui è stata suddivisa l'asta del fiume Po. Per i trackers non operativi non viene indicato il luogo dell'ultimo segnale inviato.

Tratto a monte								
Rilascio Torino Chivasso del 4-5 giugno 2021								
Unità non operative: 4								
Unità a mare: 0								
Operatività	ID breve	Distanza percorsa (km)	numero segnali inviati	Numero di giornate di vita	Punto di rilascio - shortname	Data ultimo segnale inviato	Luogo ultimo segnale inviato	In mare
si	y26133	103,9	221	154	torino_est	08/11/2021	Ghiaie di Corana (PV)	no
si	y26162	73,6	27	17	torino_est	24/06/2021	Casale Monferrato (AL)	no
si	y26148	69,7	132	161	torino_citta	15/11/2021	Formigliana (VC)	no
si	y26151	56,7	15	6	torino_est	13/06/2021	San Germano Vercellese (VC)	no
si	y26157	54,8	656	674	torino_est	12/04/2023	Cornale (PV)	no
si	y26158	49,0	113	123	torino_est	08/10/2021	Frassineto Po (AL)	no
si	y26166	45,2	469	320	torino_est	23/04/2022	Santa Maria Crescentino (VC)	no
si	y26159	40,5	40	37	torino_citta	14/07/2021	Crescentino (VC)	no
si	y26163	39,8	644	379	torino_citta	21/06/2022	Crescentino (VC)	no
si	y26143	6,0	27	51	torino_est	28/07/2021	Lauriano (TO)	no

si	y26139	3,4	262	312	torino_est	15/04/2022	Sant'Anna (TO)	no
no	y26134	0,0	1	1	torino_est	13/06/2021		no
no	y26135	0,0	1	1	torino_est	13/06/2021		no
no	y26137	0,0	1	6	torino_citta	13/06/2021		no
no	y26138	0,0	1	2	torino_citta	13/06/2021		no

Rilascio Chivasso del 6 marzo 2022 Unità non operative: 3 Unità a mare: 1								
Operatività	ID breve	Distanza percorsa (km)	numero segnali inviati	Numero di giornate di vita	Punto di rilascio - shortname	Data ultimo segnale inviato	Luogo ultimo segnale inviato	In mare
si	x37729	483,9	346	448	Chivasso	28/05/2023	Porto Viro (RO)	
si	x37754	134,6	1228	440	Chivasso	21/05/2023	Belgioioso (PV)	no
si	x37730	2,5	1254	423	Chivasso	20/05/2023	Verolengo (TO)	no
si	x32726	1,6	489	280	Chivasso	12/12/2022	Verolengo (TO)	no
si	x26161	1,2	477	166	Chivasso	20/08/2022	Verolengo (TO)	no
si	x37768	0,9	135	47	Chivasso	23/04/2022	Verolengo (TO)	no
si	x32715	0,2	158	56	Chivasso	01/05/2022	Verolengo (TO)	no
no	x32720	0,1	7	10	Chivasso	17/03/2022		no
no	x32724	0,1	7	2	Chivasso	17/03/2022		no
no	x26168	0,0	1	4	Chivasso	08/03/2022		no

Tratto centrale

Rilascio Cremona del 27 agosto 2021

Unità non operative: 3

Unità a mare: 0

Operatività	ID breve	Distanza percorsa (km)	numero segnali inviati	Numero di giornate di vita	Punto di rilascio - shortname	Data ultimo segnale inviato	Luogo ultimo segnale inviato	In mare
si	b26154	263,3	933	350	Cremona_sud	13/08/2022	Donzella (RO)	no
si	b26128	262,8	1381	633	Cremona_sud	23/05/2023	Donzella (RO)	no
si	b26144	259,8	1501	704	Cremona_sud	30/06/2023	Ca' Tiepolo (RO)	no
si	b26153	256,0	104	273	Cremona_sud	28/05/2022	Ca' Tiepolo (RO)	no
si	b26155	245,5	692	238	Cremona_sud	23/04/2022	Porto Viro (RO)	no
si	b26129	203,9	677	227	Cremona_sud	12/04/2022	Polesella (RO)	no
si	b26152	195,6	122	214	Cremona_sud	30/03/2022	Canaro (RO)	no
si	b26127	195,4	239	217	Cremona_sud	02/04/2022	Canaro (RO)	no
si	b32729	104,5	9	4	Cremona_sud	01/09/2021	Sermide (MN)	no
si	b26164	12,7	978	704	Cremona_sud	30/06/2023	Polesine Parmense (PR)	no
si	b26140	8,4	34	86	Cremona_sud	22/11/2021	Brancere (CR)	no
si	b26149	8,1	1068	704	Cremona_sud	30/06/2023	Brancere (CR)	no
no	b32714	0,6	13	282	Cremona_sud	27/08/2021		no
no	b26142	0,0	1	0	Cremona_sud	28/08/2021		no
no	b26165	0,0	1	6	Cremona_sud	27/08/2021		no

Rilascio Cremona del 5 maggio 2023 Unità non operative: 0 Unità a mare: 7								
Operatività	ID breve	Distanza percorsa (km)	numero segnali inviati	Numero di giornate di vita	Punto di rilascio - shortname	Data ultimo segnale inviato	Luogo ultimo segnale inviato	In mare
si	117	275,3	81	27	Cremona_sud	02/06/2023	Santa Giulia (RO)	No
si	119	272,7	267	89	Cremona_sud	30/06/2023	Polesine Camerini (RO)	
si	128	272,0	392	47	Cremona_sud	21/06/2023	Santa Giulia (RO)	No
si	146	271,9	1173	89	Cremona_sud	30/06/2023	Santa Giulia (RO)	
si	137	269,6	906	87	Cremona_sud	30/06/2023	Polesine Camerini (RO)	no
si	150	261,1	485	26	Cremona_sud	01/06/2023	Donzella (RO)	
si	113	256,6	229	74	Cremona_sud	30/06/2023	Mesola (FE)	
si	136	254,7	454	77	Cremona_sud	30/06/2023	Mesola (FE)	
si	148	243,9	457	21	Cremona_sud	27/05/2023	Porto Viro (RO)	
si	143	239,8	899	89	Cremona_sud	30/06/2023	Bottrighe (RO)	No
si	139	215,5	319	89	Cremona_sud	30/06/2023	Crespino (RO)	no
si	107	211,0	55	19	Cremona_sud	24/05/2023	Alberone (RO)	
si	147	152,7	52	89	Cremona_sud	30/06/2023	Castelmassa (RO)	no
si	142	3,3	97	88	Cremona_sud	30/06/2023	Bosco Ex Parmigiano (CR)	no

si	115	2,6	99	79	Cremona_sud	30/06/2023	Bosco Ex Parmigiano (CR)	no
Tratto a valle								
Rilascio Polesella del 5 settembre 2021								
Unità non operative: 0								
Unità a mare: 2								
Operatività	ID breve	Distanza percorsa (km)	numero segnali inviati	Numero di giornate di vita	Punto di rilascio - shortname	Data ultimo segnale inviato	Luogo ultimo segnale inviato	In mare
si	e32707	84,5	384	658	Polesella	26/06/2023	Santa Giulia (RO)	no
si	e32721	79,1	1954	694	Polesella	30/06/2023	Borgo Polesinino (RO)	
si	e32727	74,0	350	665	Polesella	30/06/2023	Gorino (FE)	no
si	e32710	68,8	57	16	Polesella	22/09/2021	Borgo Polesinino (RO)	no
si	e32713	68,4	2118	633	Polesella	01/06/2023	Borgo Polesinino (RO)	
si	e32719	63,7	1778	695	Polesella	30/06/2023	Borgo Polesinino (RO)	no
si	e32706	54,5	3734	695	Polesella	30/06/2023	Ca' Tiepolo (RO)	no
si	e32712	48,6	3762	695	Polesella	30/06/2023	Taglio di Po (RO)	no
si	e32728	44,7	918	242	Polesella	06/05/2022	Taglio di Po (RO)	no
si	e32709	39,0	693	215	Polesella	09/04/2022	Taglio di Po (RO)	no
si	e32725	38,5	4256	695	Polesella	30/06/2023	Taglio di Po (RO)	no

Rilascio Polesella del 25 giugno 2022

Unità non operative: 0

Unità a mare: 1

Operatività	ID breve	Distanza percorsa (km)	numero segnali inviati	Numero di giornate di vita	Punto di rilascio - shortname	Data ultimo segnale inviato	Luogo ultimo segnale inviato	In mare
si	m08_39 613	64,9	708	333	Polesella	26/05/2023	Polesine Camerini (RO)	
si	m06_39 588	35,7	258	400	Polesella	30/06/2023	Contarina (RO)	no
si	m97_39 663	16,8	304	289	Polesella	12/04/2023	Berra (FE)	no
si	m04_39 655	16,4	265	295	Polesella	18/04/2023	Berra (FE)	no
si	f035_39 607	10,5	427	296	Polesella	19/04/2023	Cologna (FE)	no
si	m09_37 726	8,6	31	10	Polesella	07/07/2022	Crespino (RO)	no
si	m01_39 578	6,9	528	121	Polesella	26/10/2022	Crespino (RO)	no
si	m05_39 602	5,6	424	301	Polesella	20/04/2023	Crespino (RO)	no
si	m16_39 562	4,5	72	24	Polesella	21/07/2022	Alberone (RO)	no
si	m15_37 775	4,2	90	43	Polesella	09/08/2022	Alberone (RO)	no

Rilascio Polesella del 5 maggio 2023								
Unità non operative: 0								
Unità a mare: 1								
Operatività	ID breve	Distanza percorsa (km)	numero segnali inviati	Numero di giornate di vita	Punto di rilascio - shortname	Data ultimo segnale inviato	Luogo ultimo segnale inviato	In mare
si	144	70,0	133	88	Polesella	30/06/2023	Santa Giulia (foce) (RO)	no
si	141	68,4	2920	81	Polesella	30/06/2023	Santa Giulia (RO)	no
si	138	67,3	413	86	Polesella	30/06/2023	Santa Giulia (RO)	no
si	122	64,4	896	88	Polesella	30/06/2023	Santa Giulia (RO)	no
si	100	61,2	914	88	Polesella	30/06/2023	Santa Giulia (RO)	no
si	110	59,2	610	25	Polesella	30/05/2023	Santa Giulia (RO)	
si	127	56,7	1296	88	Polesella	30/06/2023	Donzella (RO)	no
si	140	54,8	126	24	Polesella	30/05/2023	Donzella (RO)	no
si	120	49,0	62	24	Polesella	30/05/2023	Ca' Tiepolo (RO)	no
si	121	40,2	1861	88	Polesella	30/06/2023	Taglio di Po (RO)	no
si	125	19,6	1422	88	Polesella	30/06/2023	Papozze (RO)	no
si	118	13,7	331	5	Polesella	10/05/2023	Villanova Marchesana (RO)	no
si	108	13,5	1283	88	Polesella	30/06/2023	Crespino (RO)	no
si	124	6,0	632	88	Polesella	30/06/2023	Crespino (RO)	no
si	123	3,4	32	17	Polesella	22/05/2023	Alberone (RO)	no

LANCI TEST

Rilasci vari di test del 2021

Unità non operative: 2

Unità a mare: 0

Operatività	ID breve	Distanza percorsa (km)	numero segnali inviati	Numero di giornate di vita	Punto di rilascio - shortname	Data ultimo segnale inviato	Luogo ultimo segnale inviato	In mare
si	c25087	353,5	1507	879	ponte_della_becca	30/06/2023	Porto Viro (RO)	no
si	d25085	410,3	811	850	ponte_della_becca	30/06/2023	Ca' Tiepolo (RO)	no
no	k25084	54,9	85	91	Cassano_adda	23/05/2021		no
no	y32724	3,0	2	0	Chivasso	23/11/2021		no

Allegato 3. Mappe di dettaglio delle tracce dei trasmettitori

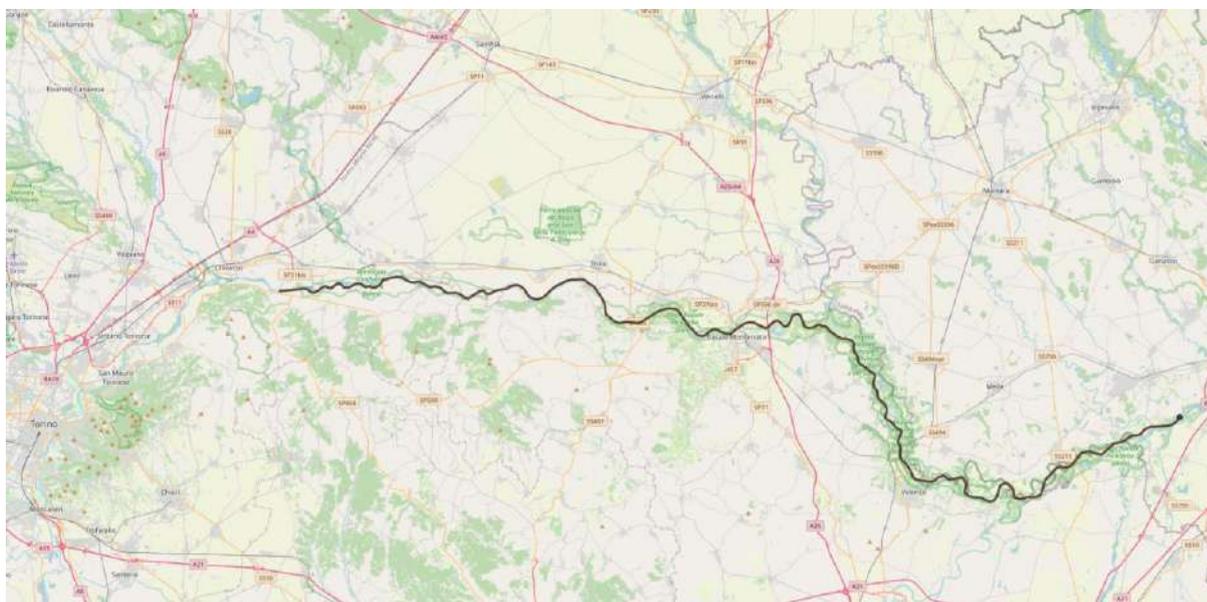
Le immagini di seguito sono le mappe cartografiche di dettaglio delle tracce dei trasmettitori che hanno percorso, per ciascun lancio, le distanze maggiori, espresse in chilometri. Si riportano inoltre le tracce dei tracker giunti in mare al 30 giugno 2023, per i quali sono riportate anche le posizioni ricevute in mare. Per ogni trasmettitore è riportato l'ID e la distanza percorsa nell'alveo fluviale. In evidenza, tramite target rotondo, è riportata la posizione al 30 giugno 2023 o, in caso di termine vita precedente a questa data, l'ultimo punto ricevuto da ciascun tracker. Le tracce sono ordinate per tratta dell'asta fluviale e, all'interno di questa, per data di lancio.

TRATTO A MONTE

Lancio del 4 e 5 giugno 2021 a Torino/Chivasso

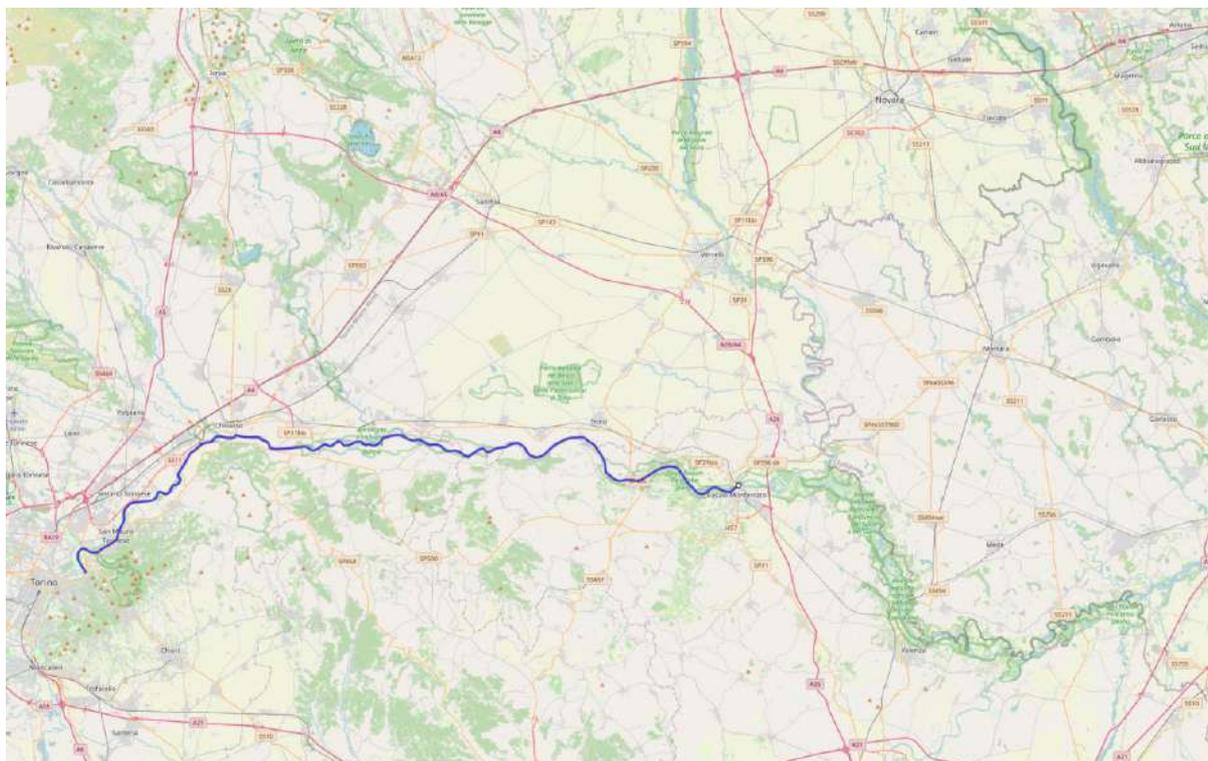
ID#: y26133

103,9 km



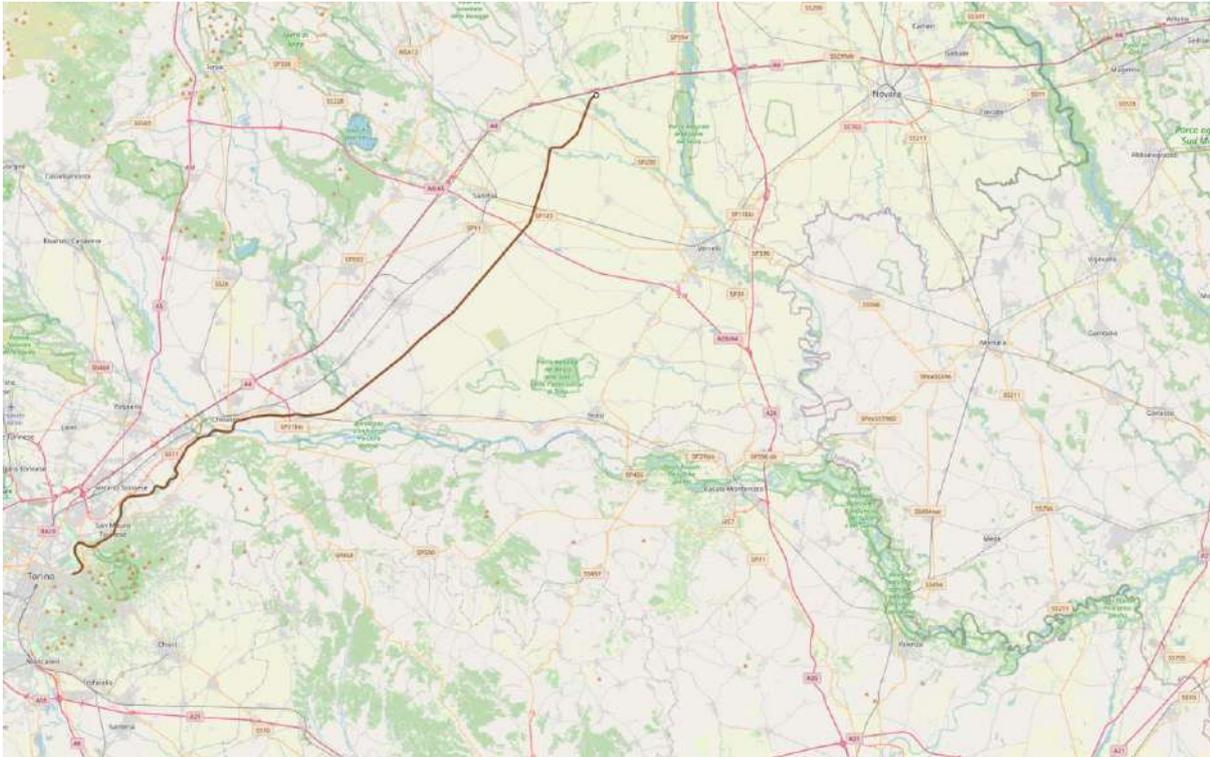
ID#: y26162

73,6 km



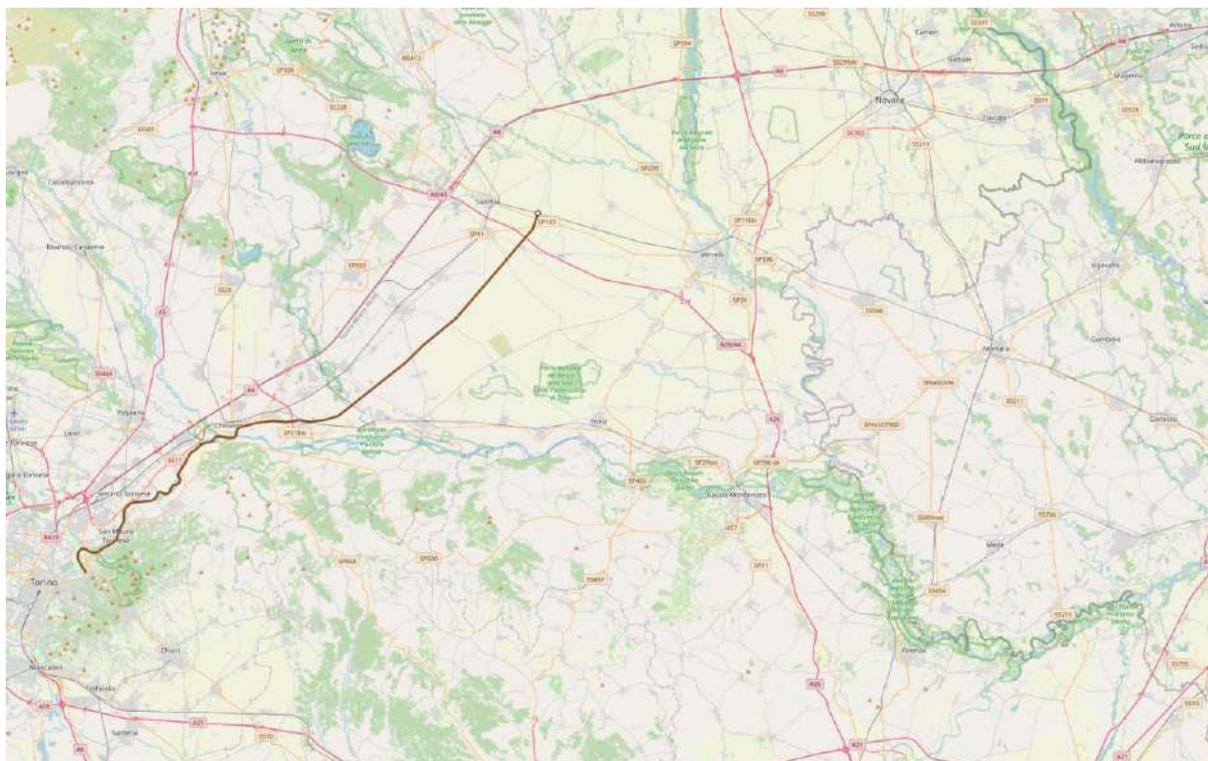
ID#: y26148

69,7 km



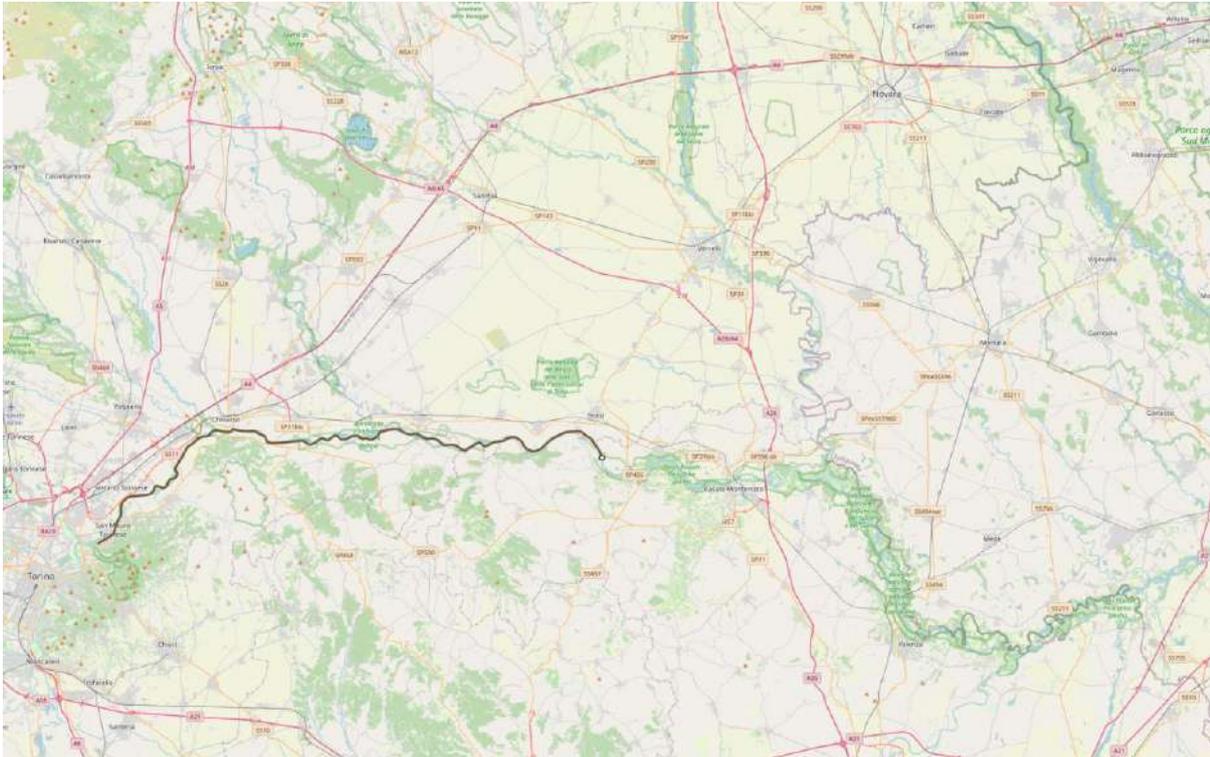
ID#: y26151

56,7 km



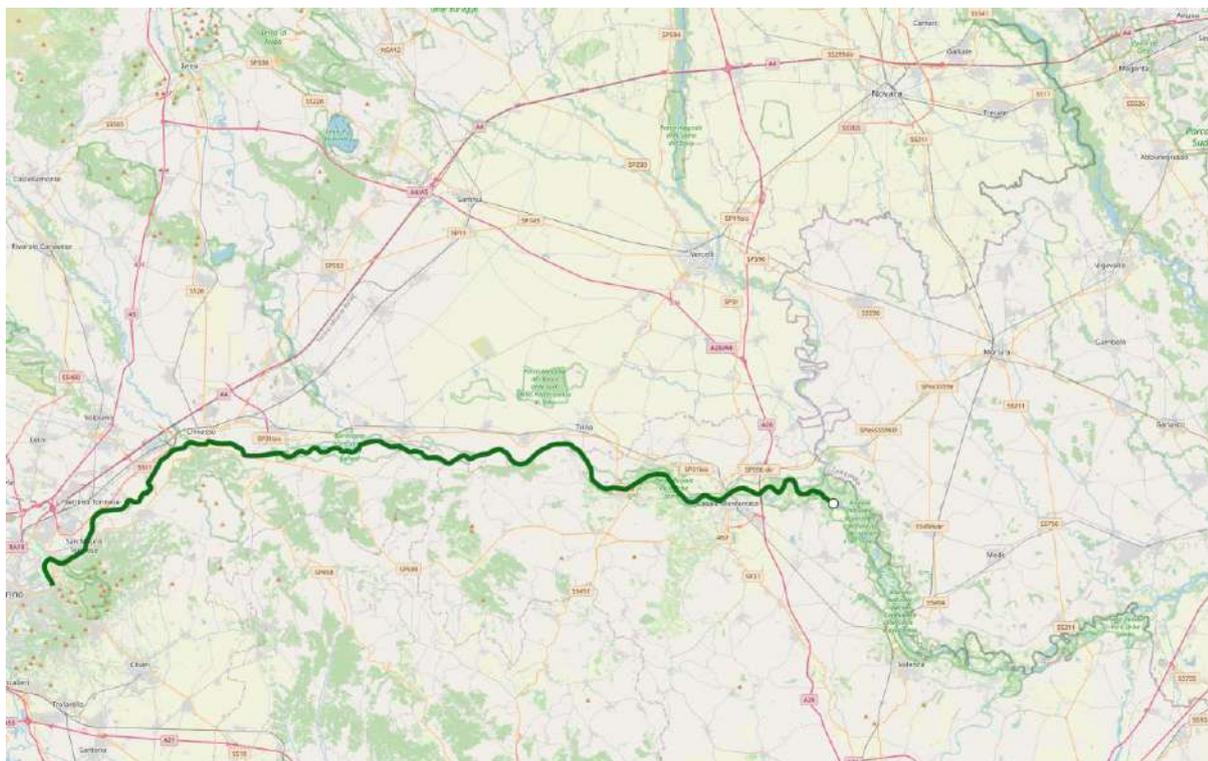
ID#: y26157

54,8 km



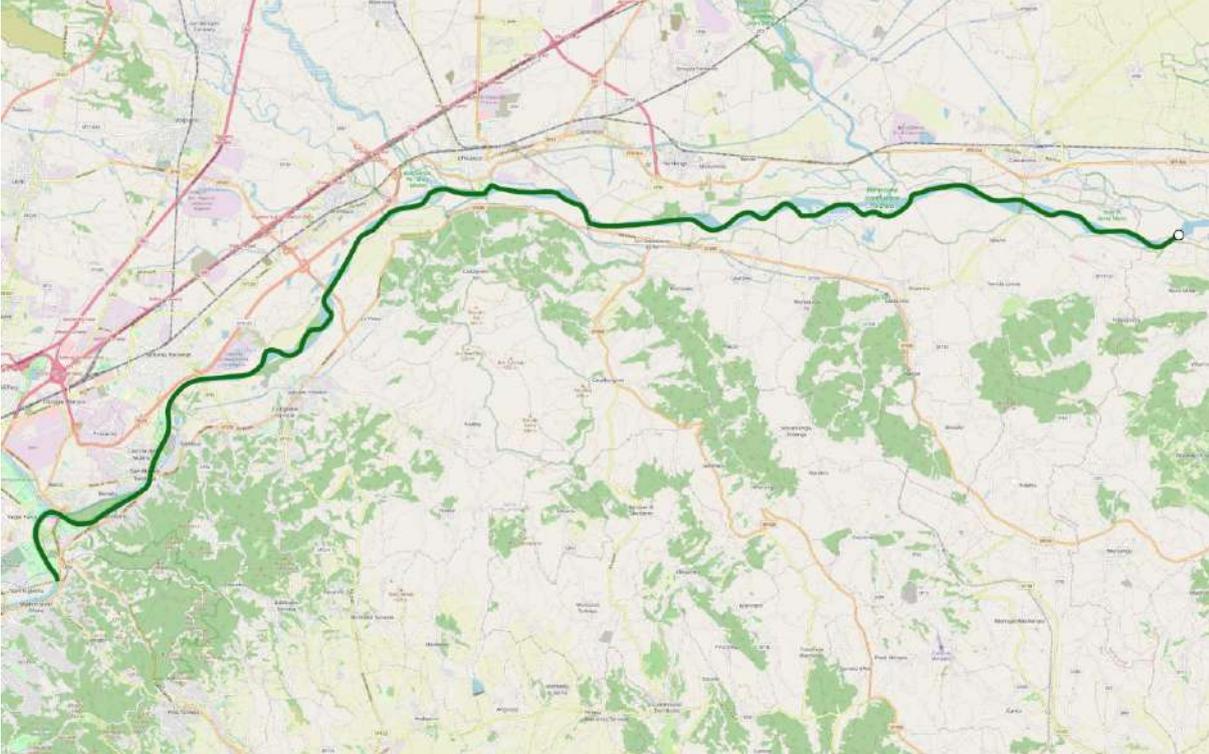
ID#: y26158

49,0 km



ID#: y26166

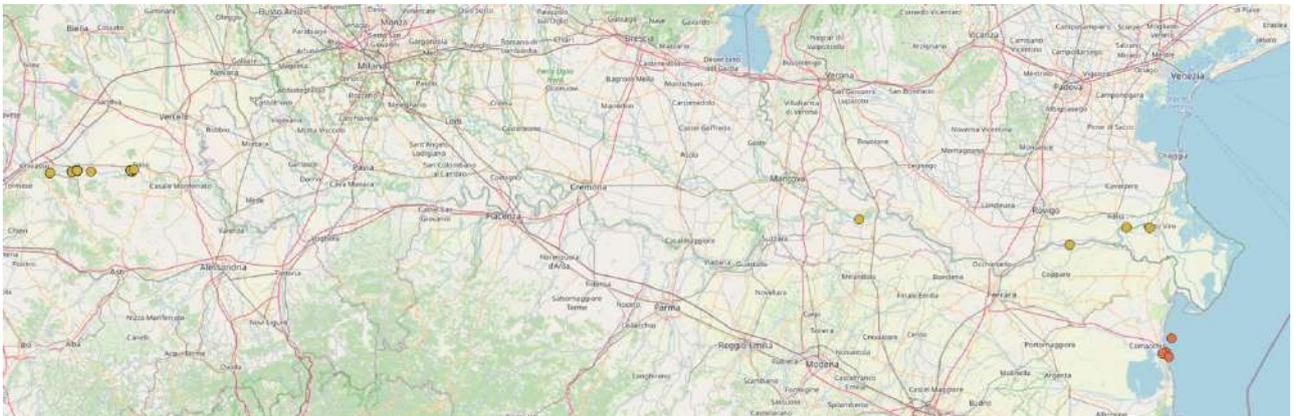
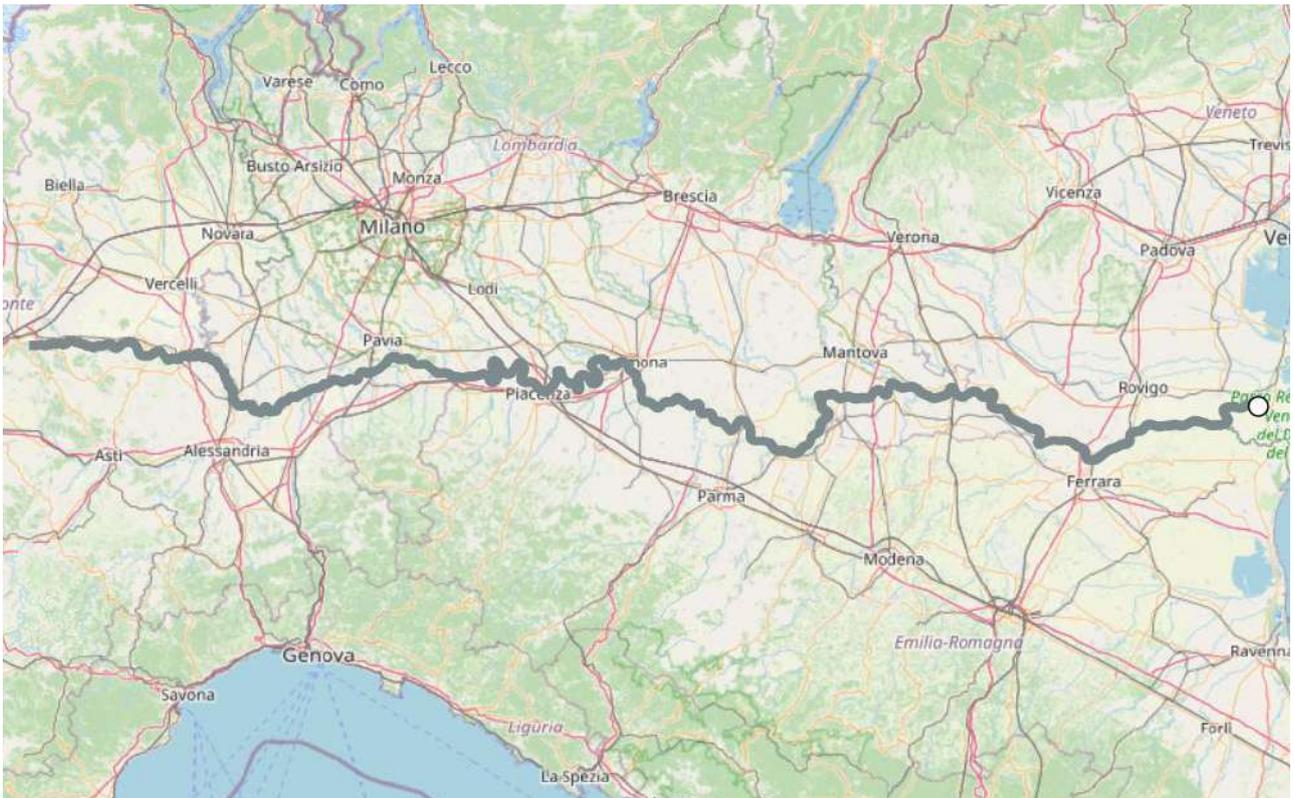
45,2 km



Lancio del 6 marzo 2022 a Chivasso

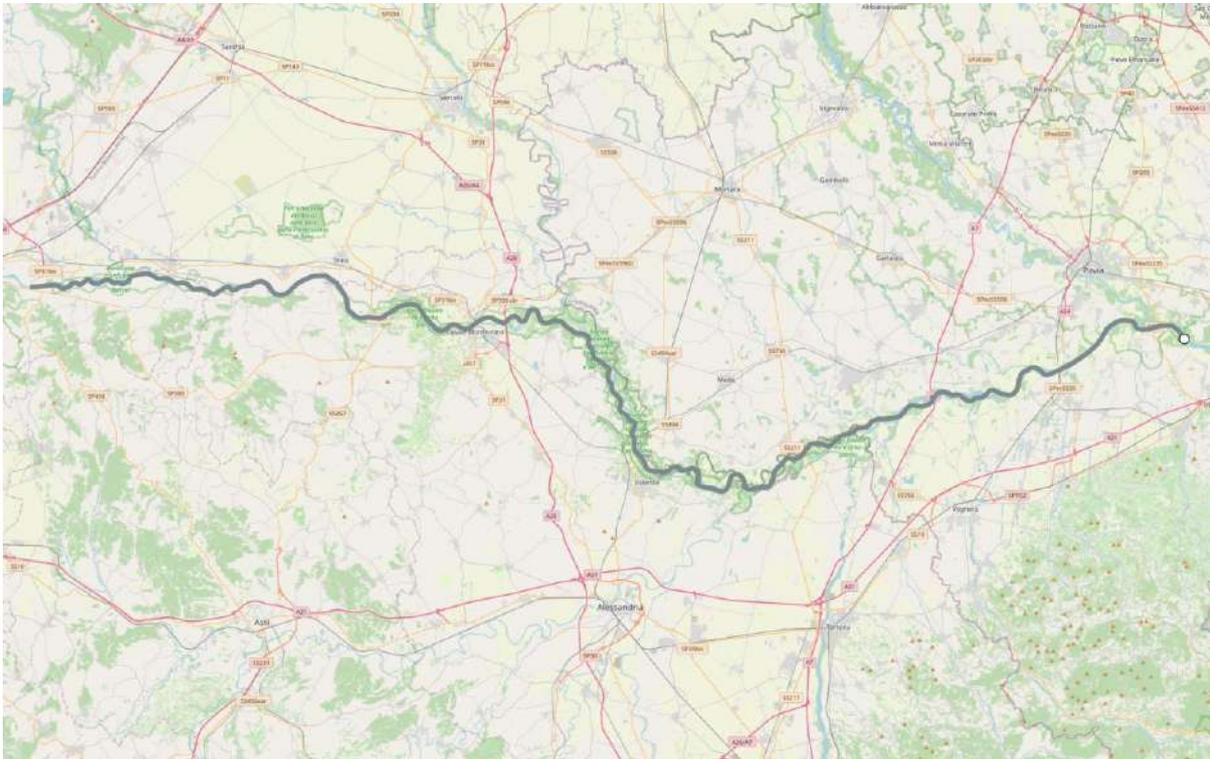
ID#: x37729

483,9 km – successivamente in mare



ID#: x37754

134,6 km

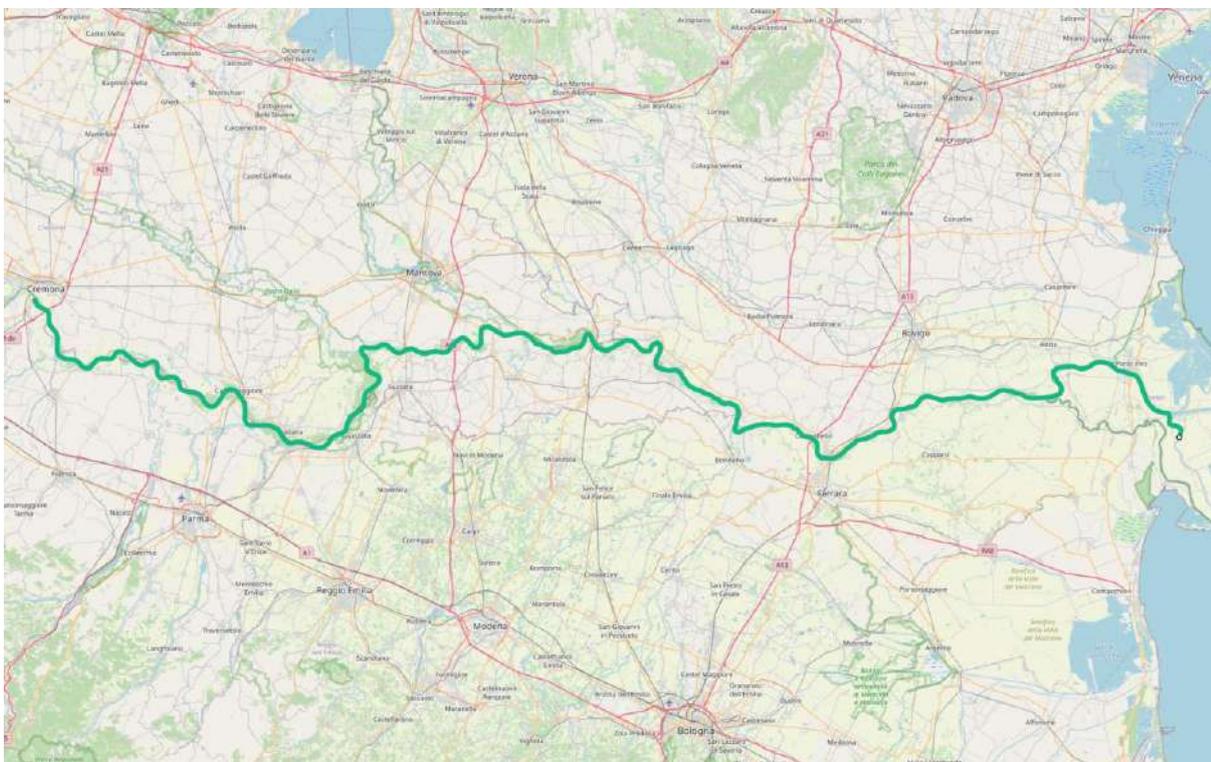


TRATTO CENTRALE

Lancio del 27 agosto 2021 a Cremona

ID#: b26154

263,3 km



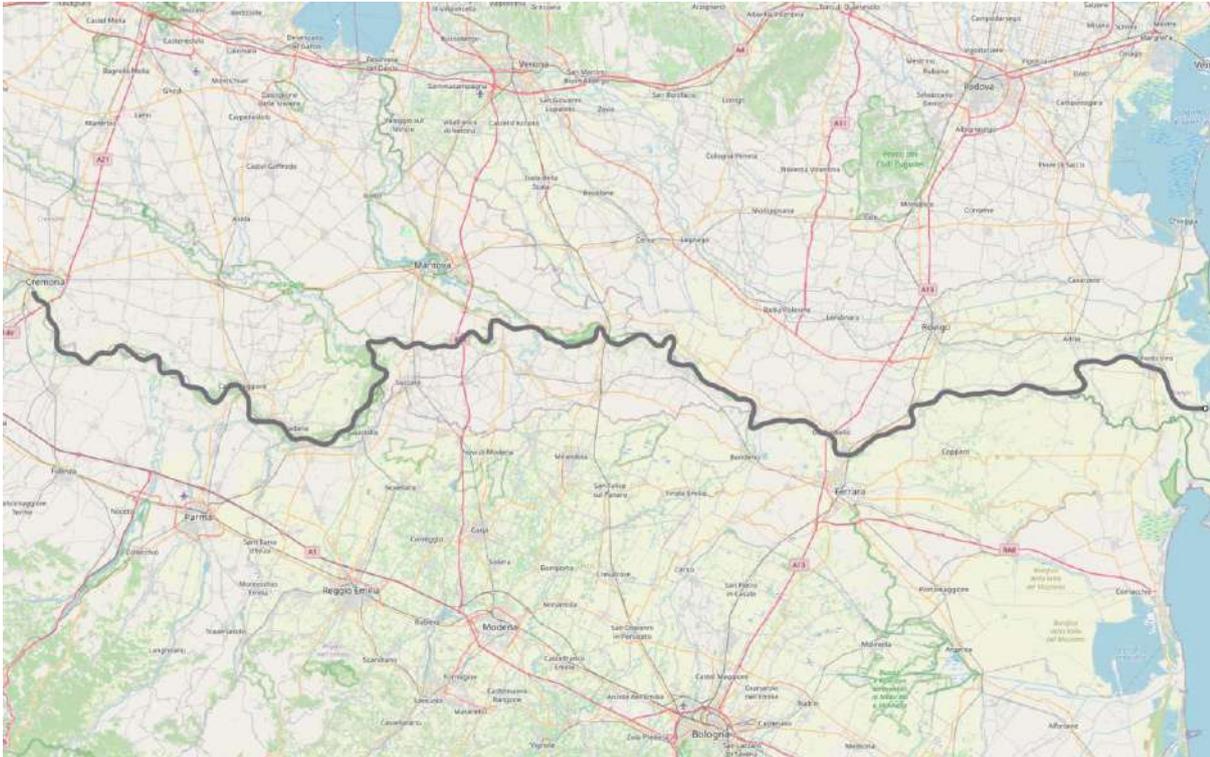
ID#: b26128

262,8 km



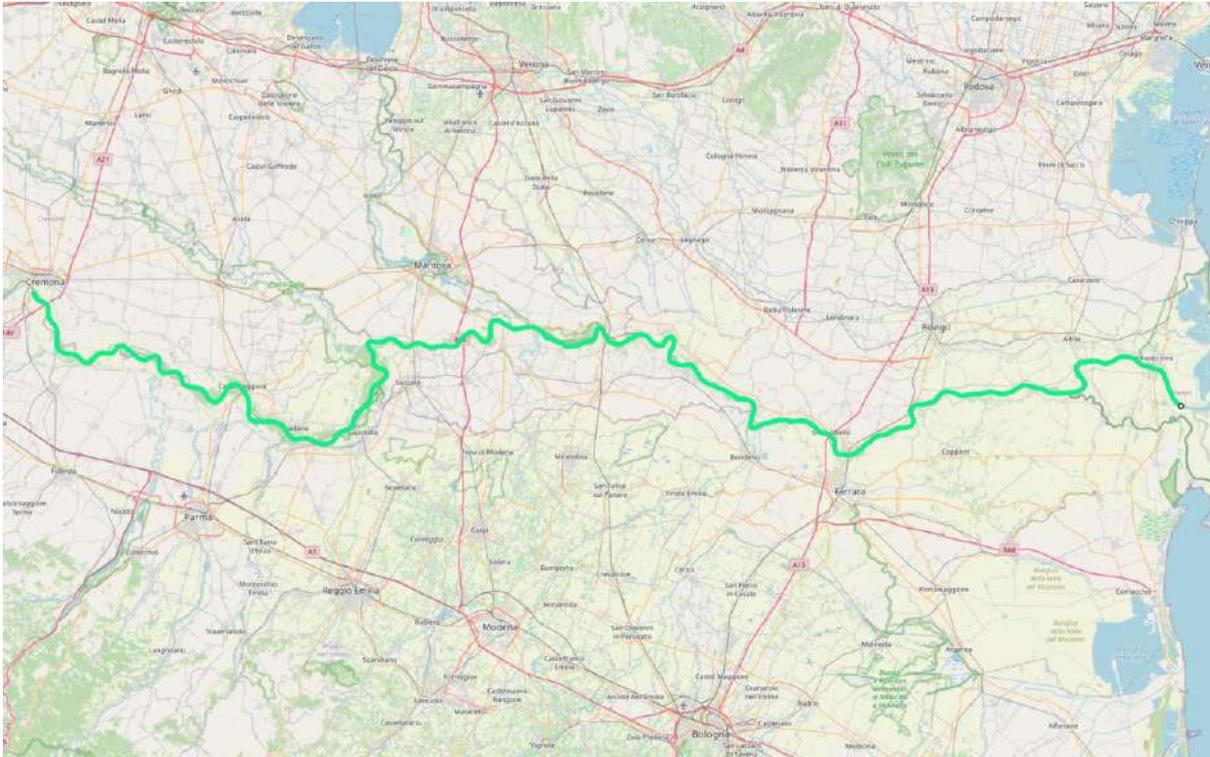
ID#: b26144

259,8 km



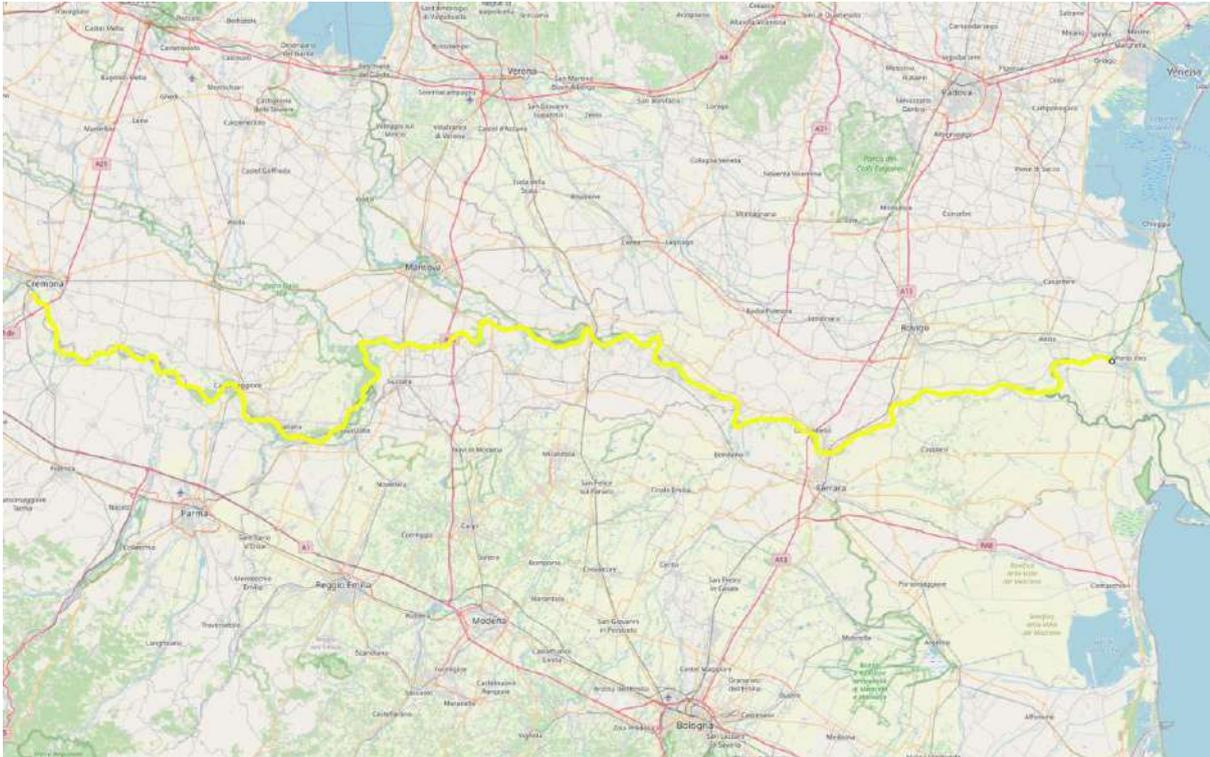
ID#: b26153

256,0 km



ID#: b26155

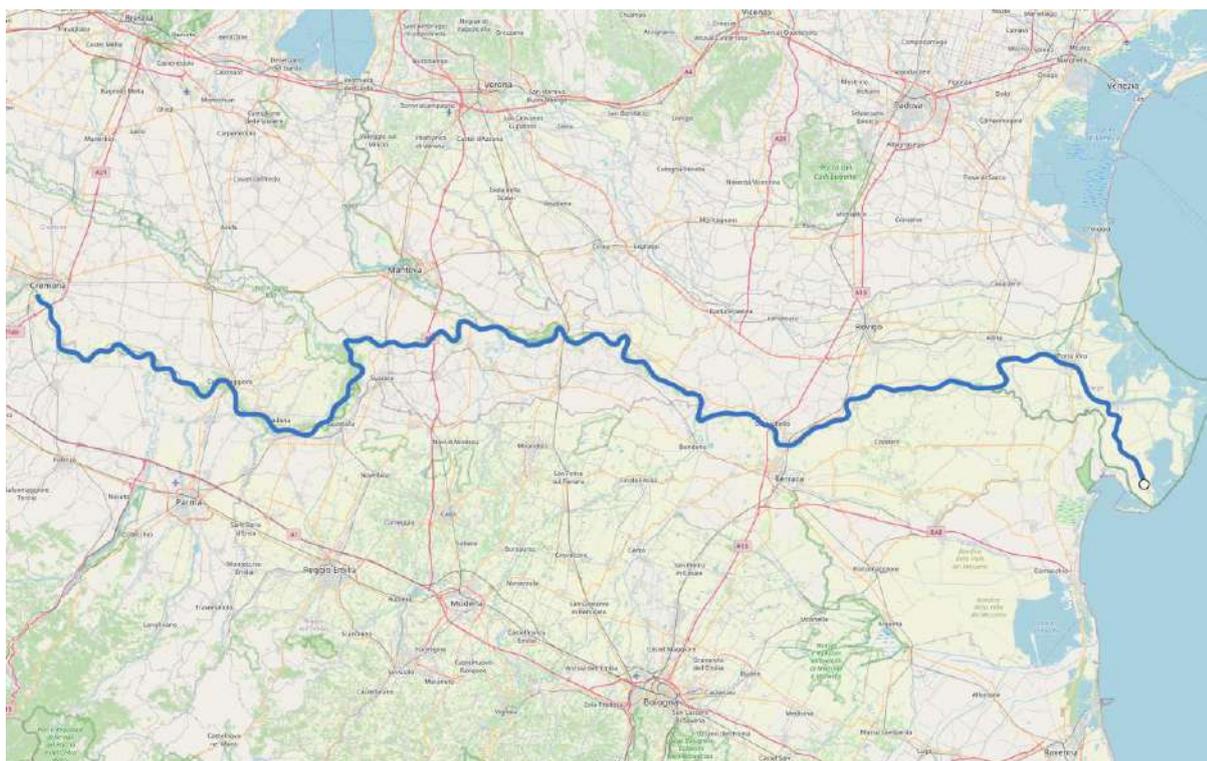
245,5 km



Lancio del 5 maggio 2023 a Cremona

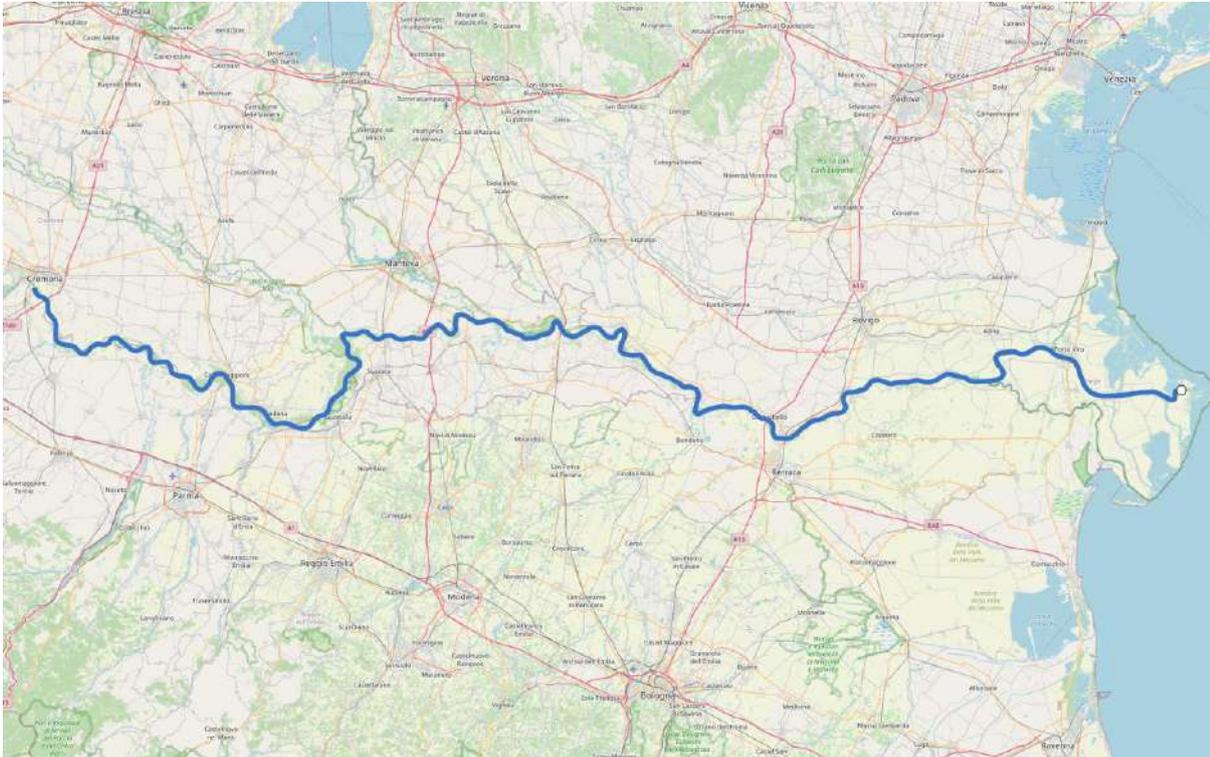
ID#: 117

275,3 km



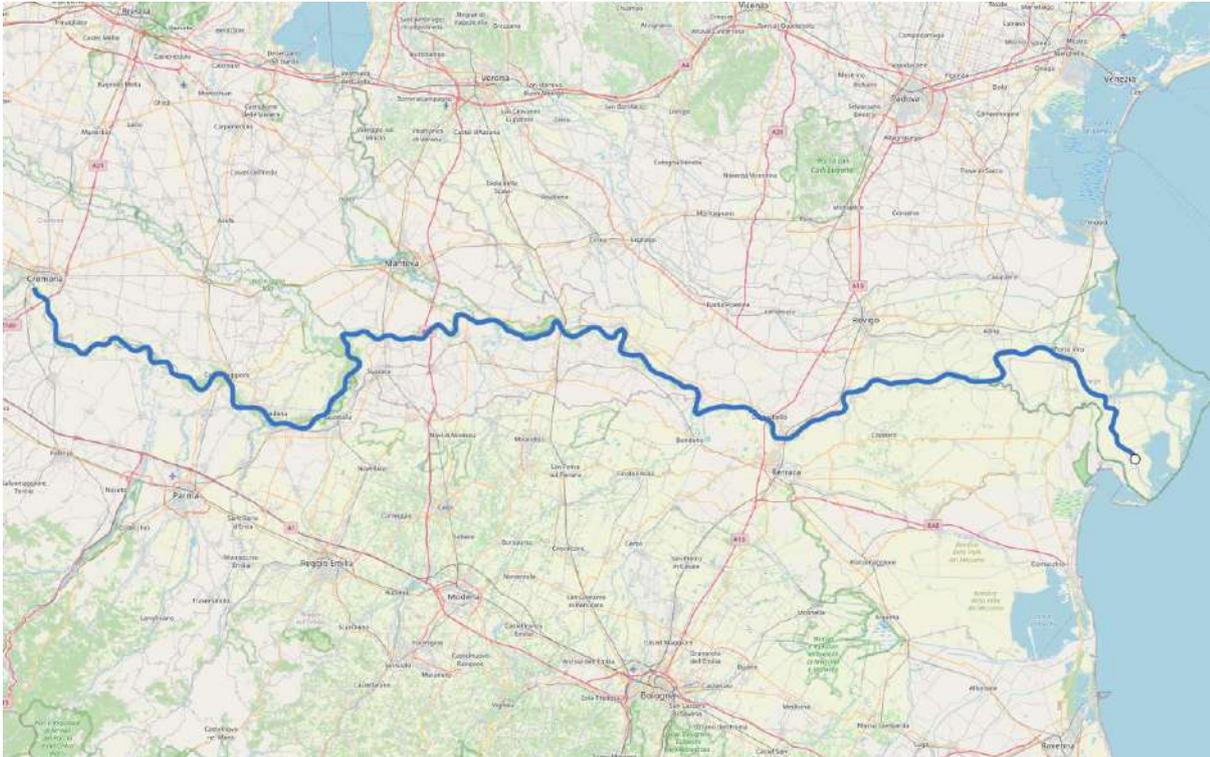
ID#: 119

272,7 km – successivamente in mare



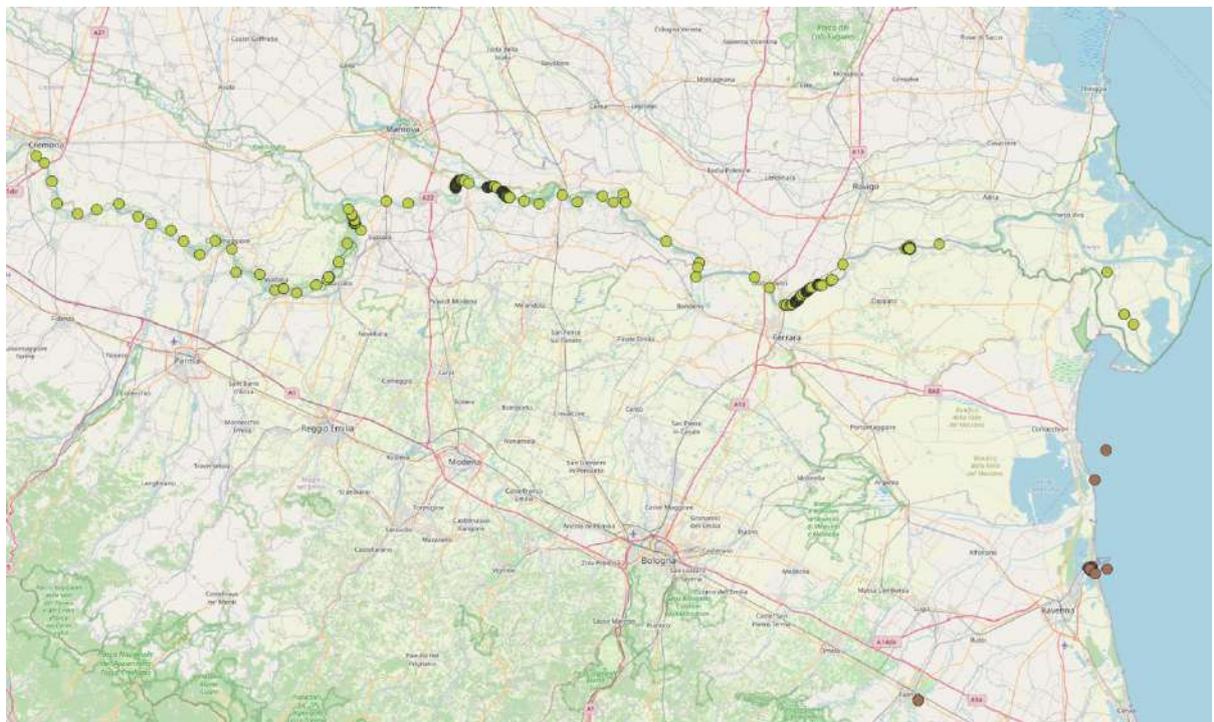
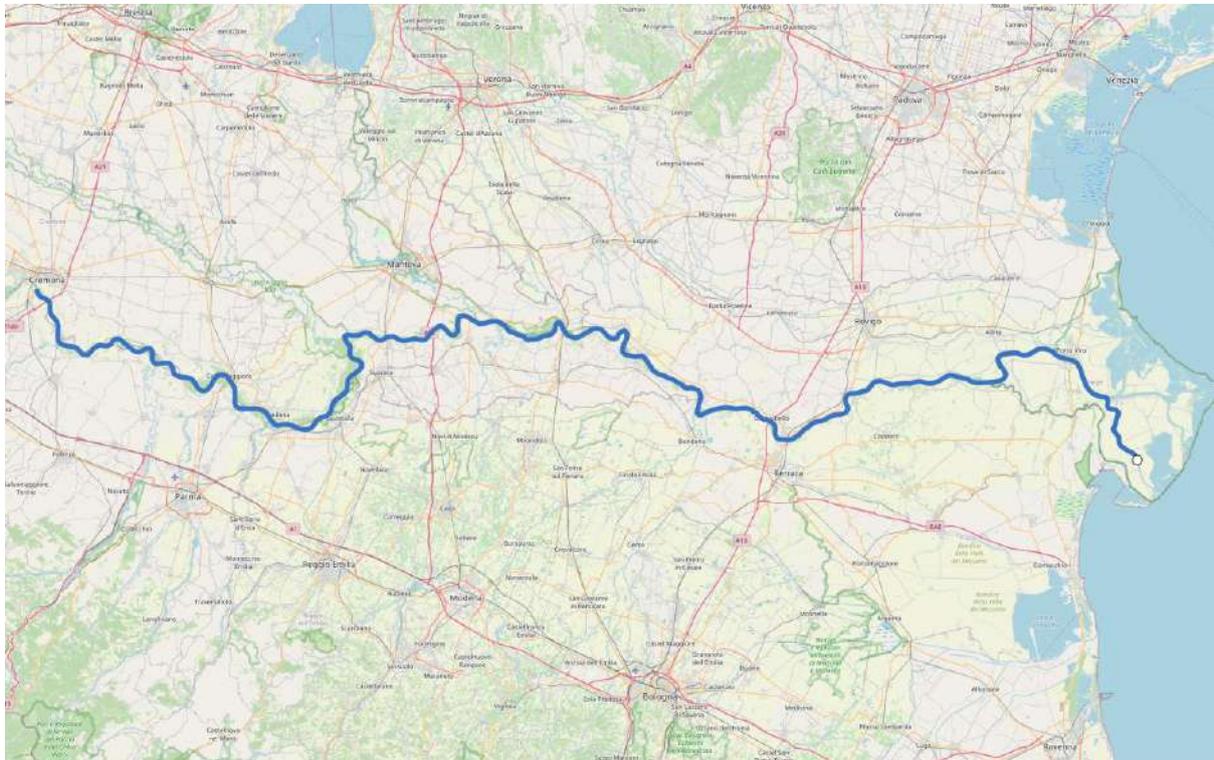
ID#: 128

272,0 km



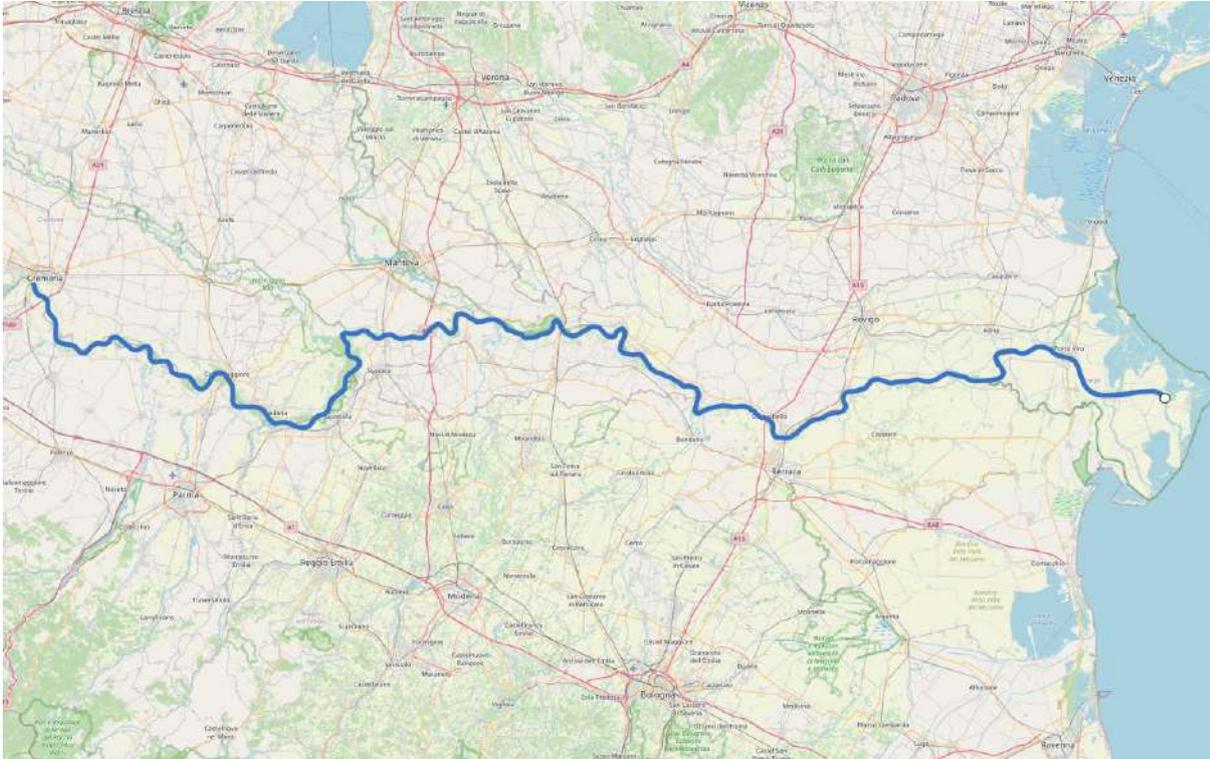
ID#: 146

271,9 km – successivamente in mare



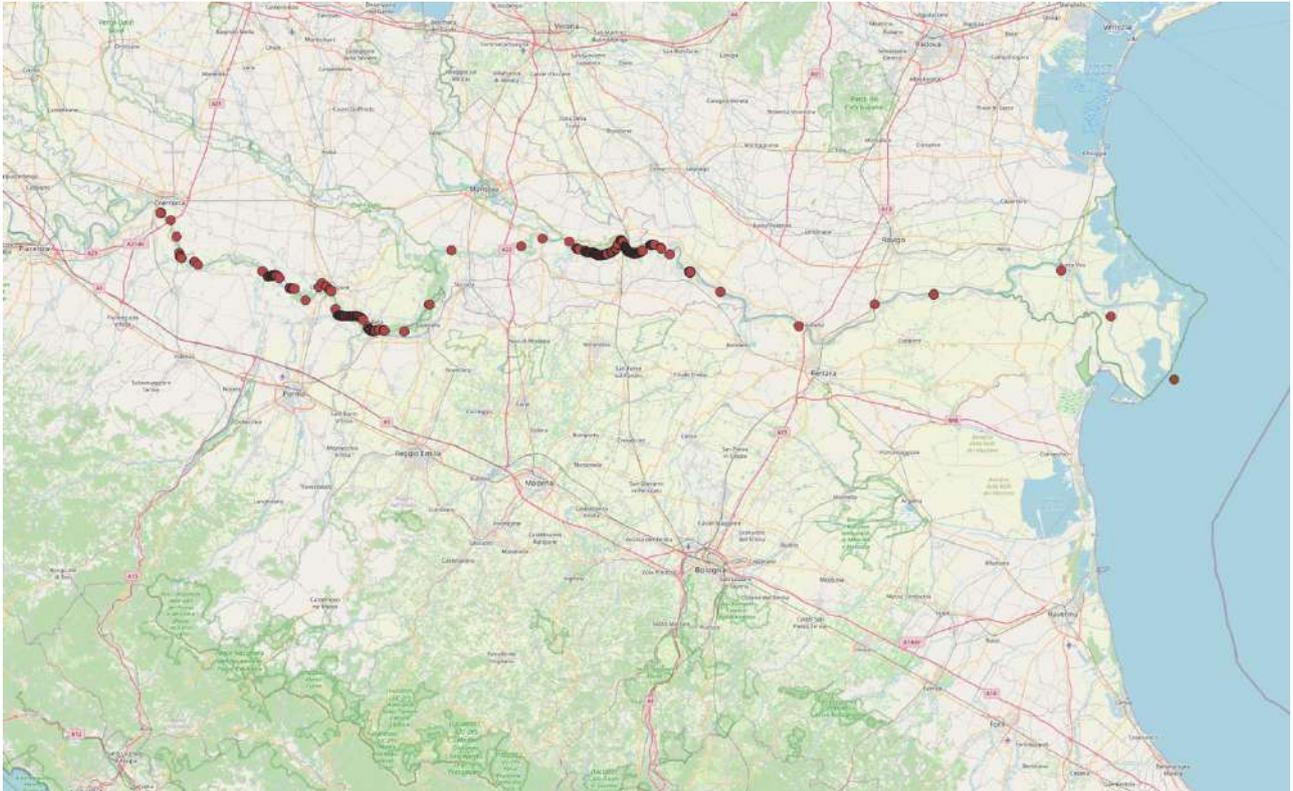
ID#: 137

169,6 km



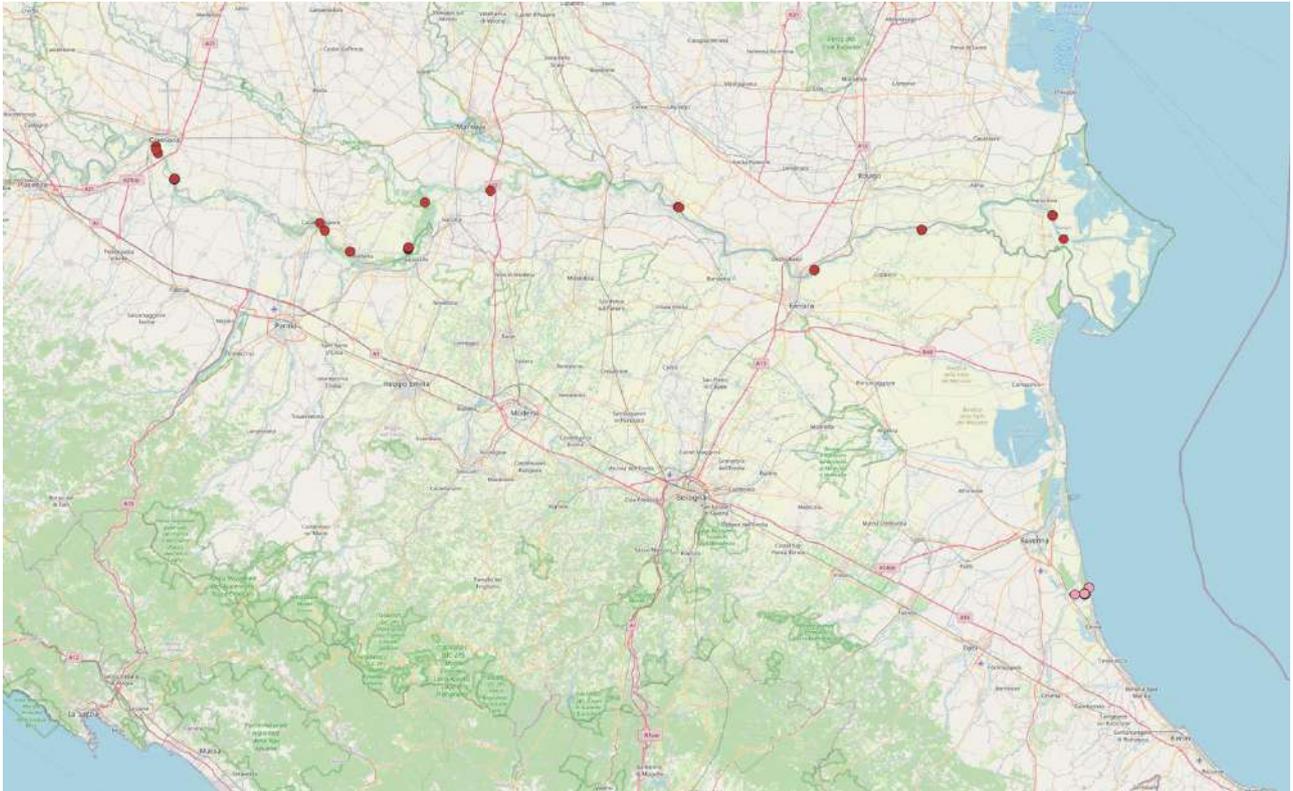
ID#: 150

261,1 km – successivamente in mare



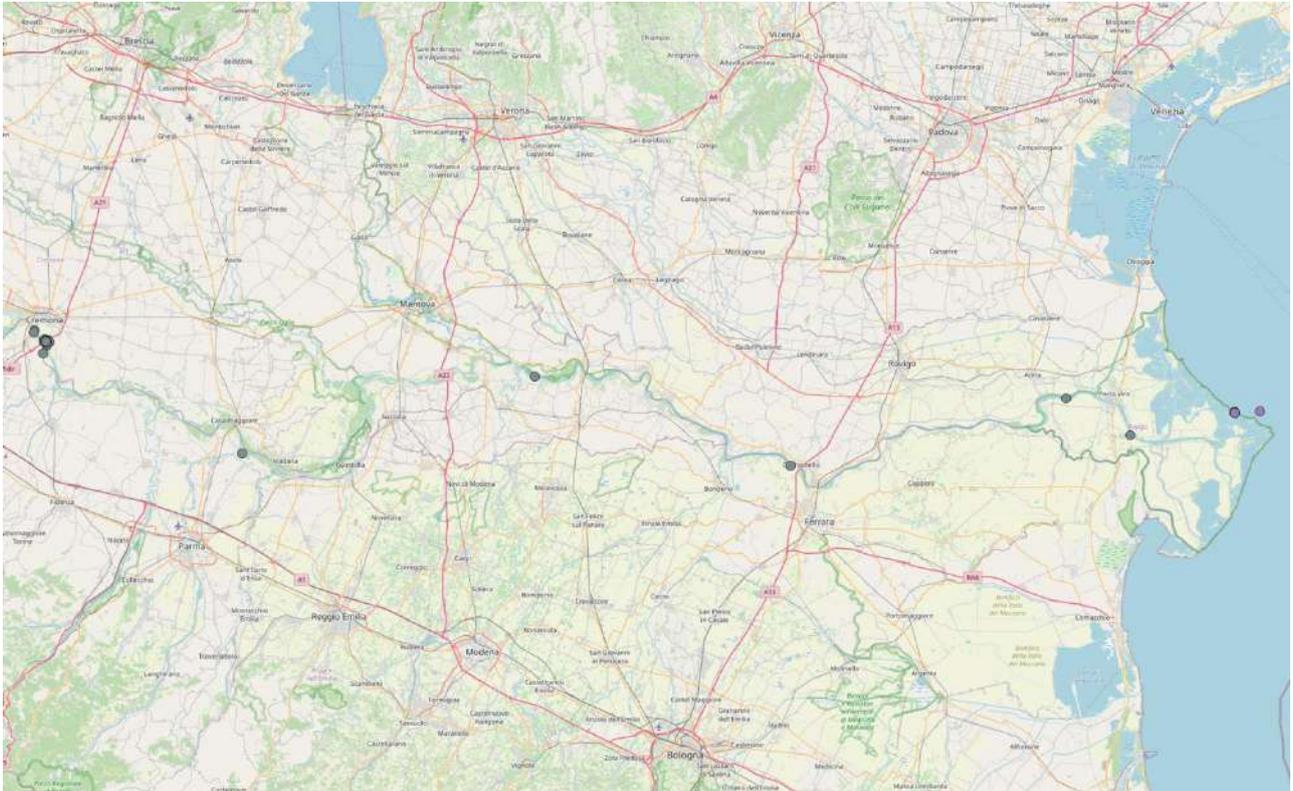
ID#: 113

256,6 km – successivamente in mare



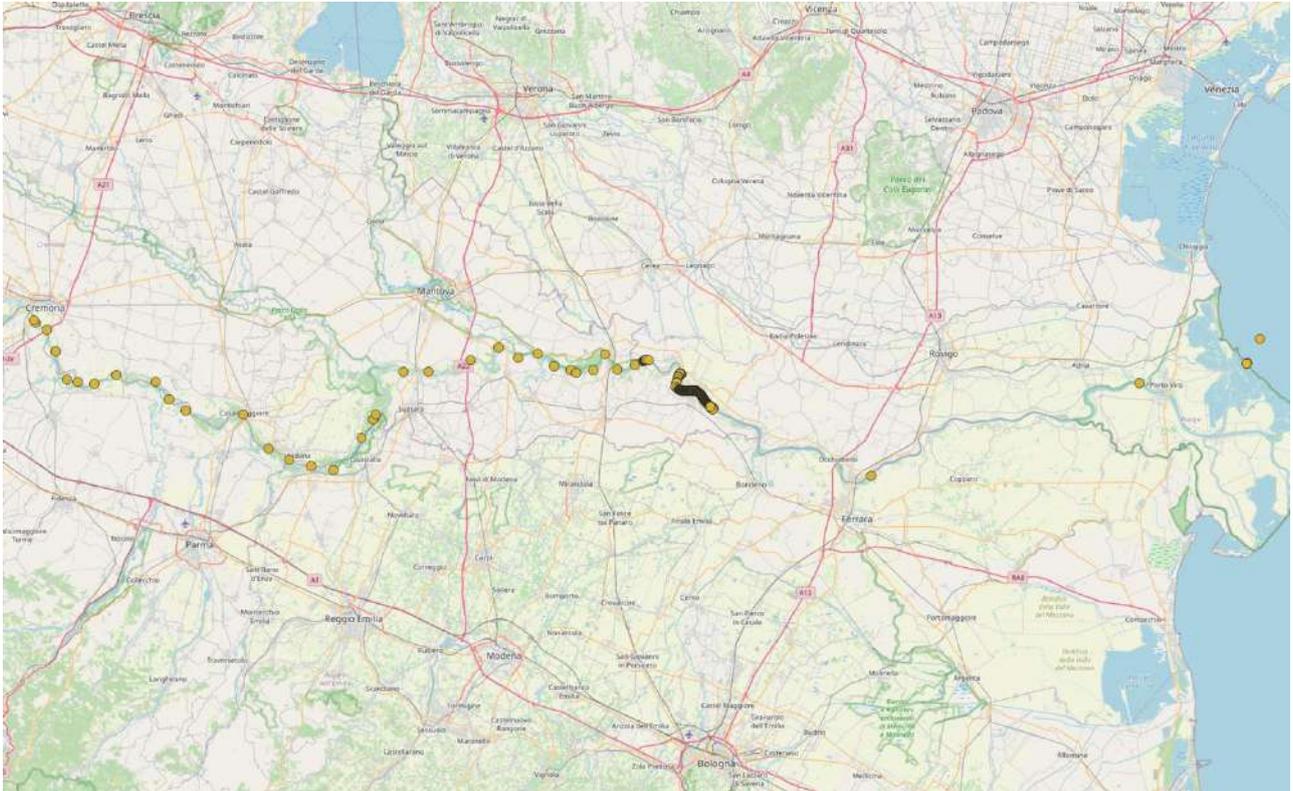
ID#: 136

254,7 km – successivamente in mare



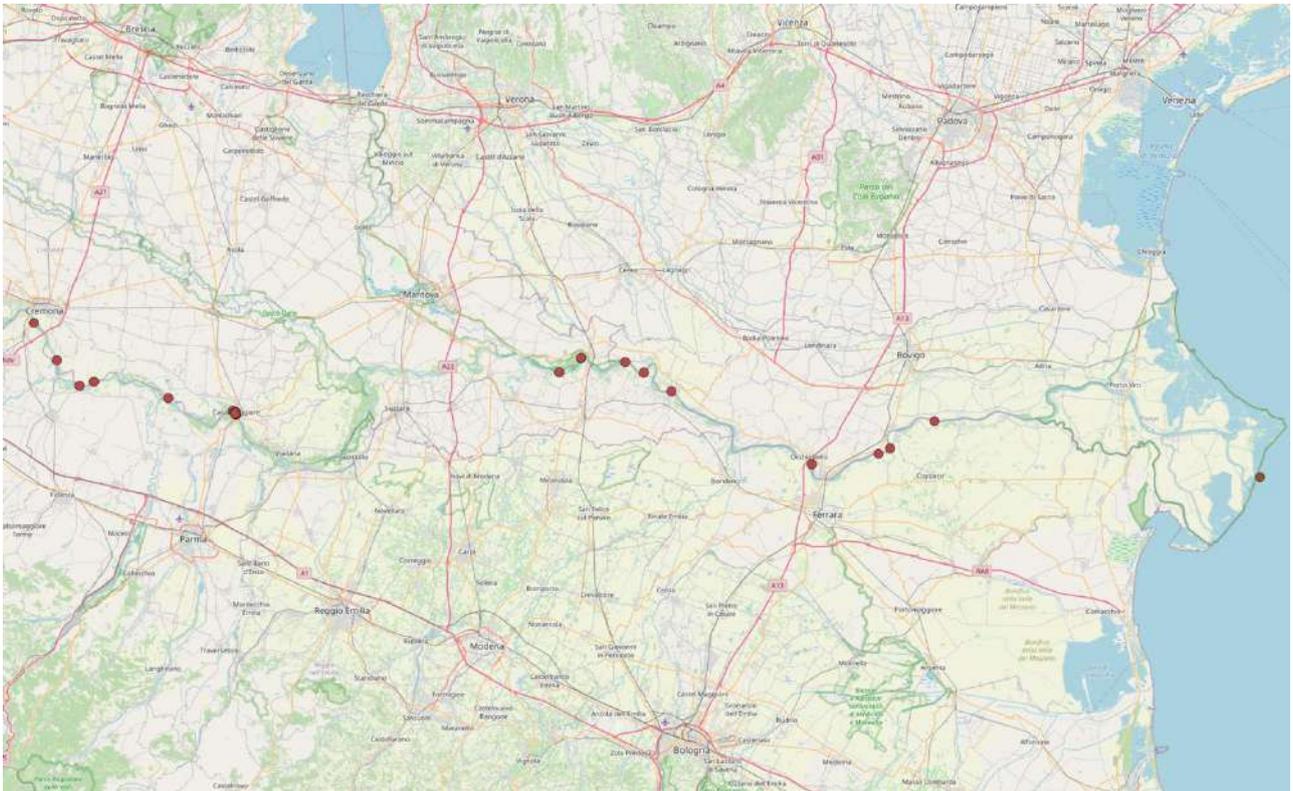
ID#: 148

243,9 km – successivamente in mare



ID#: 107

211 km – successivamente in mare

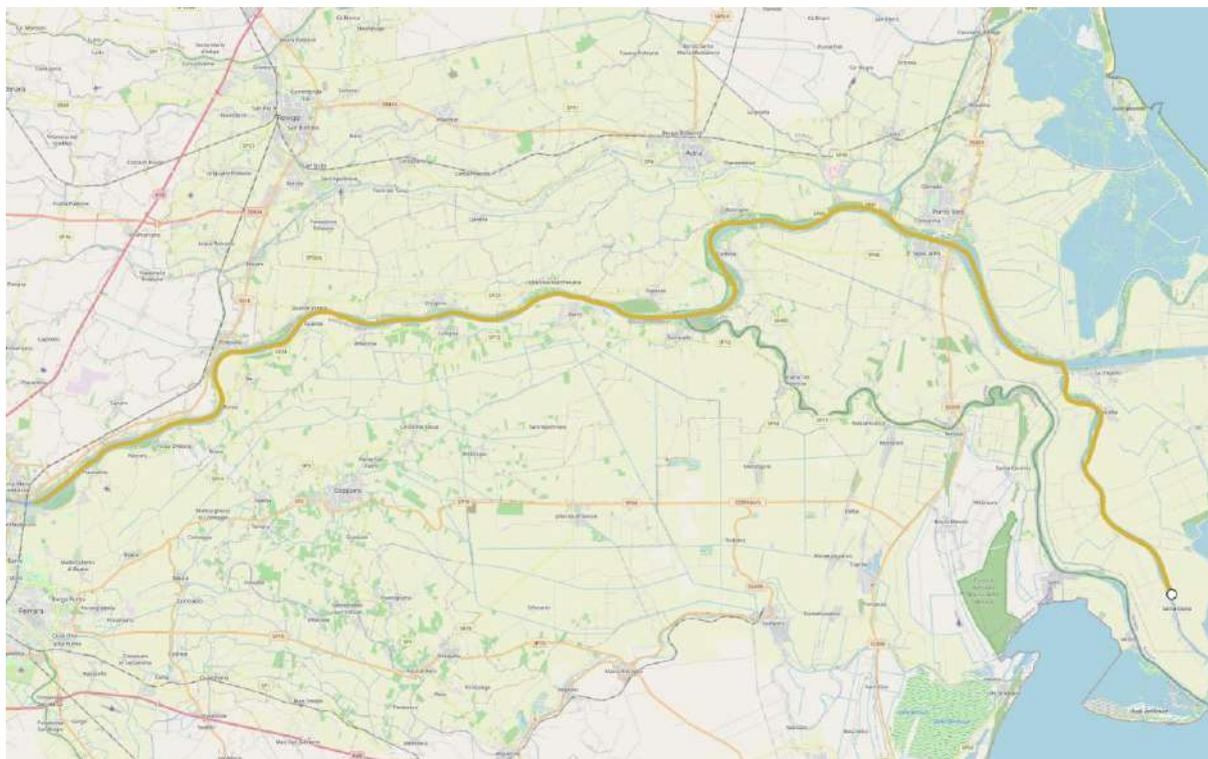


TRATTO A VALLE

Lancio del 5 settembre 2021 a Polesella

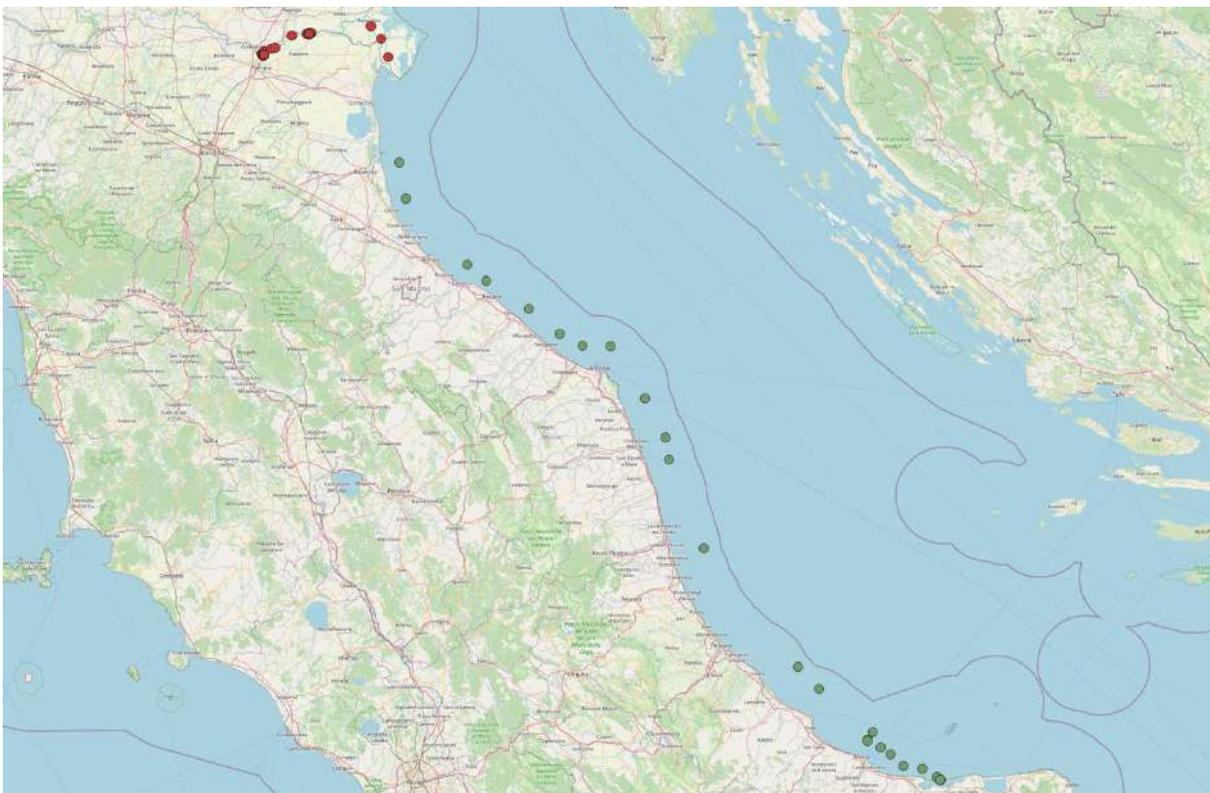
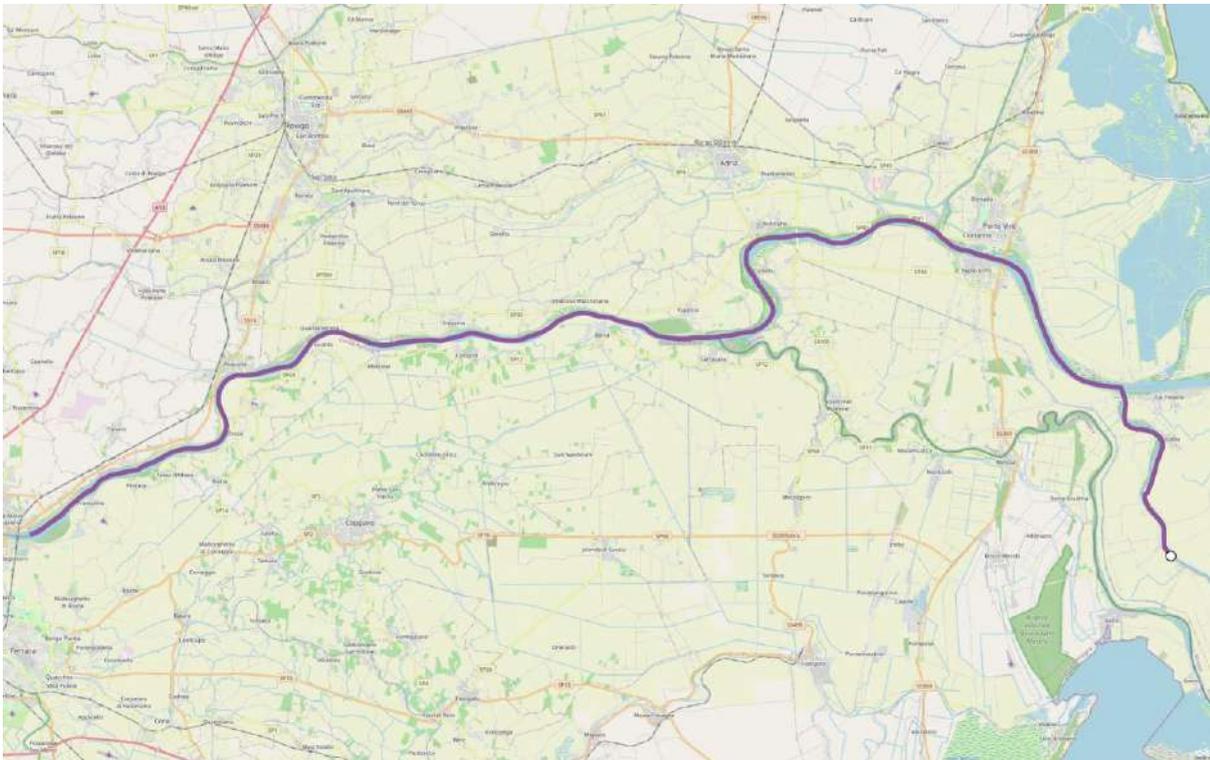
ID#: e32707

84,5 km



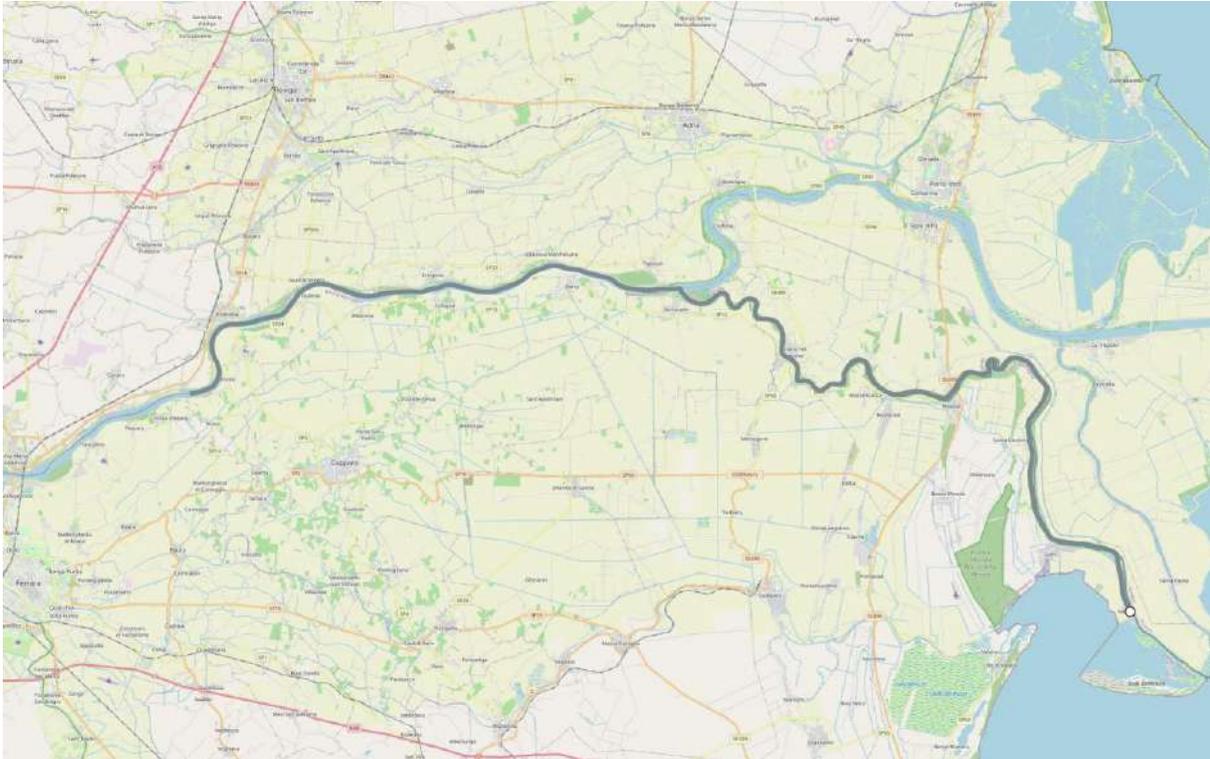
ID#: e32721

79,1 km – successivamente in mare



ID#: e32727

74,0 km



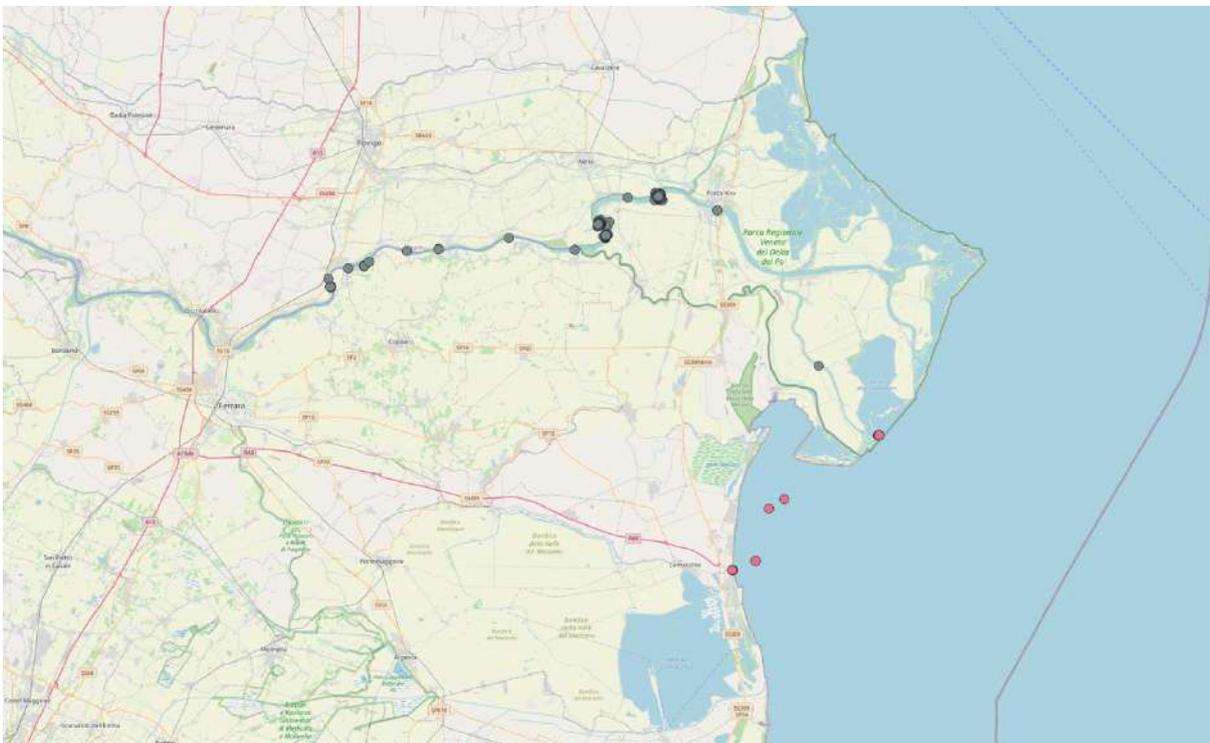
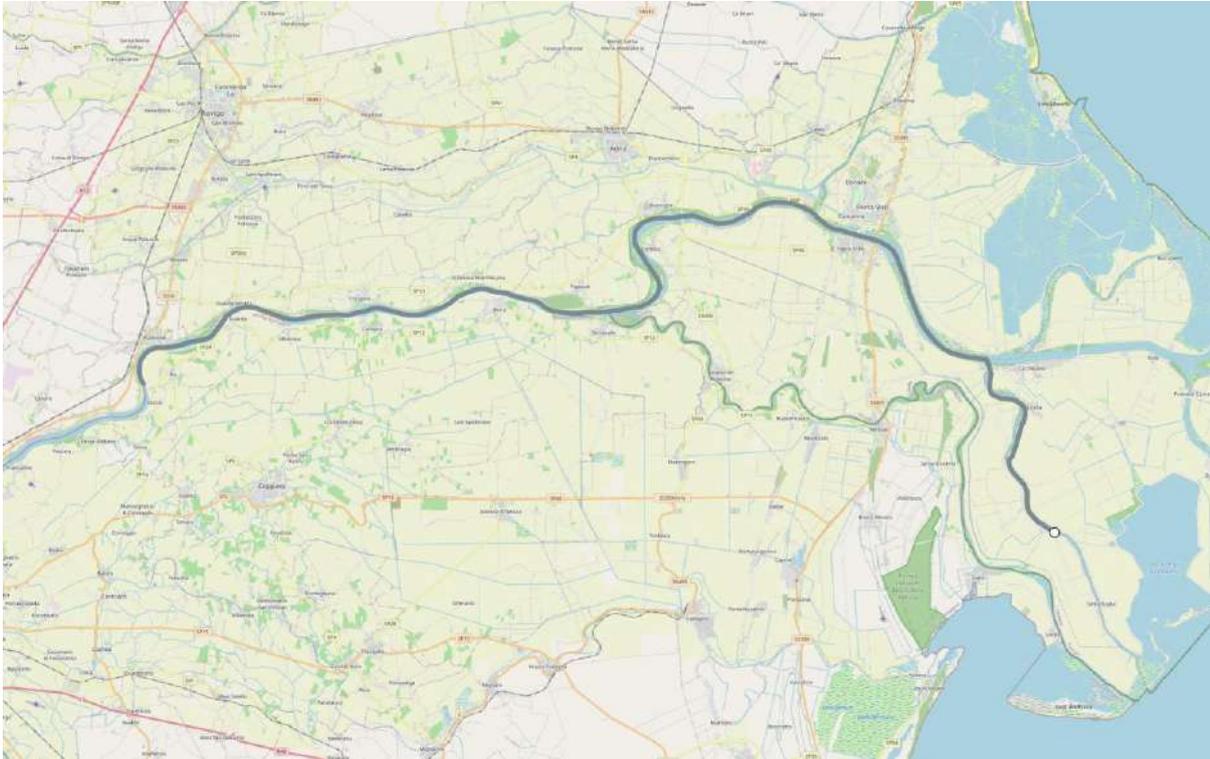
ID#: e32710

68,8 km



ID#: e32713

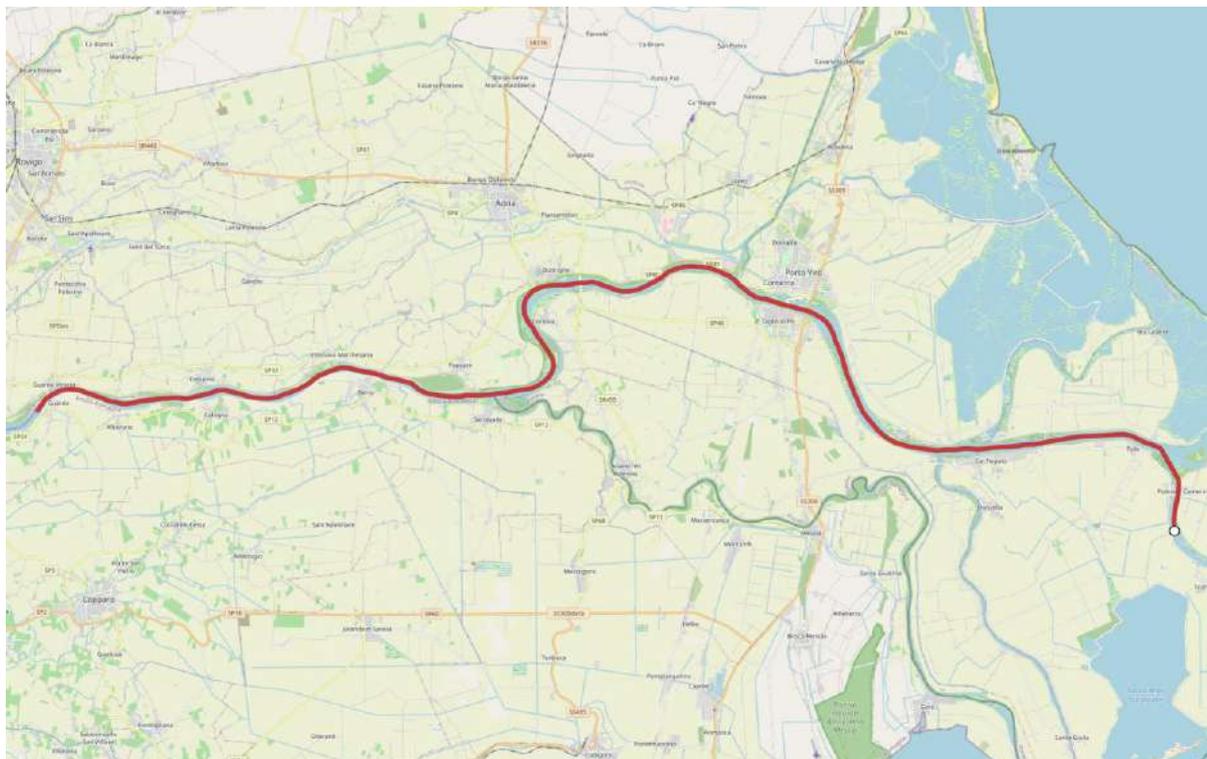
68,4 km – successivamente in mare



Lancio del 25 giugno 2022 a Polesella

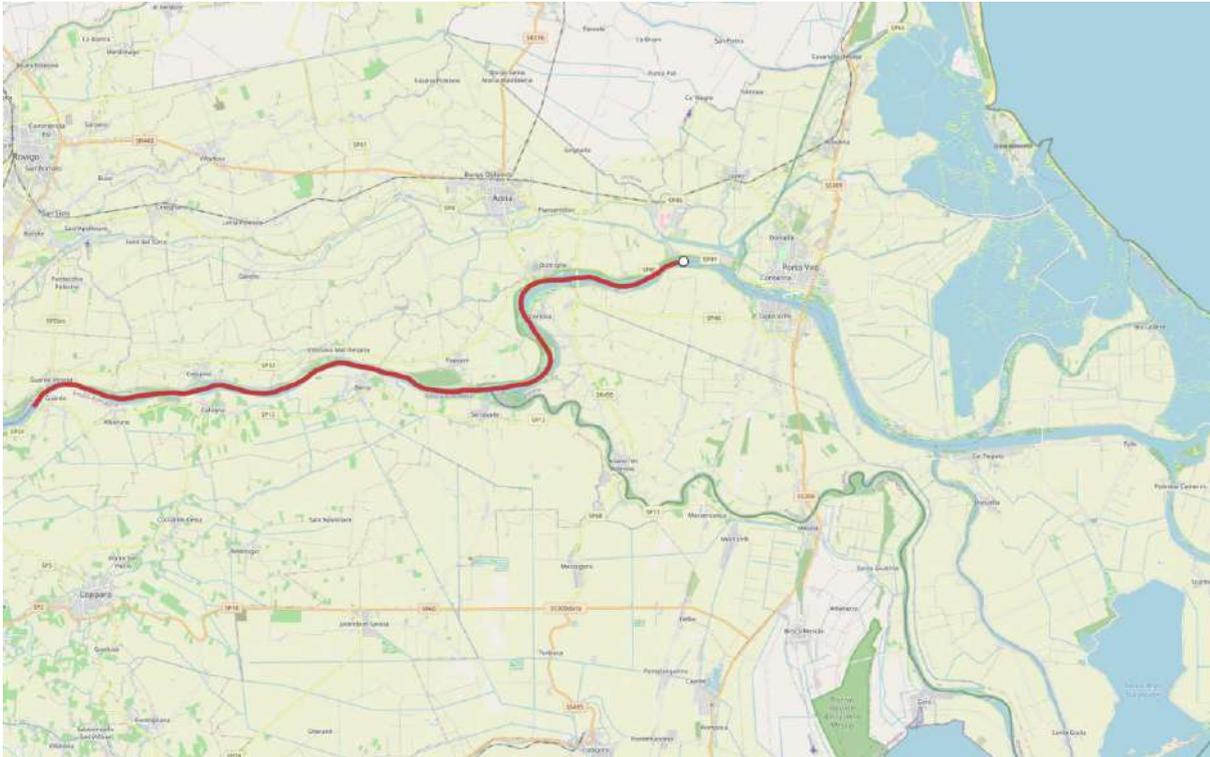
ID#: m08_39613

64,9 km – successivamente in mare



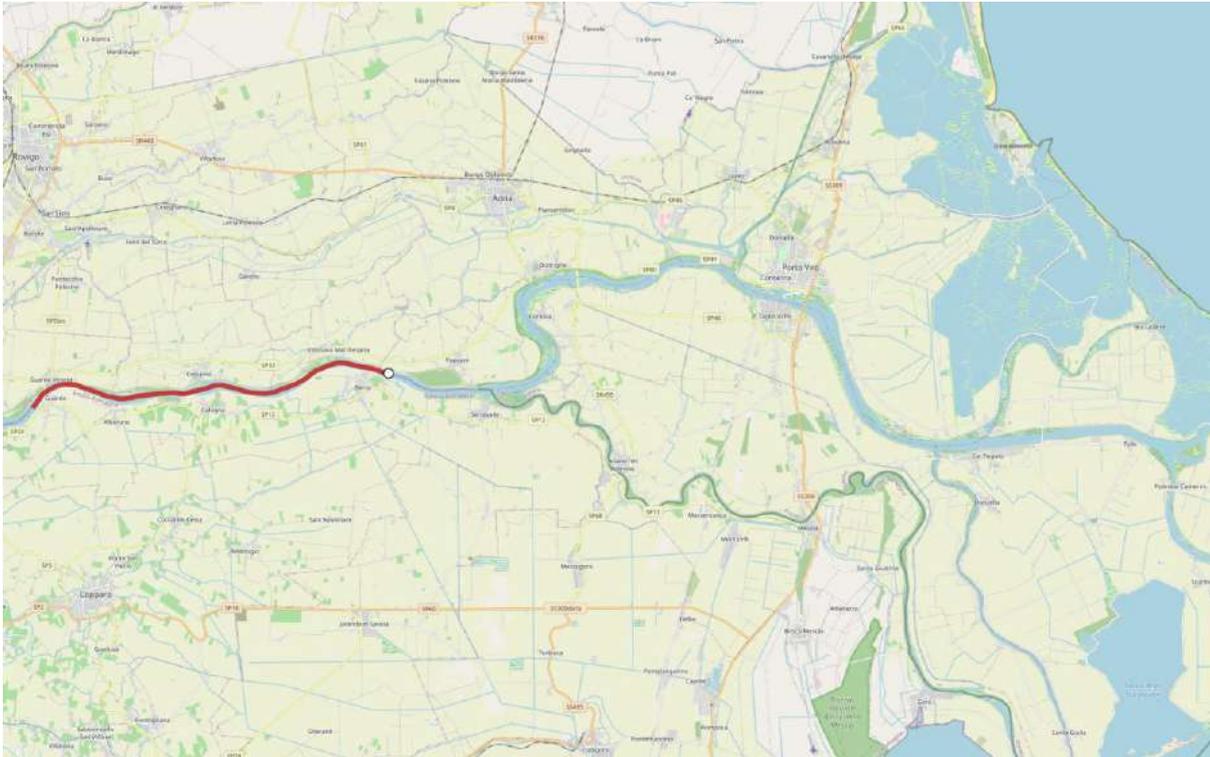
ID#: m06_39588

35,7 km



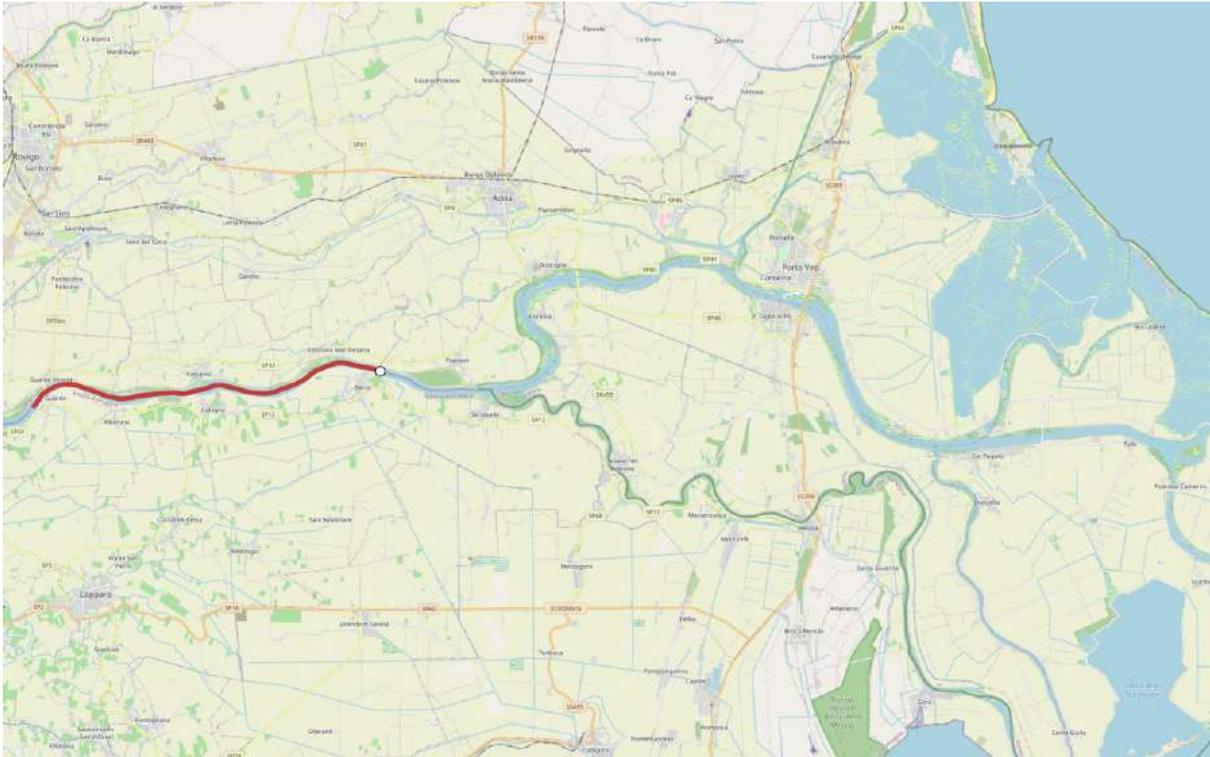
ID#: m97_39663

16,8 km



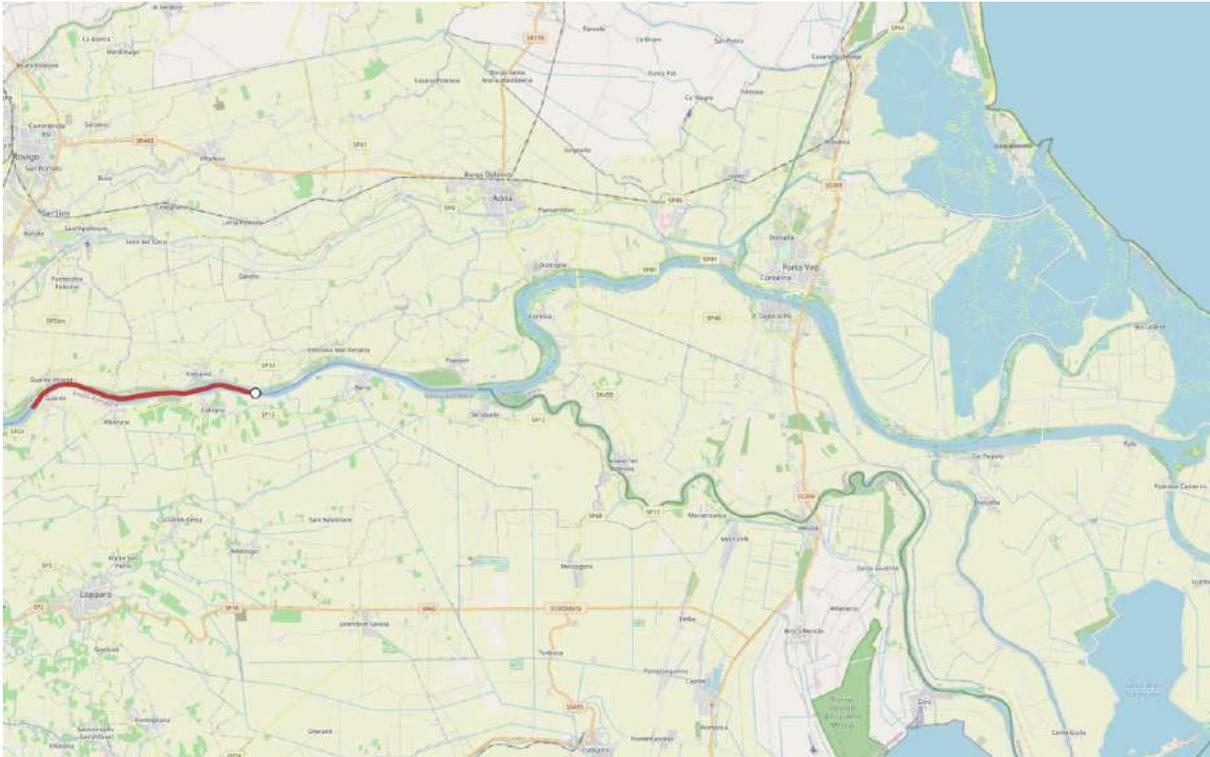
ID#: m04_39655

16,4 km



ID#: f035_39607

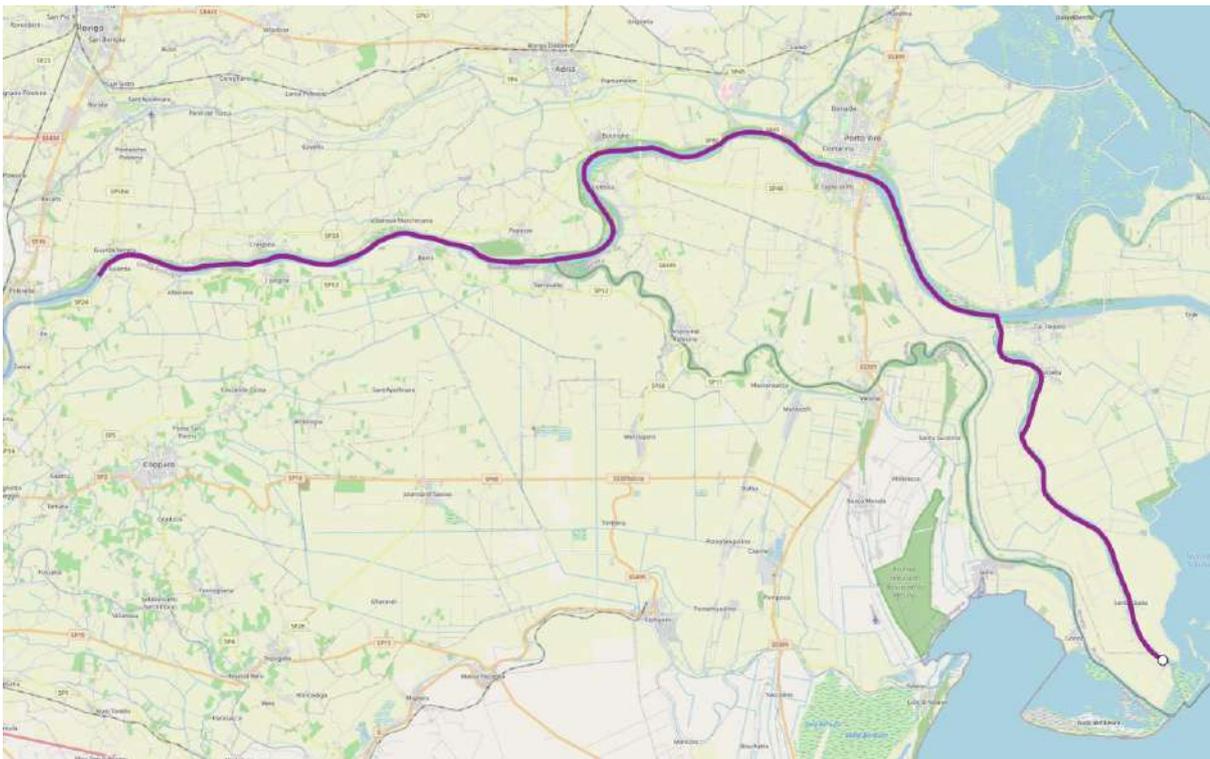
10,5 km



Lancio del 5 maggio 2023 a Polesella

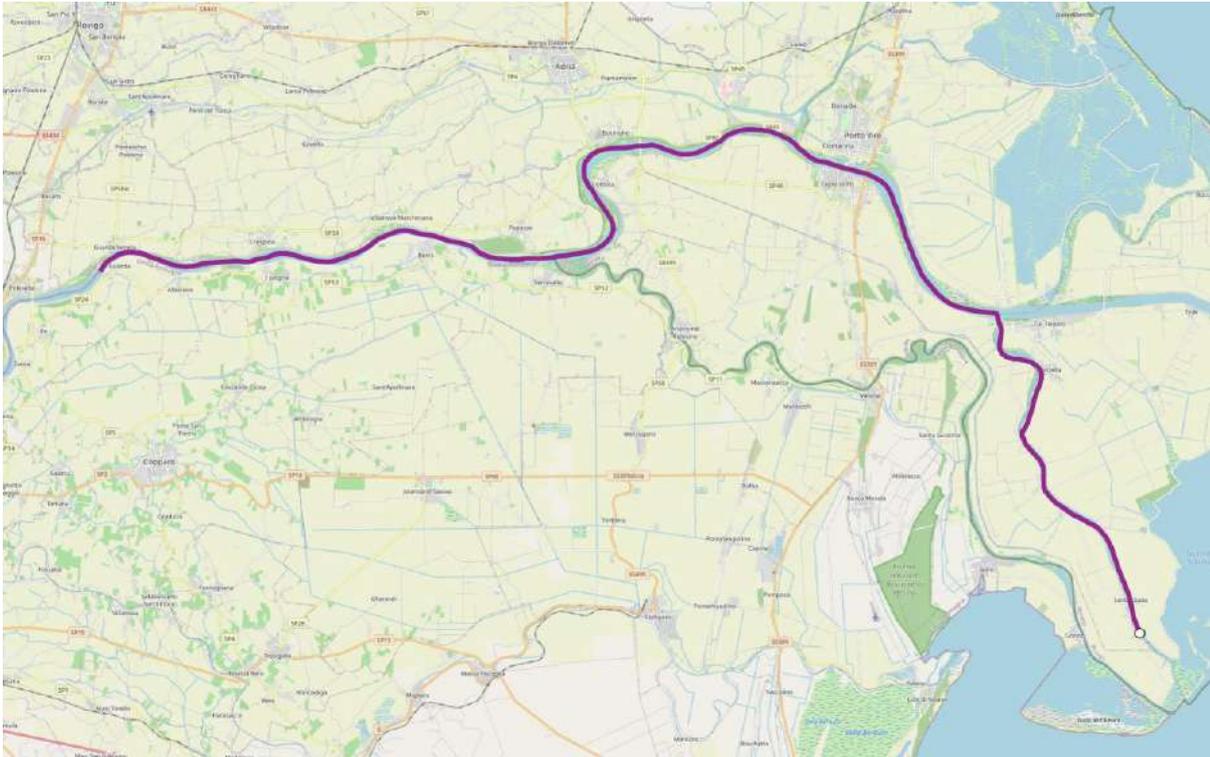
ID#: 144

70,0 km



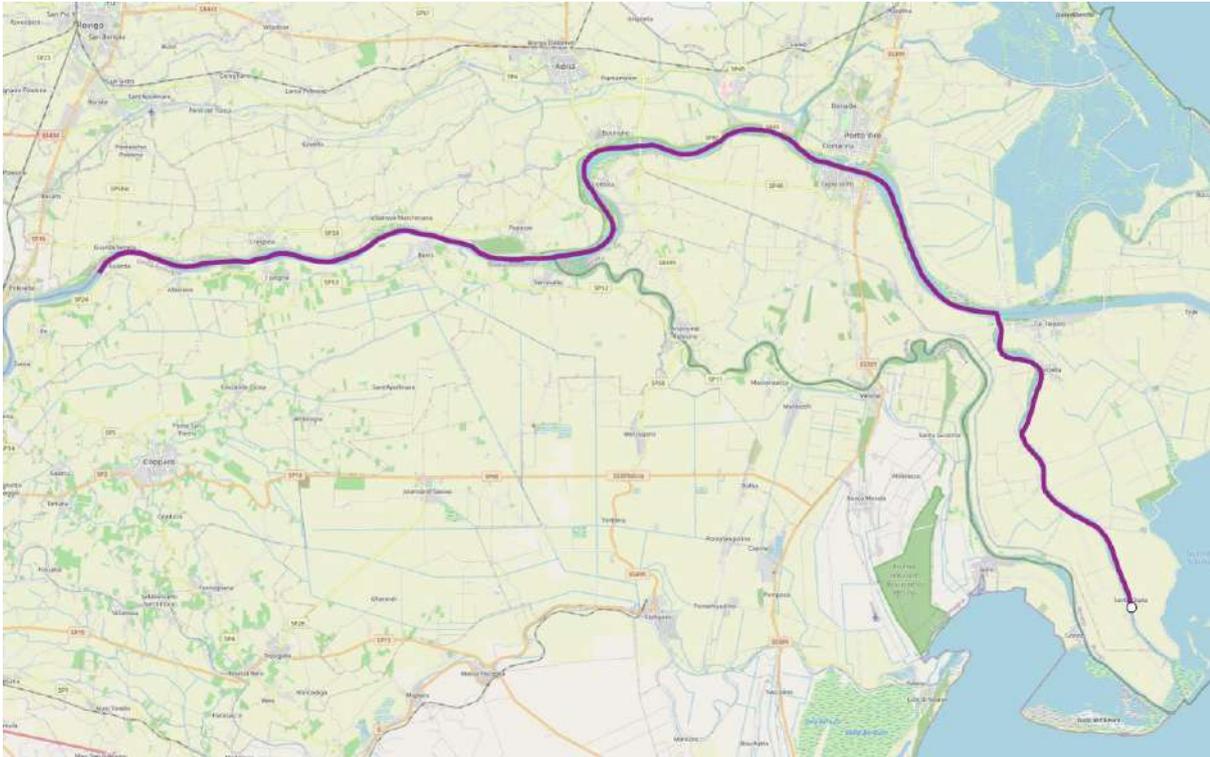
ID#: 141

68,4 km



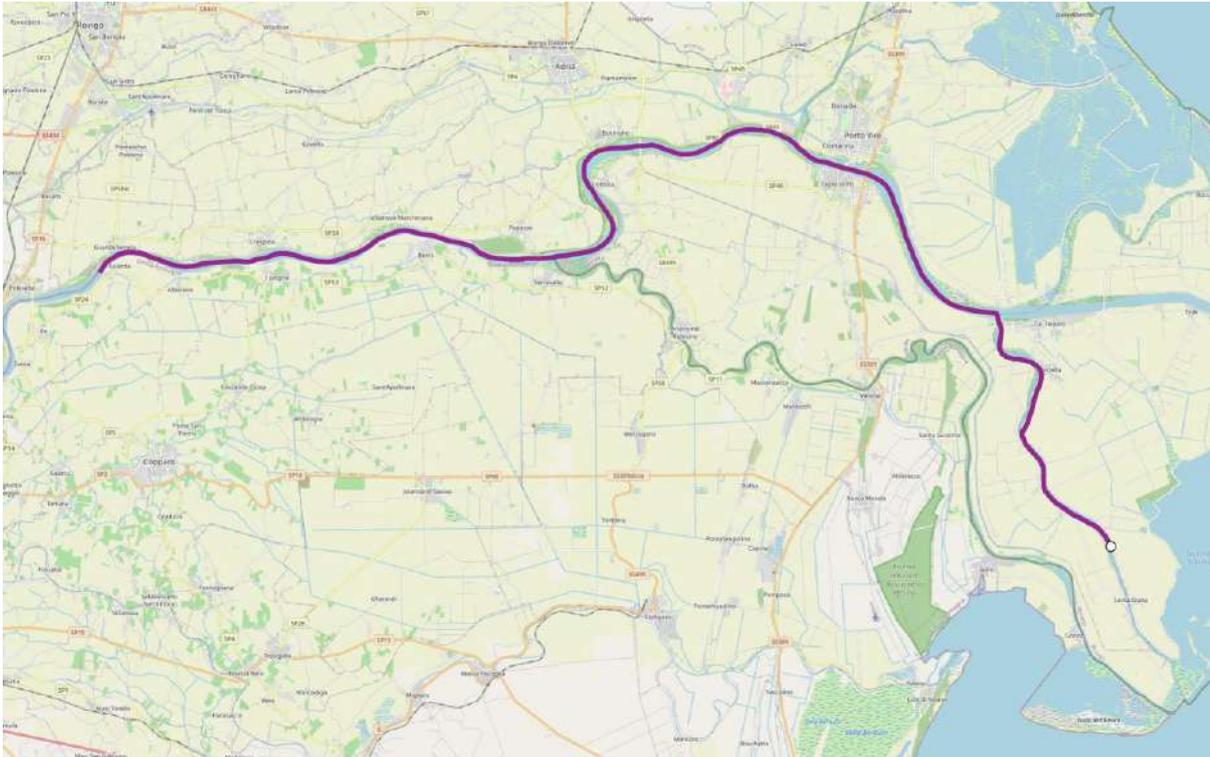
ID#: 138

67,3 km



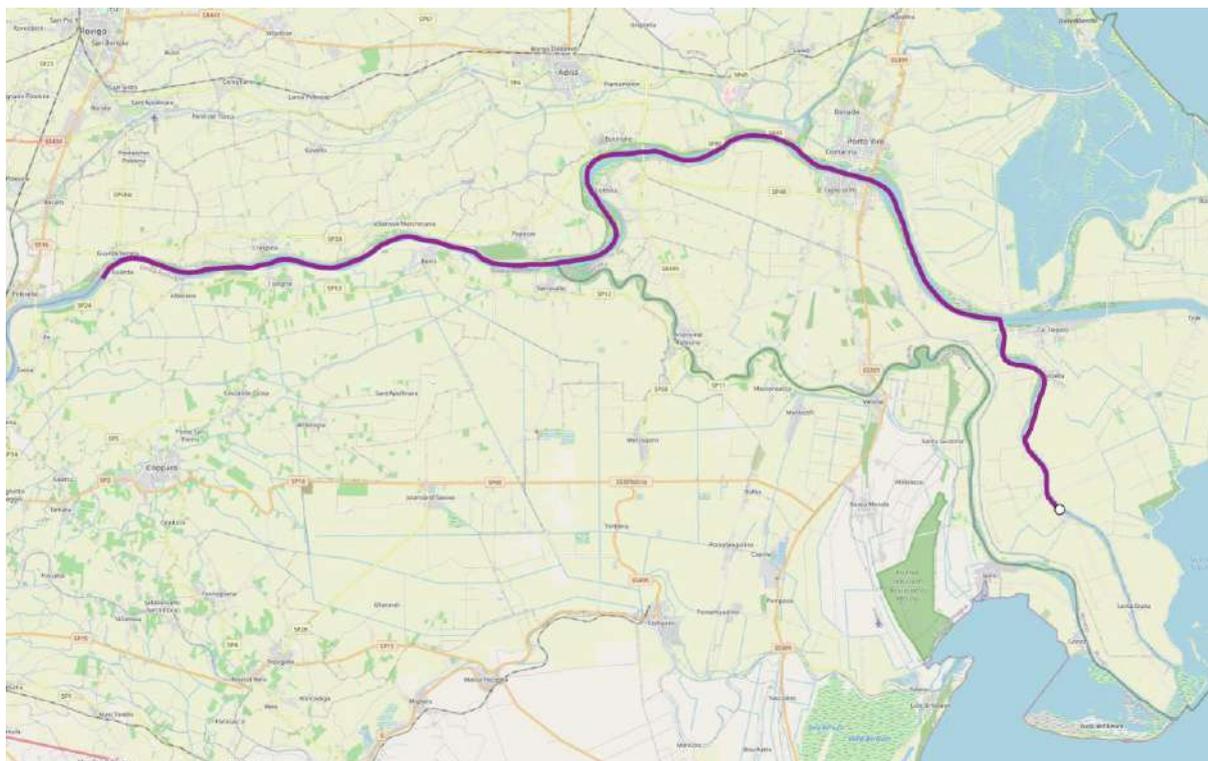
ID#: 122

64,4 km



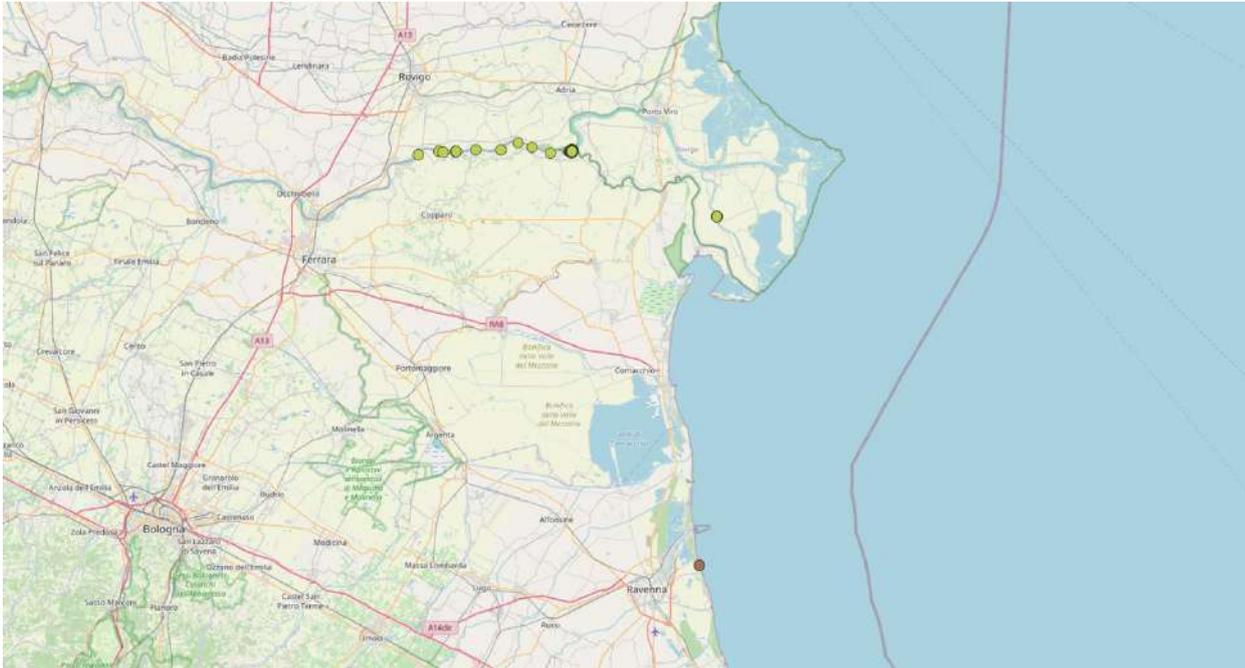
ID#: 100

61,1 km



ID#: 110

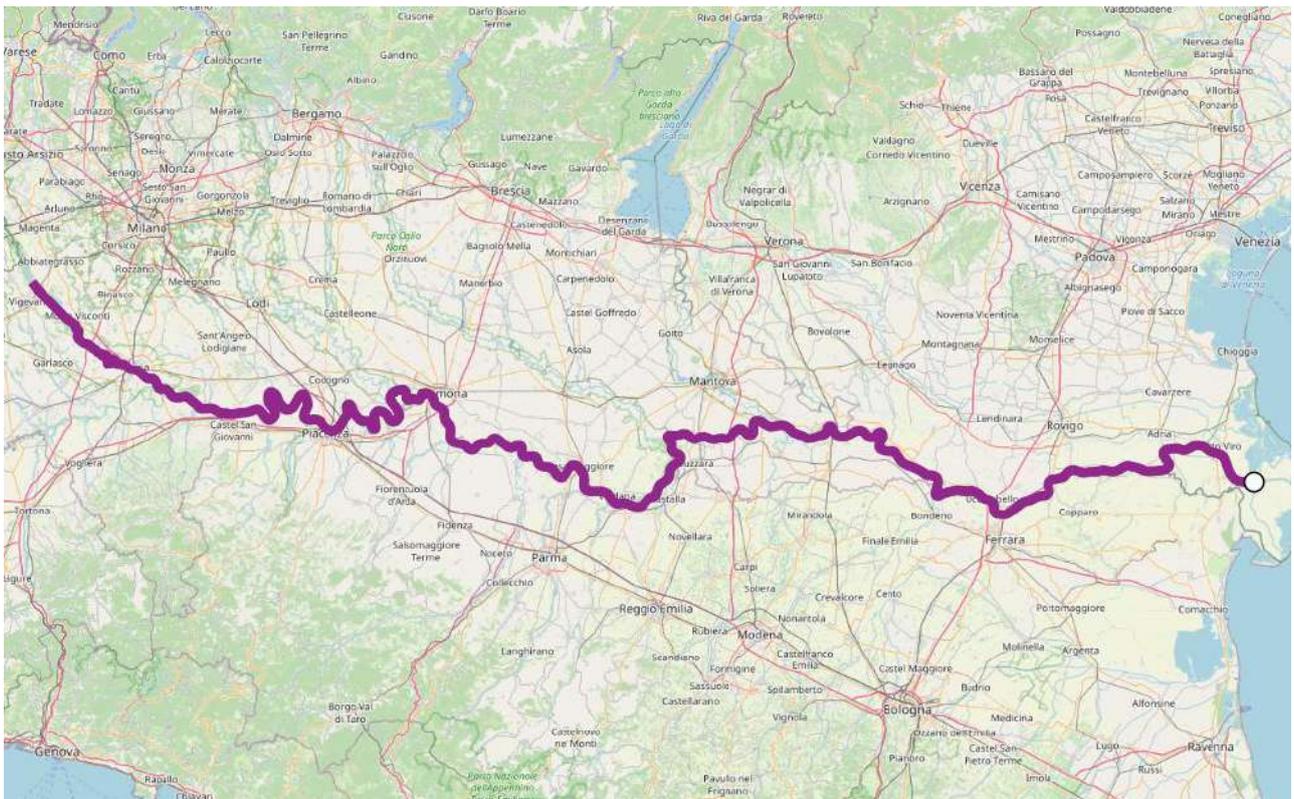
59,2 km – successivamente in mare



LANCI TEST

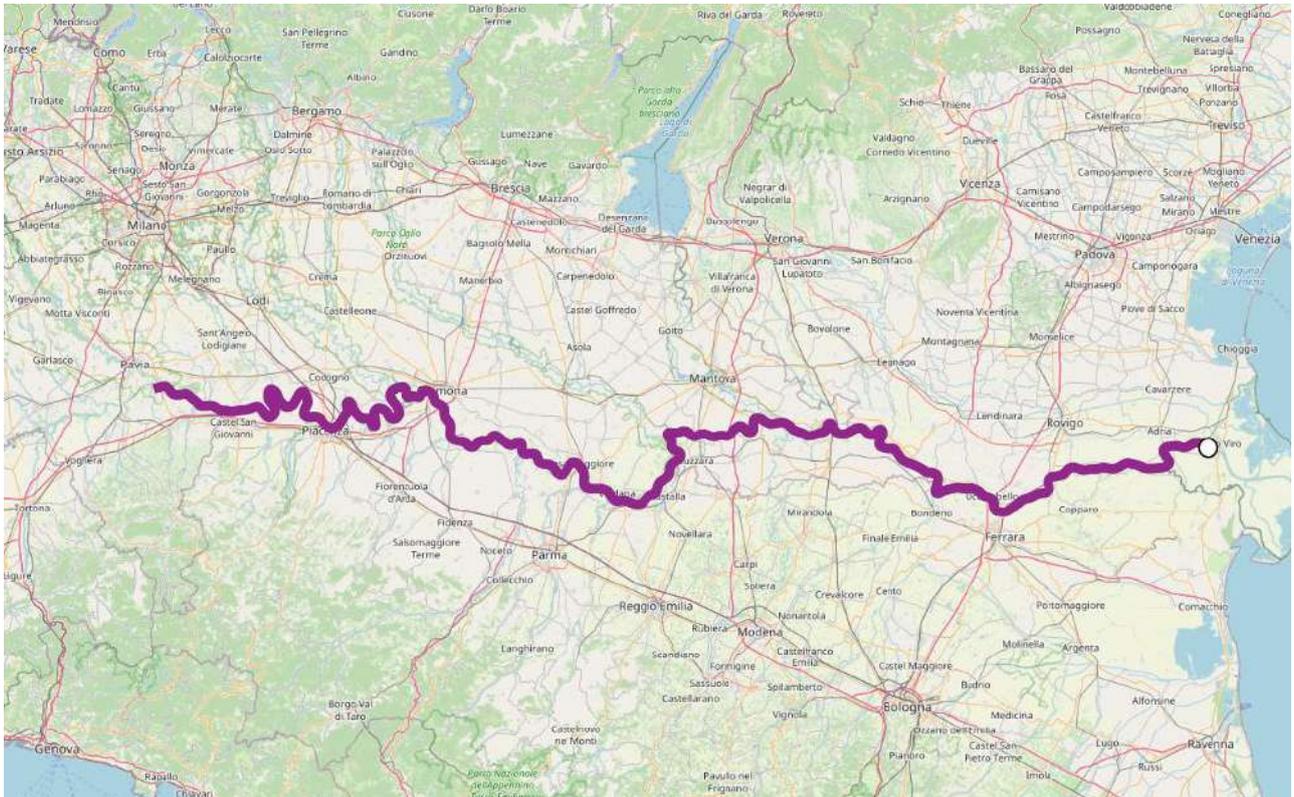
ID#: d25085

410,3 km



ID#: c25087

353,5 km



Allegato 4. Composizione degli indici che qualificano le celle esagonali

La tabella di seguito riporta per ogni cella individuata lungo tutta l'asta fluviale del fiume Po: il suo codice identificativo (numero a sei cifre), il valore dell'indice che quantifica le localizzazioni complessive rilevate durante il progetto, il codice identificativo di tutti i tracker che sono passati e/o hanno sostato all'interno di ciascuna cella e che concorrono alla formazione dell' indice stesso e, tra parentesi, la durata in giorni della sosta nella cella di riferimento. Infine, per ogni cella viene calcolato il numero complessivo di tracker che sono stati individuati.

ID della cella	Indice (punti nella cella)	Tracker nella cella e numero giorni passaggio/sosta per tracker	Numero tracker nella cella
TRATTO A MONTE			
172616	31	26139 (31)	1
172617	3	26137 (1), 26138 (1), 26148 (1)	3
173002	138	26139 (137), 26157 (1)	2
173003	30	26139 (24), 26151 (1), 26158 (1), 26159 (1), 26162 (1), 26163 (1), 26166 (1)	7
173772	14	26157 (14)	1
174157	105	26157 (105)	1
174544	2	26151 (2)	1
174929	13	26133 (1), 26143 (1), 26157 (1), 26161 (1), 26168 (1), 32715 (1), 32720 (1), 32724 (1), 32726 (1), 37729 (1), 37730 (1), 37754 (1), 37768 (1)	13
175316	1056	26158 (102), 26161 (167), 26162 (13), 32715 (57), 32726 (227), 37730 (441), 37754 (1), 37768 (48)	8
175701	87	26143 (24), 26148 (1), 26158 (1), 26166 (2), 32720 (6), 37729 (48), 37754 (5)	7
176088	113	26133 (16), 26159 (15), 37729 (60), 37754 (22)	4
176473	369	26159 (22), 26163 (346), 37729 (1)	3
177246	221	26166 (221)	1
177626	21	26137 (1), 26148 (16), 26151 (4)	3
178010	25	26148 (25)	1
178017	37	37729 (37)	1
178395	2	26148 (2)	1
178404	233	26157 (233)	1
178790	2	26157 (2)	1
179949	375	26162 (2), 37754 (373)	2
182269	17	37754 (17)	1
184188	16	25085 (16)	1

ID della cella	Indice (punti nella cella)	Tracker nella cella e numero giorni passaggio/sosta per tracker	Numero tracker nella cella
184197	94	26133 (94)	1
184198	3	26133 (3)	1
184969	14	26133 (14)	1
186896	64	25085 (64)	1
187669	10	25085 (1), 25087 (9)	2
190745	69	25084 (69)	1
191524	9	25084 (9)	1
193848	33	25087 (33)	1
194232	31	25085 (31)	1
TRATTO CENTRALE			
195390	36	26127 (1), 26128 (1), 26129 (1), 26140 (1), 26142 (1), 26144 (1), 26149 (1), 26152 (1), 26153 (1), 26154 (1), 26155 (1), 26164 (1), 26165 (1), 32714 (1), 32729 (1), 39572 (1), 39590 (1), 39601 (1), 39604 (1), 39612 (1), 39614 (7), 39615 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39626 (1), 39638 (1), 39641 (1), 39649 (1), 39683 (1)	24
195776	113	26127 (21), 26164 (12), 39572 (1), 39590 (7), 39604 (15), 39612 (1), 39614 (14), 39615 (8), 39618 (1), 39620 (1), 39626 (15), 39649 (17)	12
195777	110	26127 (13), 26128 (13), 26140 (17), 26142 (1), 26149 (50), 26152 (3), 39572 (1), 39601 (1), 39612 (1), 39620 (1), 39641 (1), 39683 (8)	12
195778	12	26152 (1), 39572 (2), 39612 (7), 39618 (1), 39641 (1)	5
196164	10	26128 (1), 26164 (5), 39572 (1), 39612 (1), 39620 (1), 39625 (1)	6
196165	521	26129 (17), 26155 (1), 26164 (503)	3
196550	9	26129 (1), 39572 (1), 39601 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39641 (1), 39649 (1)	9
196936	4	39572 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1)	4
197322	3	25087 (1), 39572 (1), 39641 (1)	3
197708	5	32714 (2), 32724 (1), 39572 (1), 39620 (1)	4
197709	4	39572 (1), 39612 (1), 39625 (1), 39641 (1)	4
198095	11	26127 (1), 39572 (4), 39601 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39641 (1)	8
198482	4	39612 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39641 (1)	4
198868	4	26128 (1), 26144 (1), 39612 (1), 39641 (1)	4
199254	11	26128 (3), 26129 (1), 26144 (1), 26155 (1), 39601 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39625 (1), 39641 (1)	9
199639	92	26128 (77), 26152 (8), 39601 (3), 39612 (1), 39620 (1), 39638 (1), 39683 (1)	7

ID della cella	Indice (punti nella cella)	Tracker nella cella e numero giorni passaggio/sosta per tracker	Numero tracker nella cella
199640	9	26152 (3), 32729 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39625 (1), 39641 (1), 39683 (1)	7
199641	6	26128 (1), 39604 (1), 39612 (1), 39614 (1), 39618 (1), 39641 (1)	6
200027	3	39612 (1), 39620 (1), 39625 (1)	3
200413	7	25085 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39641 (1), 39683 (1)	7
200800	6	26152 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39641 (1)	6
201186	7	26128 (1), 26153 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39641 (1)	7
201571	6	26154 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39683 (2)	5
201572	4	26127 (3), 39641 (1)	2
201955	7	39618 (6), 39620 (1)	2
201956	9	26129 (1), 26144 (1), 26155 (1), 39572 (1), 39612 (1), 39618 (2), 39620 (1), 39641 (1)	8
202340	5	26127 (2), 26129 (1), 39612 (1), 39618 (1)	4
202341	11	26127 (1), 26129 (3), 39618 (2), 39625 (1), 39641 (4)	5
202342	8	26144 (4), 39618 (2), 39626 (1), 39649 (1)	4
202726	13	26127 (2), 26128 (2), 26155 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (6)	6
203112	29	26127 (9), 26152 (1), 26153 (7), 26154 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (8), 39641 (1)	8
203498	3	26127 (2), 39641 (1)	2
203884	6	26128 (1), 26153 (3), 39620 (1), 39683 (1)	4
204269	10	26154 (7), 39612 (1), 39618 (1), 39641 (1)	4
204655	49	26128 (23), 26154 (19), 39612 (1), 39614 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (1), 39641 (1), 39649 (1)	9
205041	5	26129 (1), 39618 (2), 39620 (1), 39641 (1)	4
205427	5	26128 (1), 39612 (1), 39620 (1), 39641 (2)	4
205428	8	39612 (1), 39614 (3), 39620 (1), 39641 (3)	4
205813	5	39604 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39641 (1)	5
206200	7	37729 (1), 39601 (1), 39612 (1), 39614 (2), 39620 (1), 39641 (1)	6
206585	16	26128 (1), 26152 (6), 26155 (3), 32729 (1), 39601 (1), 39612 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39641 (1)	9
206972	5	39612 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39626 (1), 39641 (1)	5
207357	5	39572 (1), 39601 (1), 39612 (1), 39620 (1), 39641 (1)	5
207744	11	26127 (3), 26129 (1), 26154 (1), 39601 (1), 39612 (1), 39614 (3), 39641 (1)	7
208130	15	26152 (1), 26155 (1), 32729 (3), 39612 (2), 39618 (1), 39620 (6), 39641 (1)	7

ID della cella	Indice (punti nella cella)	Tracker nella cella e numero giorni passaggio/sosta per tracker	Numero tracker nella cella
208131	6	39612 (5), 39638 (1)	2
208517	38	26128 (10), 26129 (13), 26155 (5), 32729 (1), 39601 (1), 39618 (1), 39620 (1), 39625 (4), 39683 (2)	9
208518	10	26154 (1), 39620 (9)	2
208903	7	25087 (1), 26129 (1), 26152 (3), 39618 (1), 39641 (1)	5
208904	5	26129 (3), 26154 (1), 39612 (1)	3
209291	3	25087 (1), 26152 (2)	2
209677	174	25087 (164), 26128 (1), 26152 (6), 39618 (1), 39641 (1), 39649 (1)	6
210449	14	26144 (8), 39572 (4), 39618 (1), 39626 (1)	4
210835	3	26128 (1), 26155 (1), 39614 (1)	3
210836	303	25085 (1), 26128 (295), 26144 (1), 39604 (1), 39612 (1), 39618 (3), 39641 (1)	7
211222	3	25087 (1), 39601 (1), 39641 (1)	3
TRATTO A VALLE			
211609	110	26127 (1), 26128 (50), 26129 (1), 26152 (1), 26154 (1), 32707 (22), 32721 (32), 39620 (1), 39641 (1)	9
211994	14	26127 (1), 26128 (1), 26144 (1), 26152 (4), 32707 (4), 32721 (1), 39641 (1), 39683 (1)	8
212380	141	26127 (86), 26144 (4), 26152 (42), 32721 (1), 32727 (2), 39601 (1), 39614 (4), 39641 (1)	8
212764	200	26129 (188), 26155 (1), 32710 (2), 32712 (1), 32713 (1), 32727 (1), 32728 (3), 39612 (1), 39618 (1), 39634 (1)	10
212765	42	26144 (1), 32707 (1), 32710 (2), 32712 (2), 32713 (1), 32727 (17), 32728 (6), 39601 (1), 39614 (9), 39625 (1), 39641 (1)	11
213150	34	25087 (2), 32707 (1), 32712 (1), 32721 (2), 32725 (1), 32727 (1), 32728 (1), 37726 (1), 37775 (1), 39562 (1), 39570 (1), 39578 (1), 39584 (1), 39585 (1), 39588 (1), 39589 (1), 39602 (1), 39607 (1), 39609 (1), 39613 (1), 39616 (1), 39617 (1), 39618 (1), 39621 (1), 39623 (1), 39630 (1), 39631 (1), 39634 (1), 39644 (1), 39655 (1), 39663 (1), 39665 (1)	32
213151	8	32706 (1), 32709 (1), 32710 (1), 32713 (4), 32719 (1)	5
213536	388	26144 (1), 26154 (5), 32709 (1), 32712 (1), 32713 (1), 32719 (1), 32727 (1), 37726 (2), 37775 (35), 39562 (25), 39570 (1), 39578 (5), 39584 (1), 39585 (2), 39588 (51), 39589 (2), 39601 (1), 39602 (44), 39607 (75), 39609 (4), 39613 (2), 39616 (1), 39617 (2), 39621 (1), 39630 (1), 39631 (1), 39634 (11), 39644 (1), 39655 (11), 39663 (96), 39665 (1), 39681 (1)	32

ID della cella	Indice (punti nella cella)	Tracker nella cella e numero giorni passaggio/sosta per tracker	Numero tracker nella cella
213922	382	32707 (1), 32709 (1), 32713 (1), 32721 (5), 32728 (1), 37729 (1), 39570 (2), 39572 (3), 39578 (109), 39584 (1), 39585 (1), 39588 (1), 39589 (1), 39602 (140), 39607 (5), 39616 (1), 39617 (7), 39621 (2), 39623 (1), 39630 (50), 39631 (1), 39634 (1), 39641 (9), 39644 (1), 39655 (30), 39665 (1), 39681 (5)	27
214308	1752	26144 (611), 32706 (12), 32709 (1), 32719 (14), 32721 (567), 32725 (17), 37726 (10), 39570 (1), 39572 (32), 39584 (1), 39585 (1), 39588 (2), 39589 (1), 39607 (144), 39612 (4), 39613 (275), 39616 (1), 39621 (1), 39623 (1), 39631 (1), 39634 (45), 39641 (1), 39663 (6), 39665 (1), 39681 (1), 39683 (1)	26
214694	38	26128 (5), 32706 (13), 32713 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39585 (1), 39621 (1), 39623 (6), 39625 (1), 39631 (1), 39641 (1), 39644 (4), 39649 (1), 39665 (1)	15
215079	115	26155 (1), 32706 (2), 32707 (1), 32710 (1), 32712 (1), 32725 (1), 32727 (1), 32728 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39585 (13), 39588 (1), 39589 (1), 39616 (1), 39621 (1), 39631 (1), 39644 (1), 39655 (66), 39663 (17), 39665 (1), 39681 (1)	21
215080	49	32706 (1), 32727 (1), 39655 (1), 39663 (46)	4
215466	67	25085 (1), 32709 (1), 32712 (1), 32719 (2), 32728 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39585 (1), 39589 (1), 39616 (1), 39621 (1), 39631 (1), 39644 (52), 39665 (1), 39681 (1)	15
215851	78	32707 (1), 32712 (1), 32713 (66), 32719 (2), 32725 (1), 32728 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39588 (1), 39616 (1), 39665 (1), 39681 (1)	12
215852	335	25085 (312), 26154 (1), 32709 (1), 32713 (1), 32727 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39589 (1), 39616 (1), 39621 (13), 39665 (1), 39681 (1)	12
216237	14	26155 (3), 32713 (2), 32719 (1), 37729 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39589 (2), 39616 (1), 39631 (1), 39665 (1)	10
216238	36	25087 (2), 32706 (1), 32709 (2), 32710 (1), 32713 (28), 39570 (1), 39665 (1)	7
216622	1229	25087 (1), 26155 (1), 32706 (1), 32709 (1), 32710 (1), 32712 (657), 32713 (510), 32719 (1), 32728 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39585 (2), 39588 (45), 39604 (1), 39616 (2), 39631 (1), 39665 (1), 39681 (1)	18
217009	1752	25087 (577), 26155 (214), 32706 (5), 32707 (1), 32709 (115), 32710 (1), 32712 (1), 32725 (644), 32728 (184), 37729 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39589 (1), 39612 (1), 39616 (1), 39620 (1), 39631 (1), 39665 (1), 39681 (1)	19

ID della cella	Indice (punti nella cella)	Tracker nella cella e numero giorni passaggio/sosta per tracker	Numero tracker nella cella
217395	91	32706 (32), 32713 (1), 32719 (1), 32721 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39589 (1), 39616 (1), 39631 (1), 39665 (1), 39681 (50)	11
217781	15	26153 (6), 26154 (1), 32712 (1), 39570 (1), 39589 (1), 39616 (1), 39631 (1), 39681 (2), 39683 (1)	9
217782	12	32706 (1), 32707 (1), 39570 (1), 39584 (1), 39585 (1), 39613 (1), 39618 (5), 39665 (1)	8
217783	116	26153 (45), 32706 (23), 32707 (1), 32727 (1), 39570 (31), 39584 (1), 39604 (1), 39616 (1), 39631 (1), 39665 (10), 39683 (1)	11
218168	59	26128 (1), 26153 (2), 32706 (24), 32710 (1), 32721 (1), 39570 (5), 39584 (16), 39589 (6), 39618 (1), 39631 (1), 39665 (1)	11
218169	196	26128 (32), 26154 (44), 32706 (1), 32710 (8), 32719 (2), 39570 (2), 39584 (52), 39616 (53), 39631 (1), 39641 (1)	10
218170	19	39631 (19)	1
218555	695	25085 (26), 26154 (130), 32706 (519), 32719 (2), 39584 (2), 39612 (1), 39616 (1), 39618 (13), 39625 (1)	9
218556	250	26128 (60), 26154 (170), 32707 (1), 32719 (15), 39617 (1), 39631 (1), 39649 (1), 39665 (1)	8
218557	37	32707 (5), 32713 (1), 32719 (3), 32721 (1), 39570 (6), 39621 (7), 39631 (13), 39641 (1)	8
218559	149	32727 (149)	1
218940	24	39625 (24)	1
218943	590	32710 (1), 32719 (546), 39585 (19), 39641 (1), 39649 (23)	5
218944	106	32707 (91), 32727 (1), 39570 (10), 39626 (4)	4
218945	13	39665 (13)	1
219327	31	39618 (31)	1
219712	13	39625 (13)	1

Allegato 5. Rappresentazione delle zone di accumulo e delle zone con percentuale di accumulo maggiore di 5%

Si riporta qui la rappresentazione in maggiore scala delle celle identificate come zone di accumulo (percentuale di accumulo maggiore della soglia minima di 10%) e di quelle che, pur non avendo raggiunto la soglia minima, hanno una percentuale di accumulo maggiore di 5%. Per le zone di accumulo è riportata anche la distribuzione spaziale di provenienza dei segnali al loro interno.

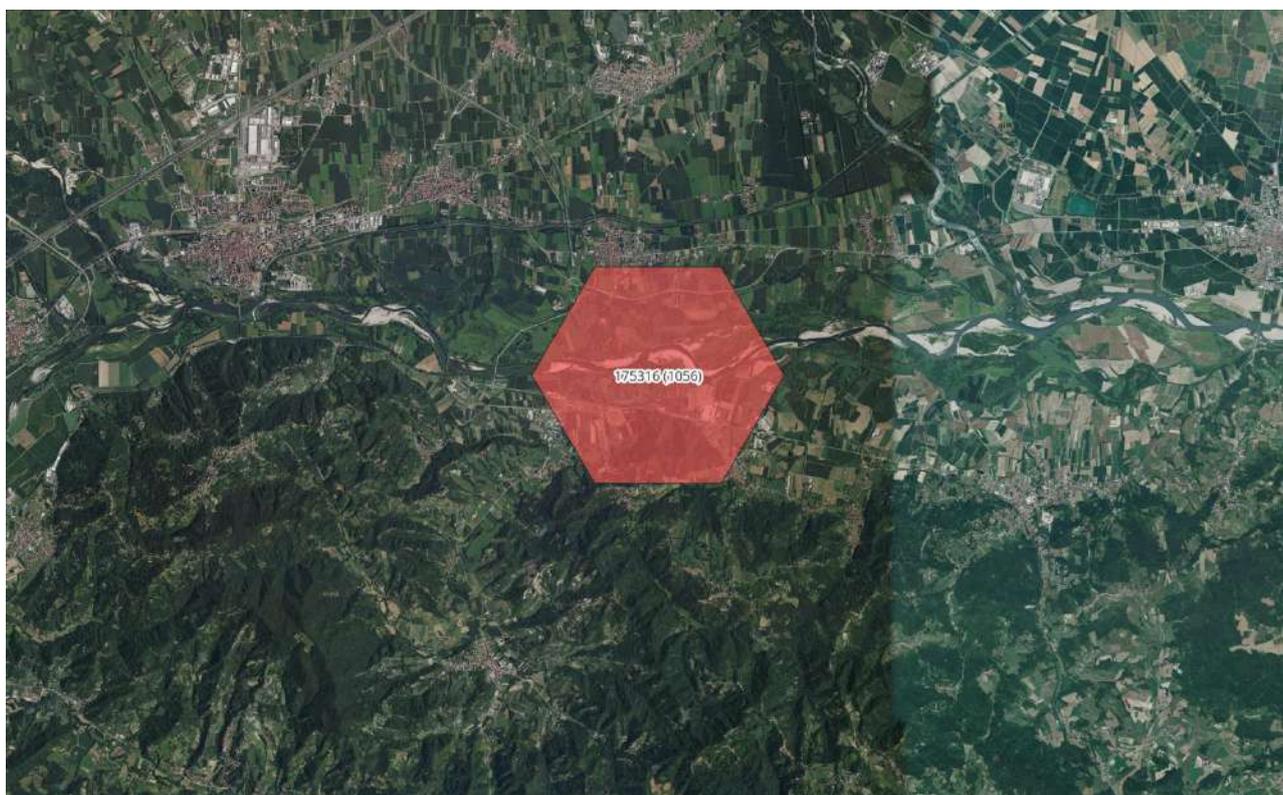
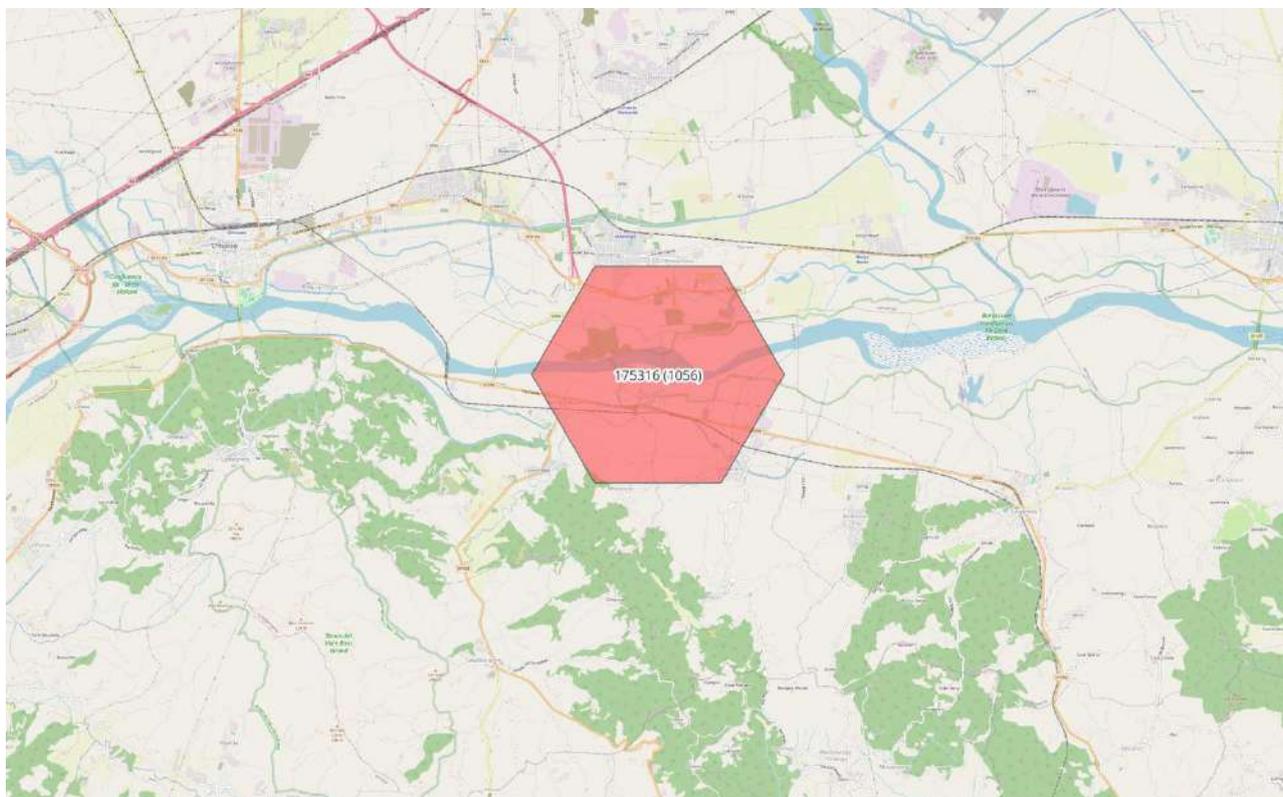
ZONE DI ACCUMULO

TRATTO A MONTE

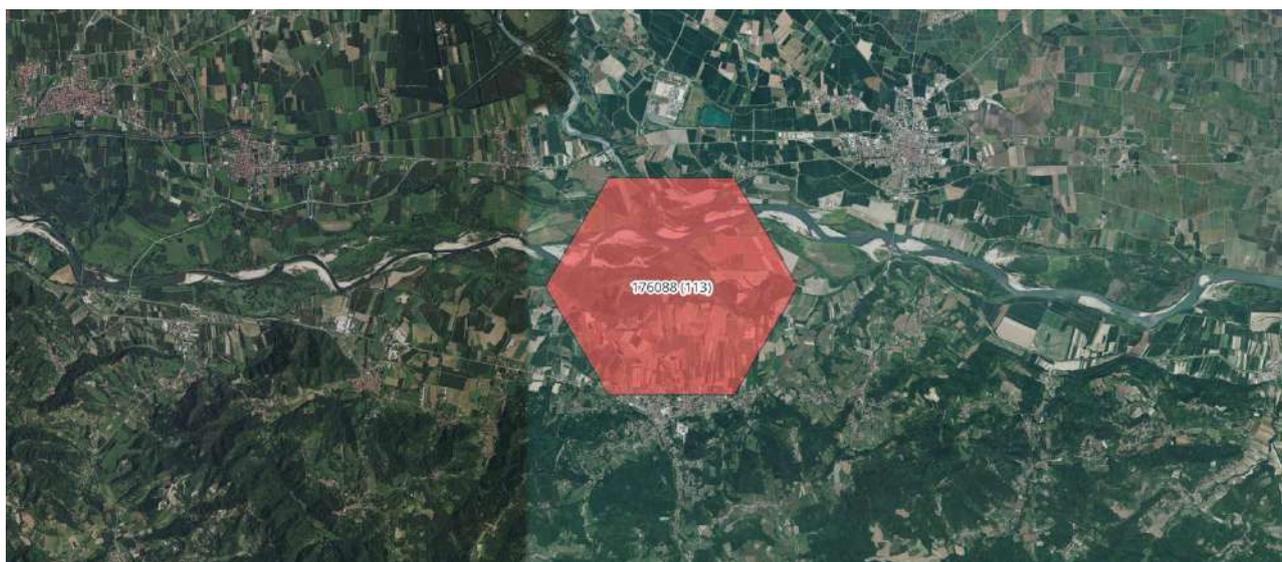
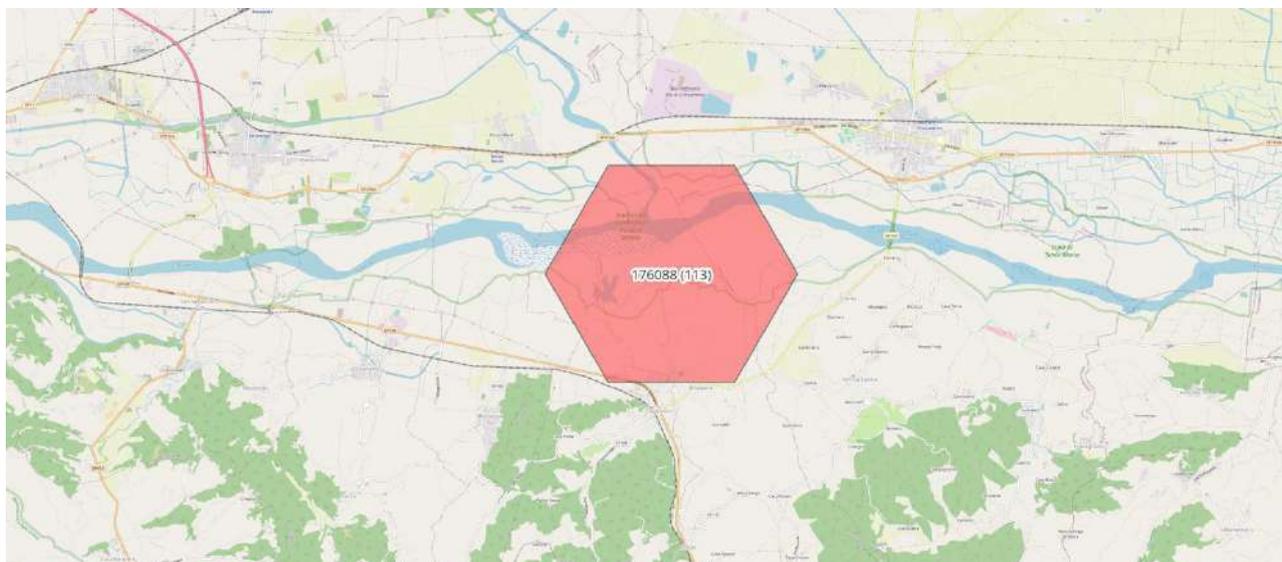
Sono state riscontrate quattro zone di accumulo nel tratto a monte:

- cella 175316 (35%), in località San Sebastiano Po - Verolengo (TO)
- cella 176088 (20%), in località Brusasco (TO)
- cella 175701 (10%), in località Verolengo - Borgo Revel (TO)
- cella 176473 (10%), in località Crescentino (VC)

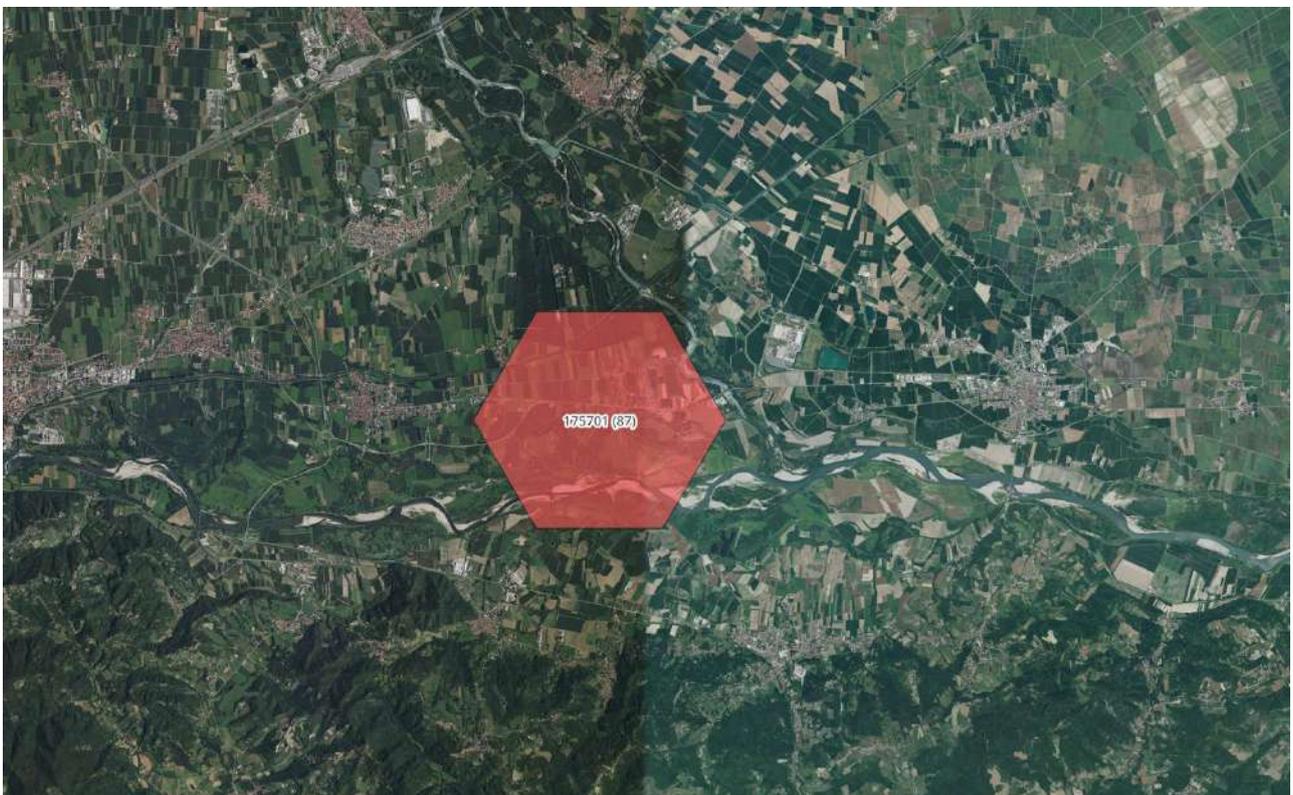
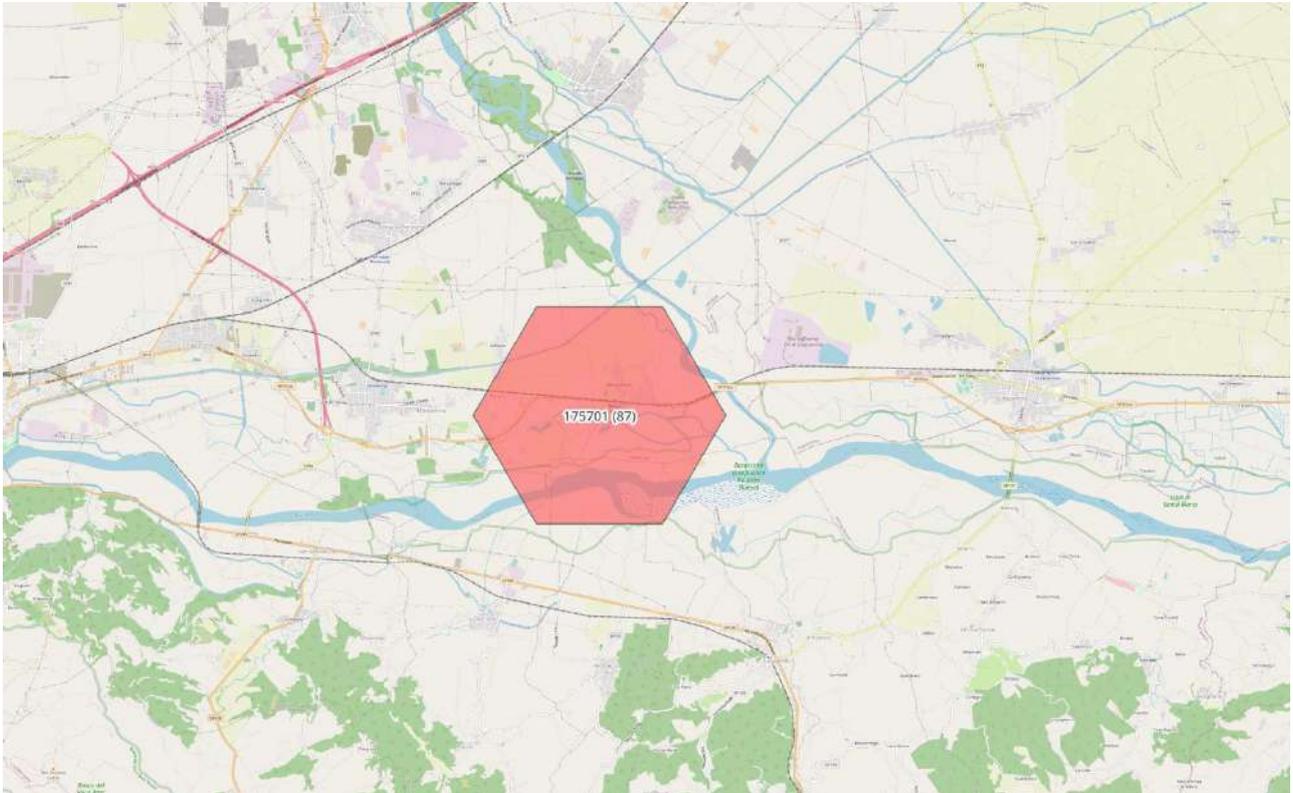
CODICE DELLA CELLA: ID 175316 - località San Sebastiano Po - Verolengo (TO)



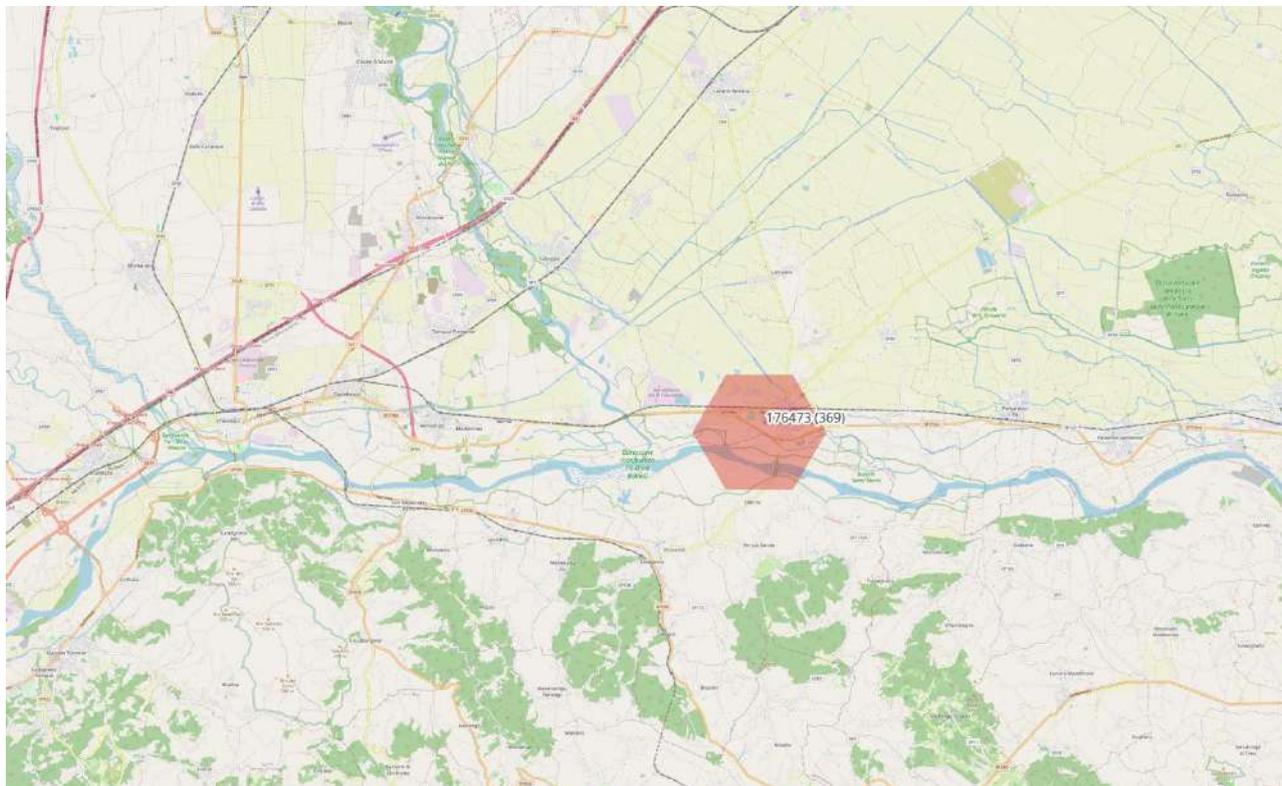
CODICE DELLA CELLA: ID 176088 - località Brusasco (TO)



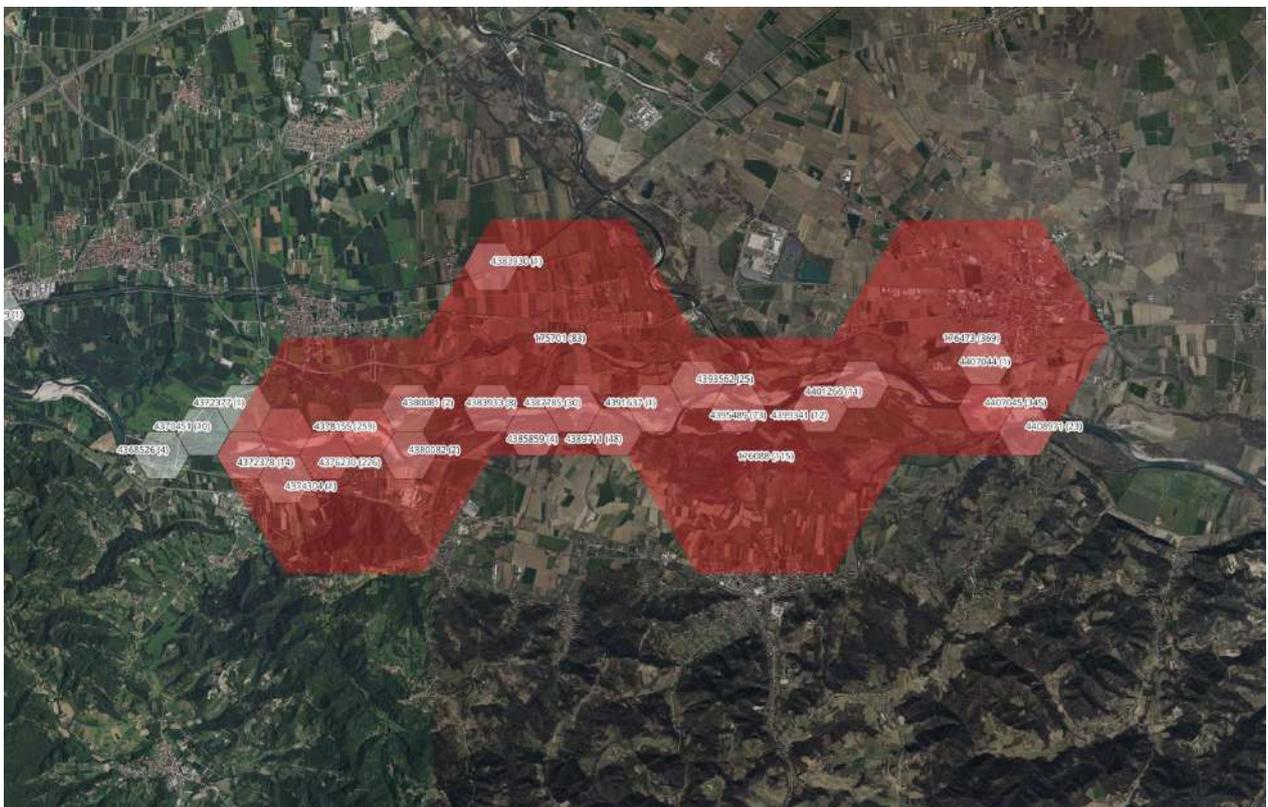
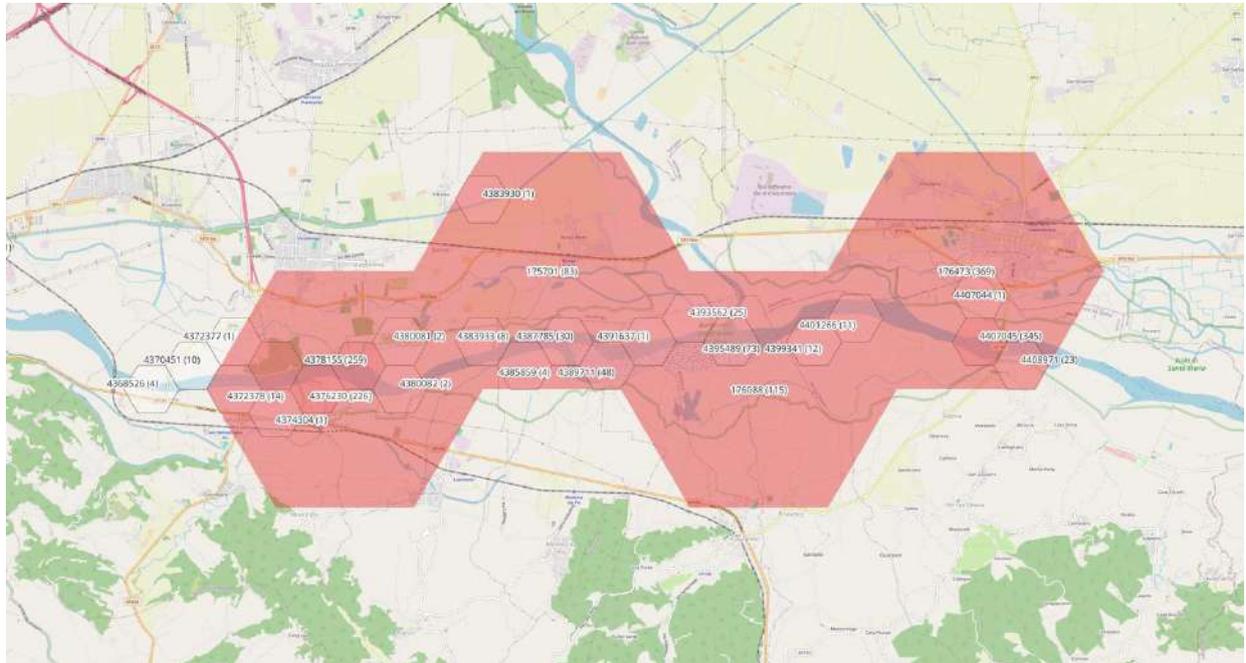
CODICE DELLA CELLA: ID 175701 - Verolengo - Borgo Revel (TO)



CODICE DELLA CELLA: ID 176473 – località Crescentino (VC)



DISTRIBUZIONE SPAZIALE DI PROVENIENZA DEI SEGNALI NELLE ZONE DI ACCUMULO

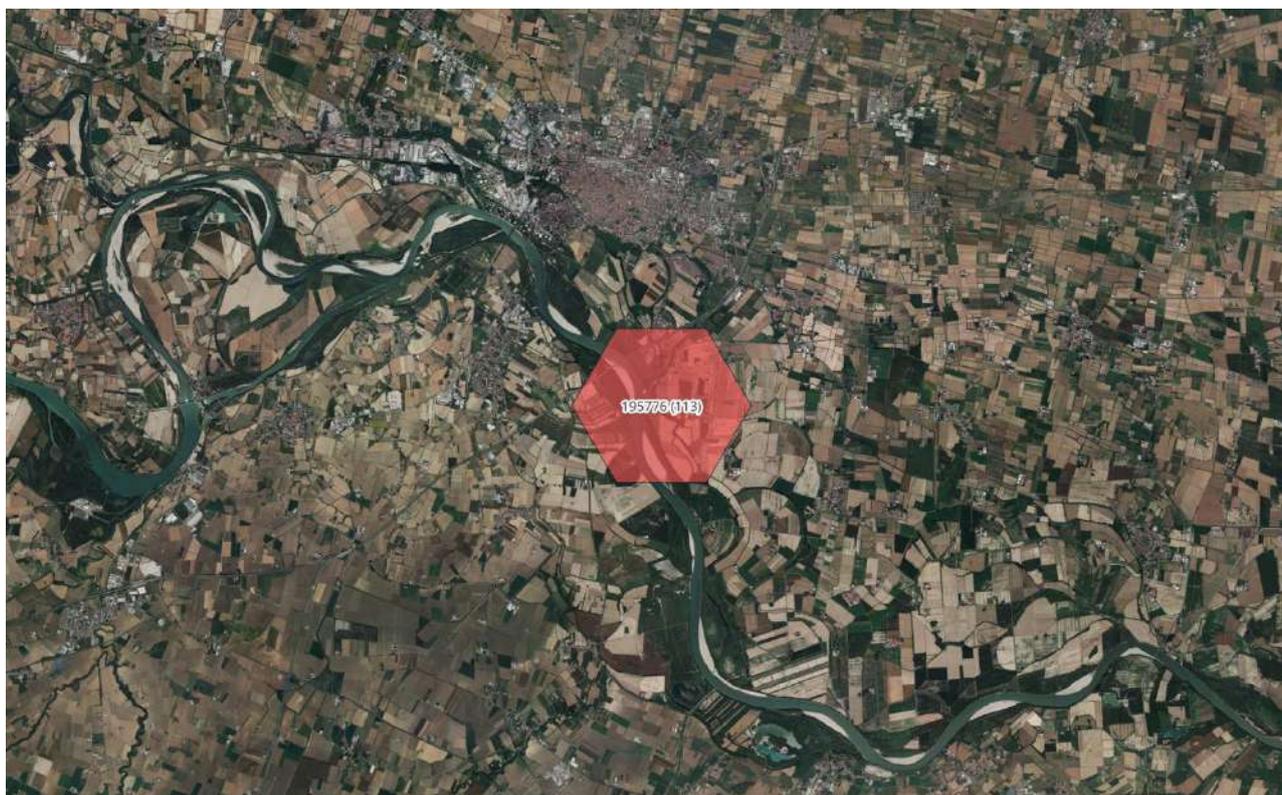
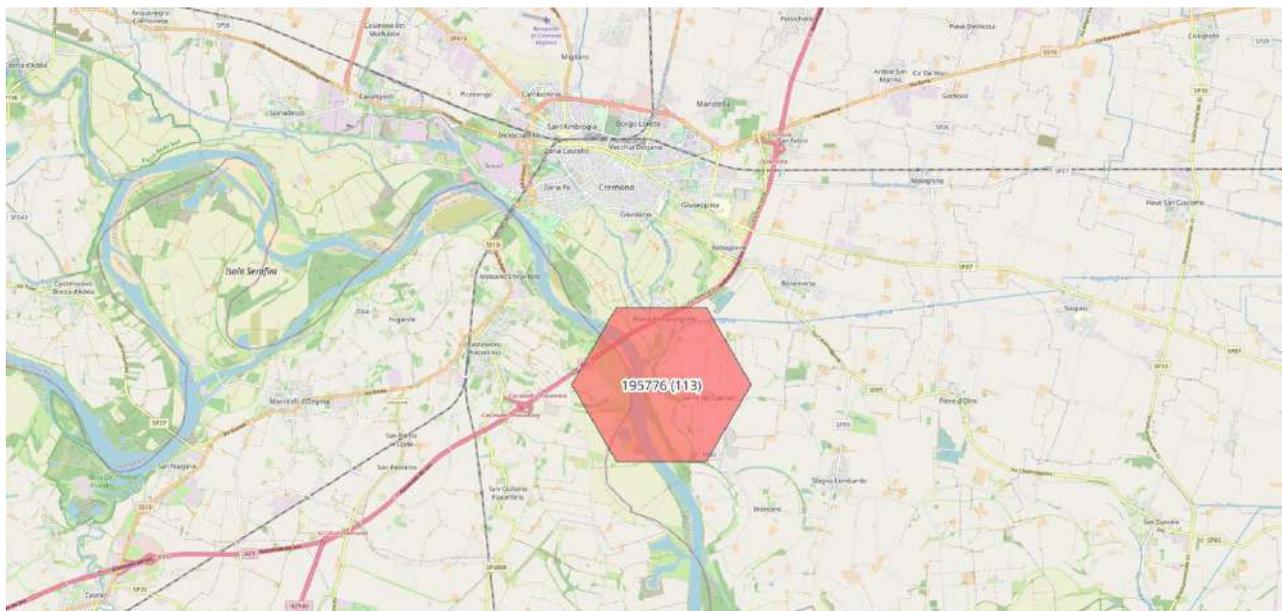


TRATTO CENTRALE

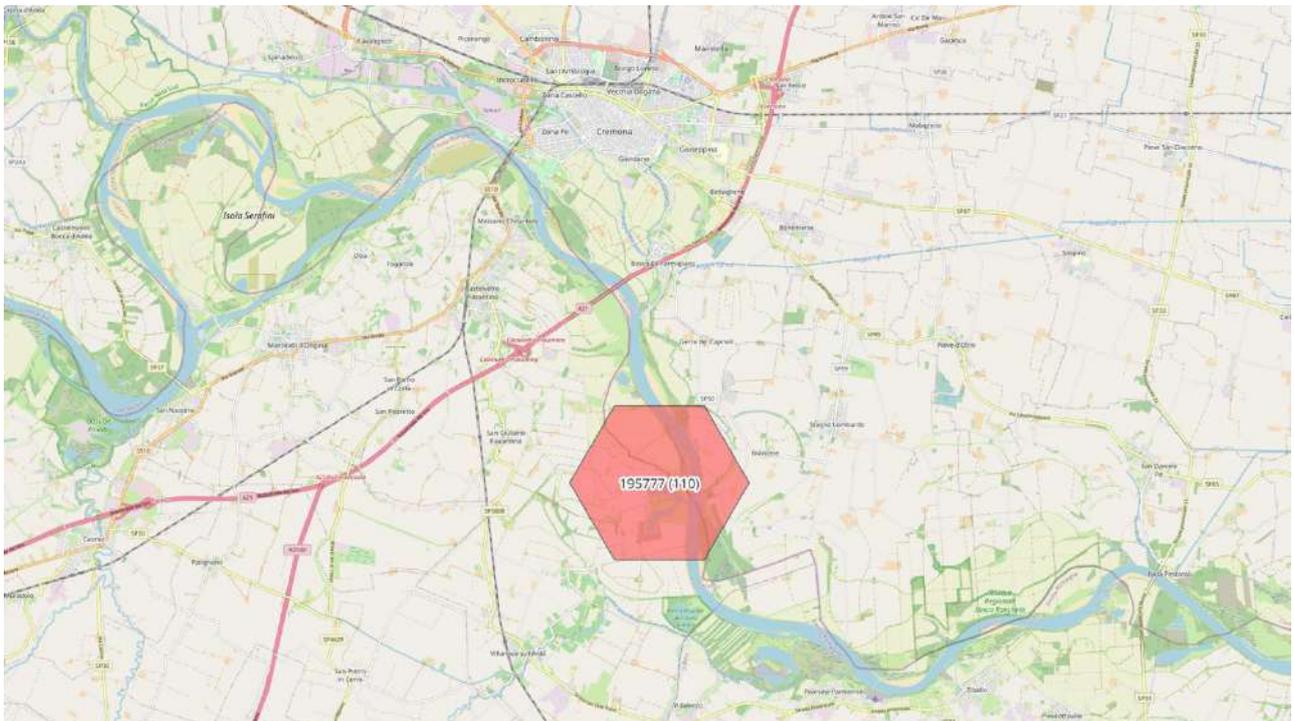
Sono state riscontrate due zone di accumulo nel tratto Centrale:

- cella 195776 (20%) in località Gerre De' Caprioli (CR)
- cella 195777 (13,33%) in località Villanova sull'Arda (PC).

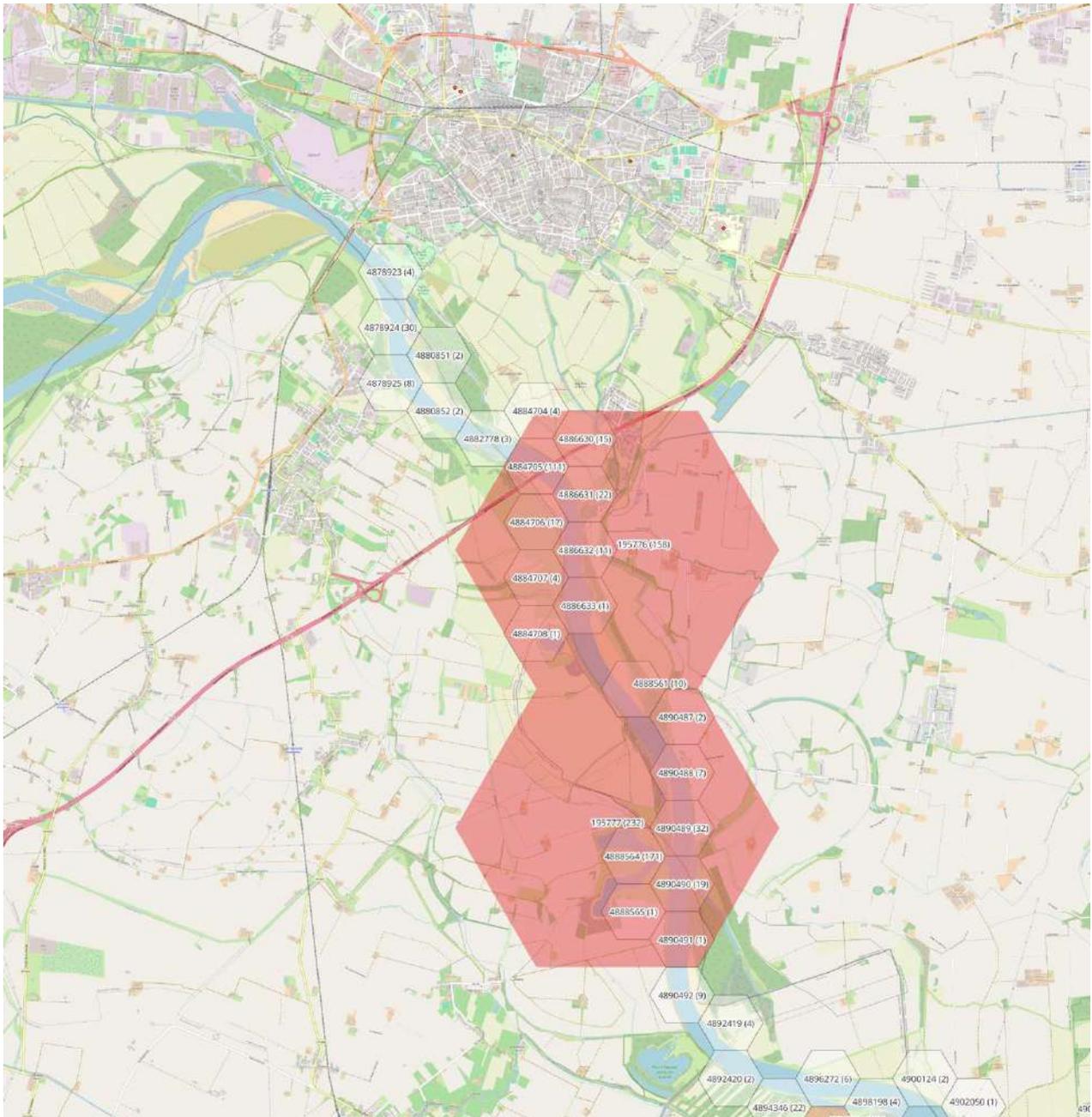
CODICE DELLA CELLA: ID 195776 – località Gerre De' Caprioli (CR)

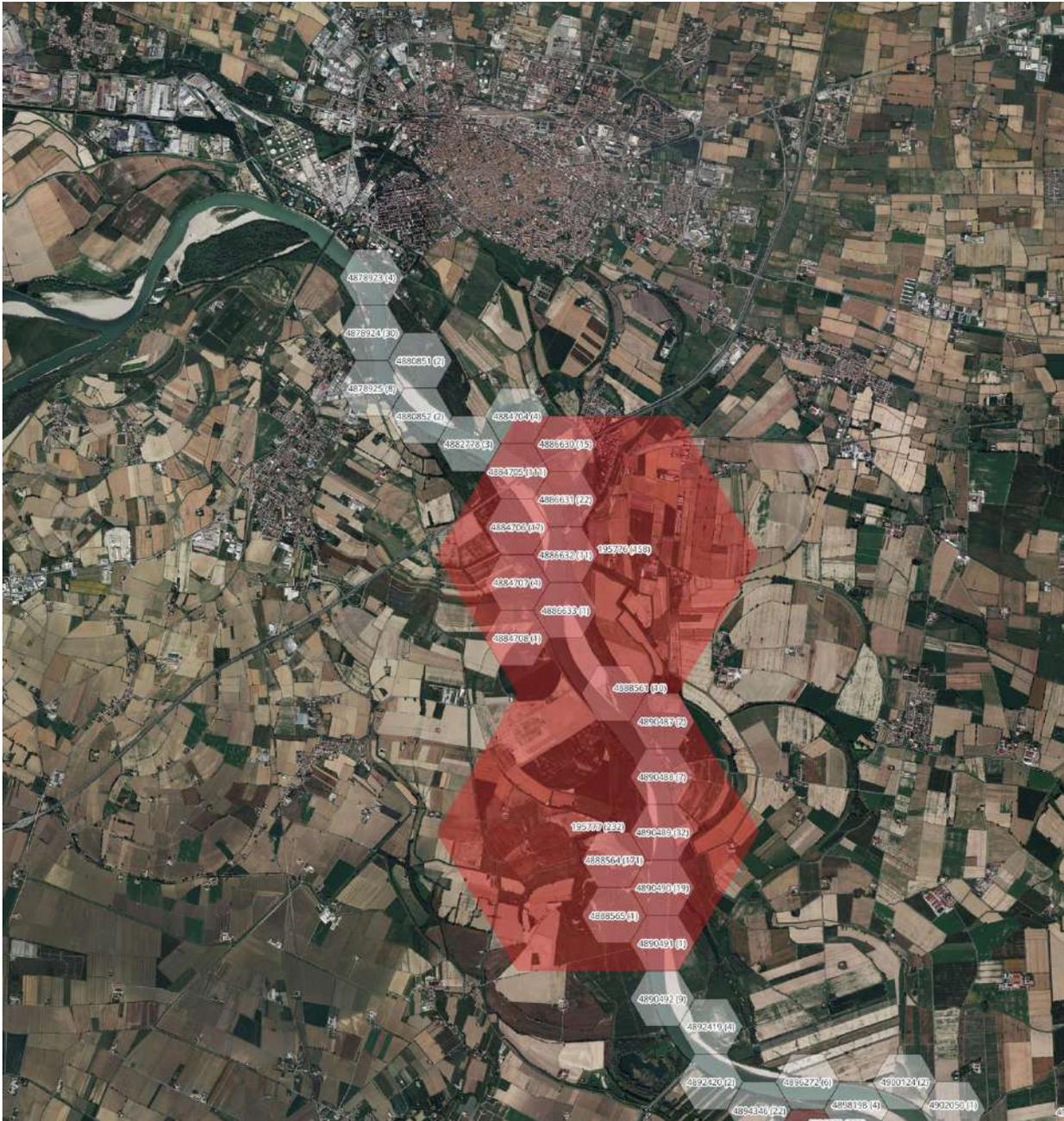


CODICE DELLA CELLA: ID 195777 - località Villanova sull'Arda (PC)



**DISTRIBUZIONE SPAZIALE DI PROVENIENZA DEI SEGNALI
NELLE ZONE DI ACCUMULO**



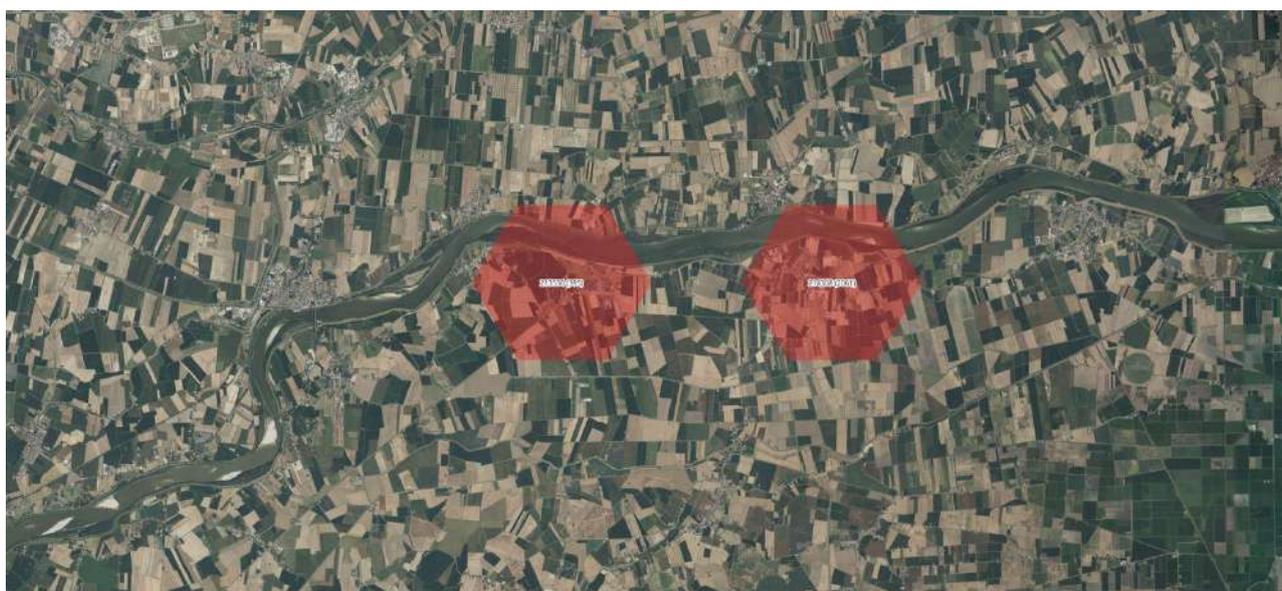


TRATTO A VALLE

Sono state riscontrate due zone di accumulo nel tratto a valle:

- cella 214308 (16,67%), in località Cologna (FE)
- cella 213536 (13,33%), in località Alberone (RO)

CODICE DELLA CELLA: ID 214308 - località Cologna (FE) e 213536 - località Alberone (RO)



NELLE ZONE DI ACCUMULO

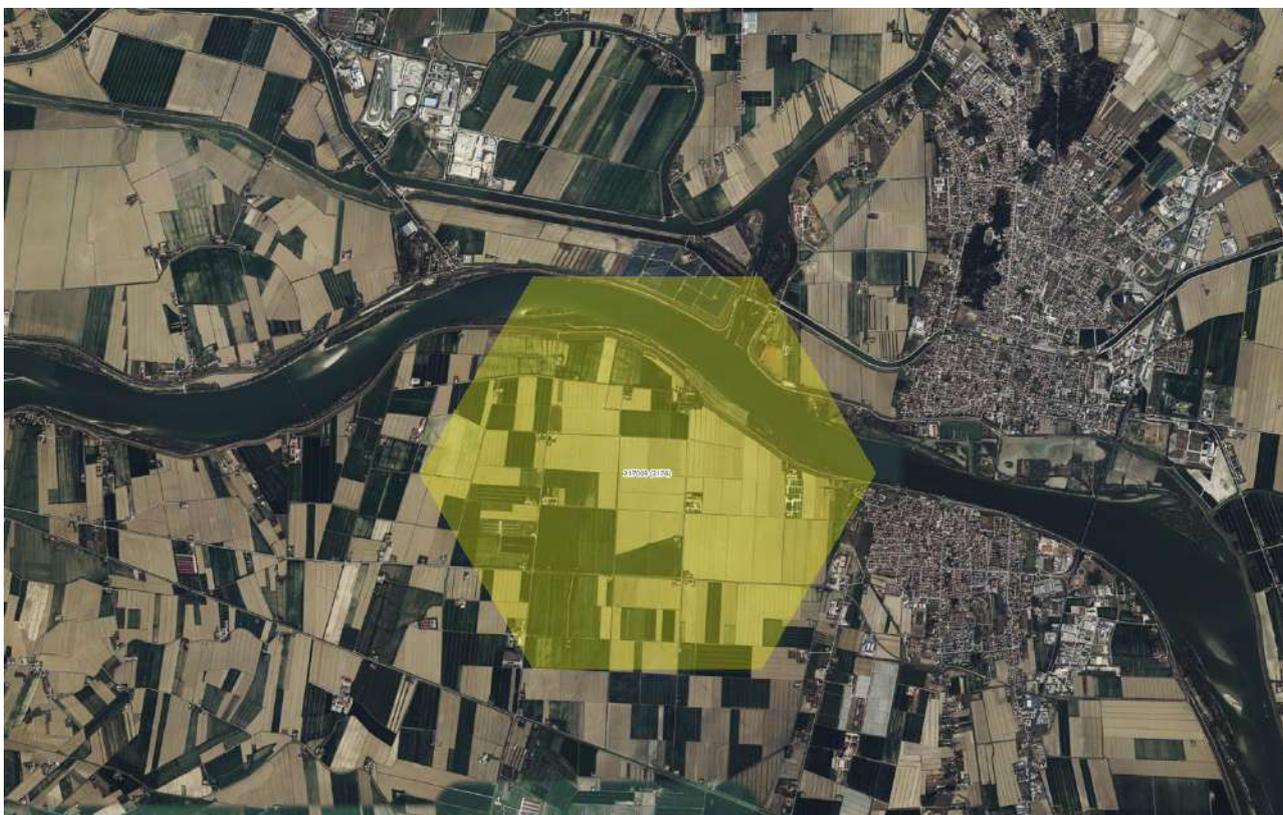
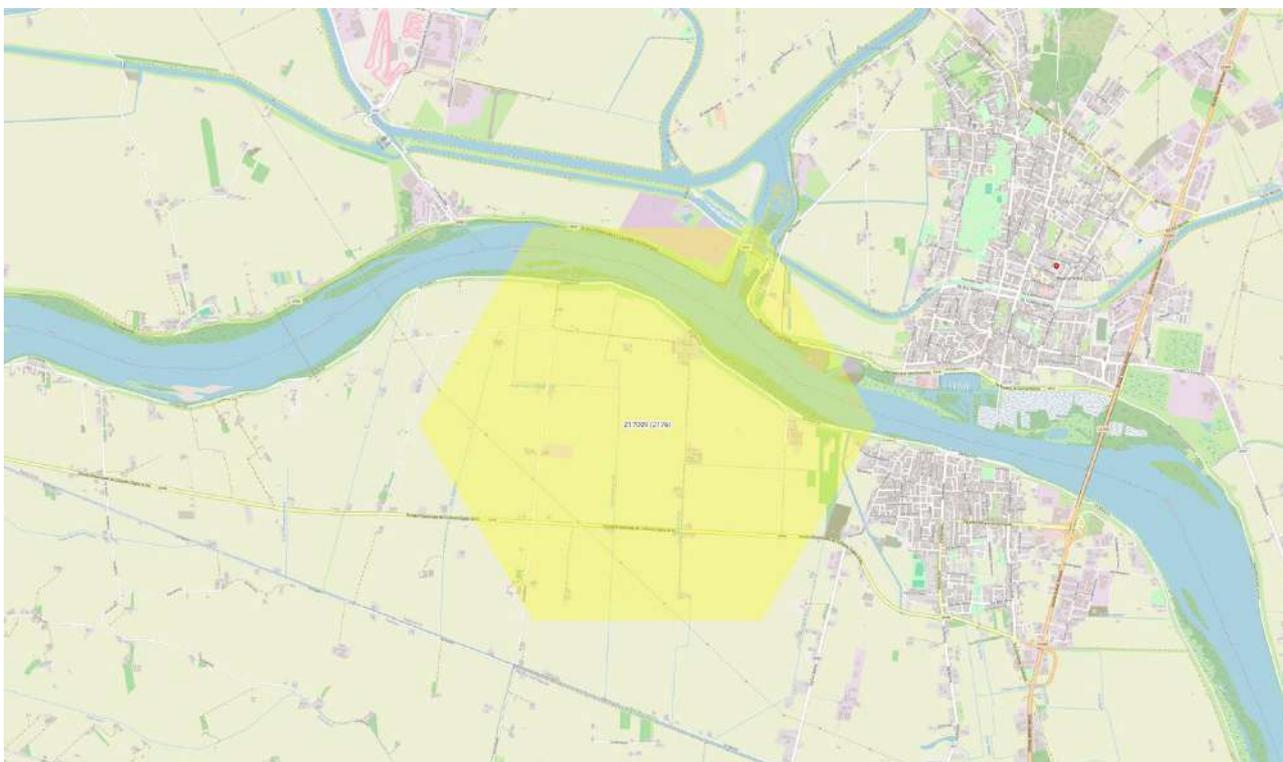


ZONE CON PERCENTUALE DI ACCUMULO COMPRESA TRA 5% E 10%

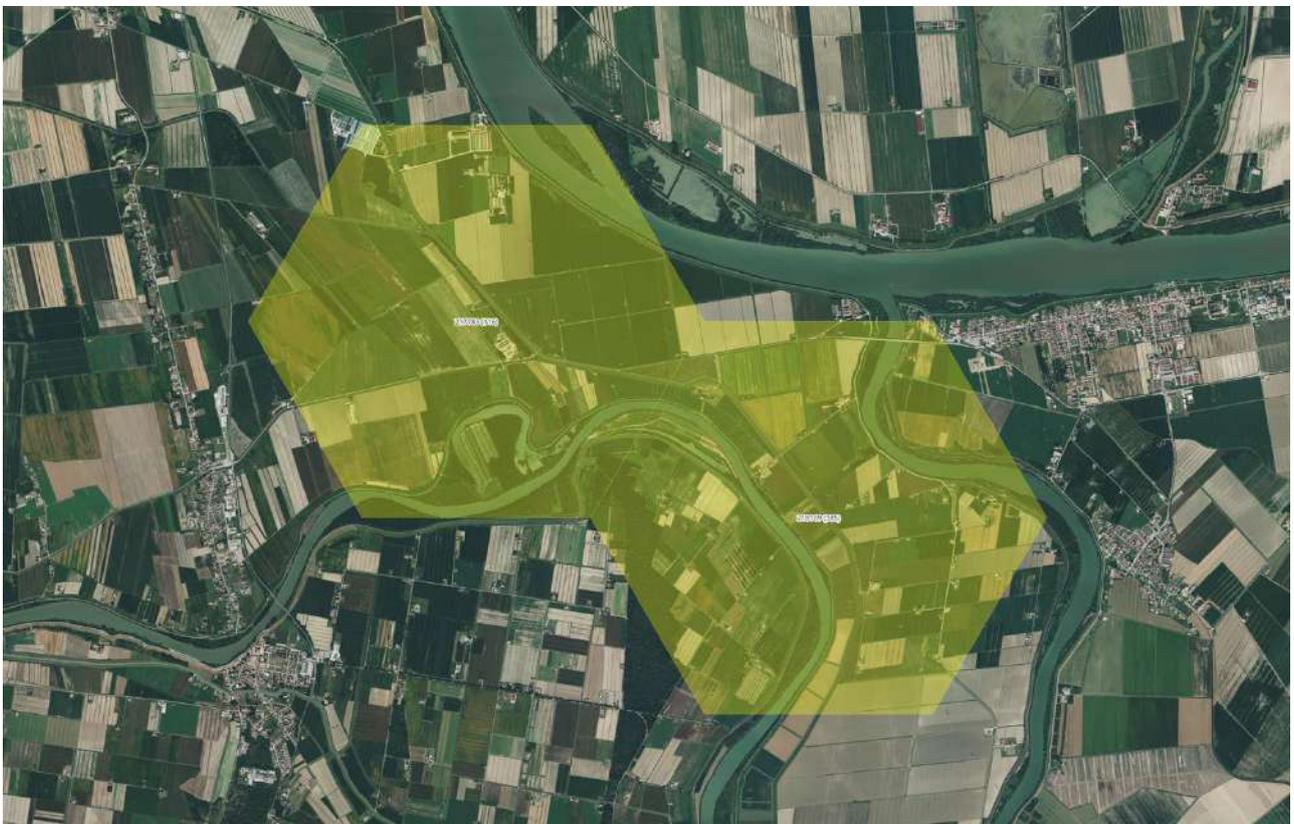
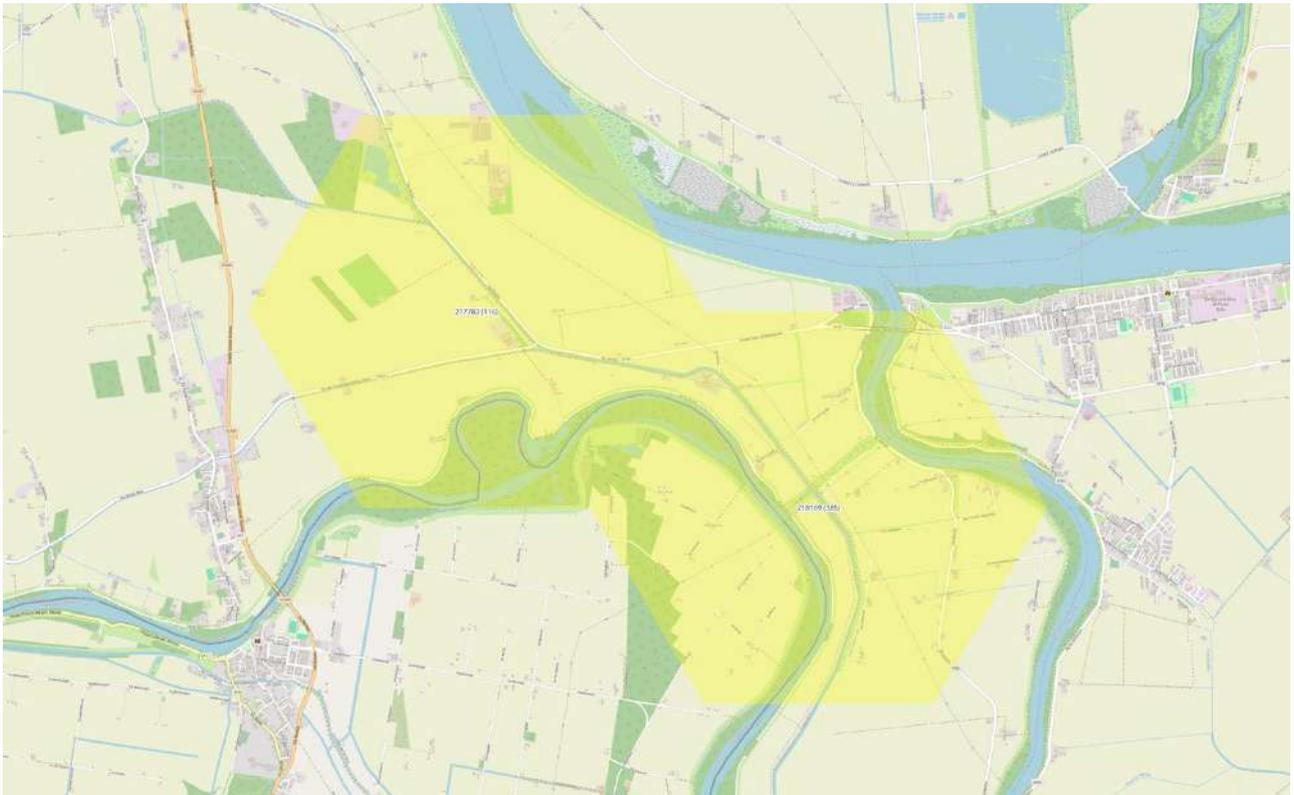
Sia nel tratto Centrale che nel tratto a monte, sono state rilevate celle con una percentuale di accumulo compresa tra 5% e 10%:

1. cella 217009 (a valle) in località Cavanella Po (RO) - Ca' Zen (Taglio di Po) (RO);
2. cella 218169 (a valle) in località Ca' Tiepolo (RO);
3. cella 213922 (a valle) in località Crespino (RO);
4. cella 217783 (a valle) in località Ca' Tiepolo (RO);
5. cella 208517 (centrale) in località Sermide (MN);
6. cella 204655 (centrale) in località Bagnolo San Vito (MN);
7. cella 196165 (centrale) in località Polesine Parmense (PR).

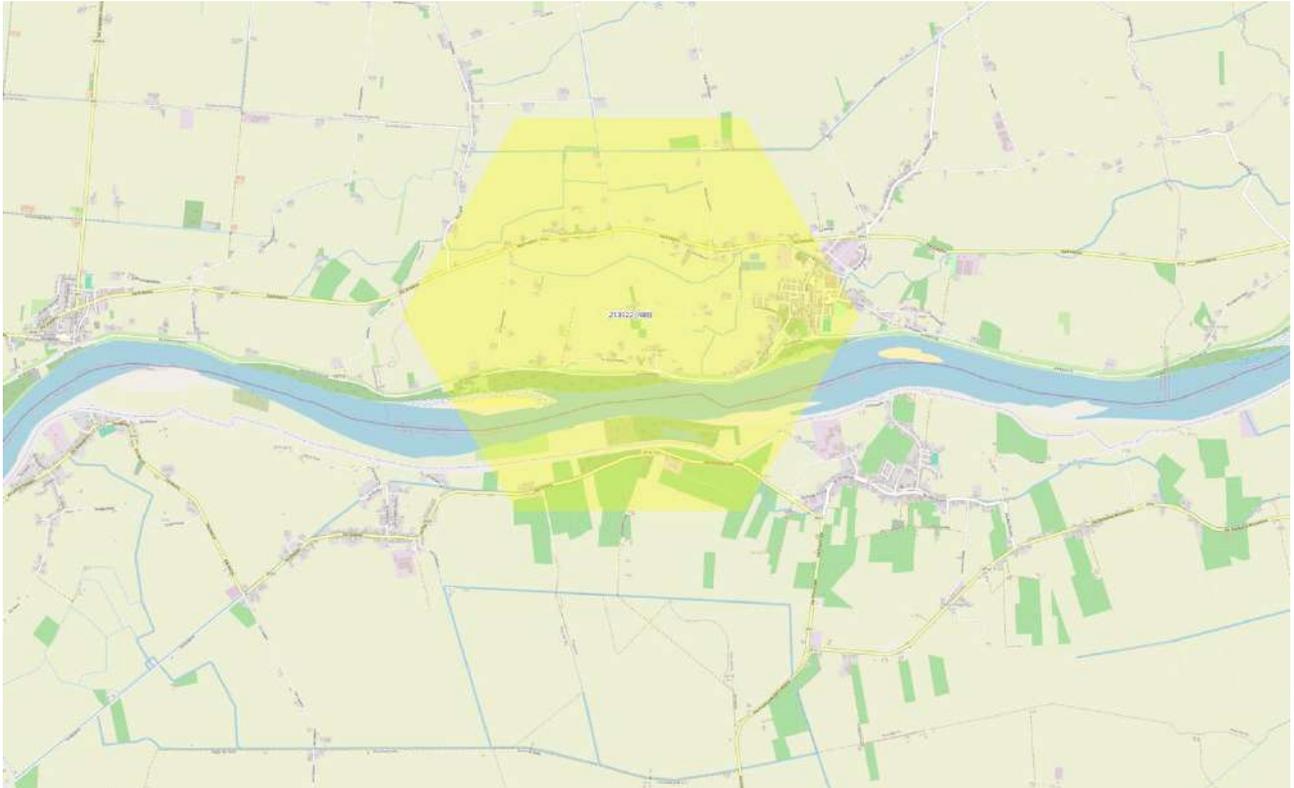
CODICE DELLA CELLA: ID 217009 - località Cavanella Po (RO) - Ca' Zen (Taglio di Po) (RO)



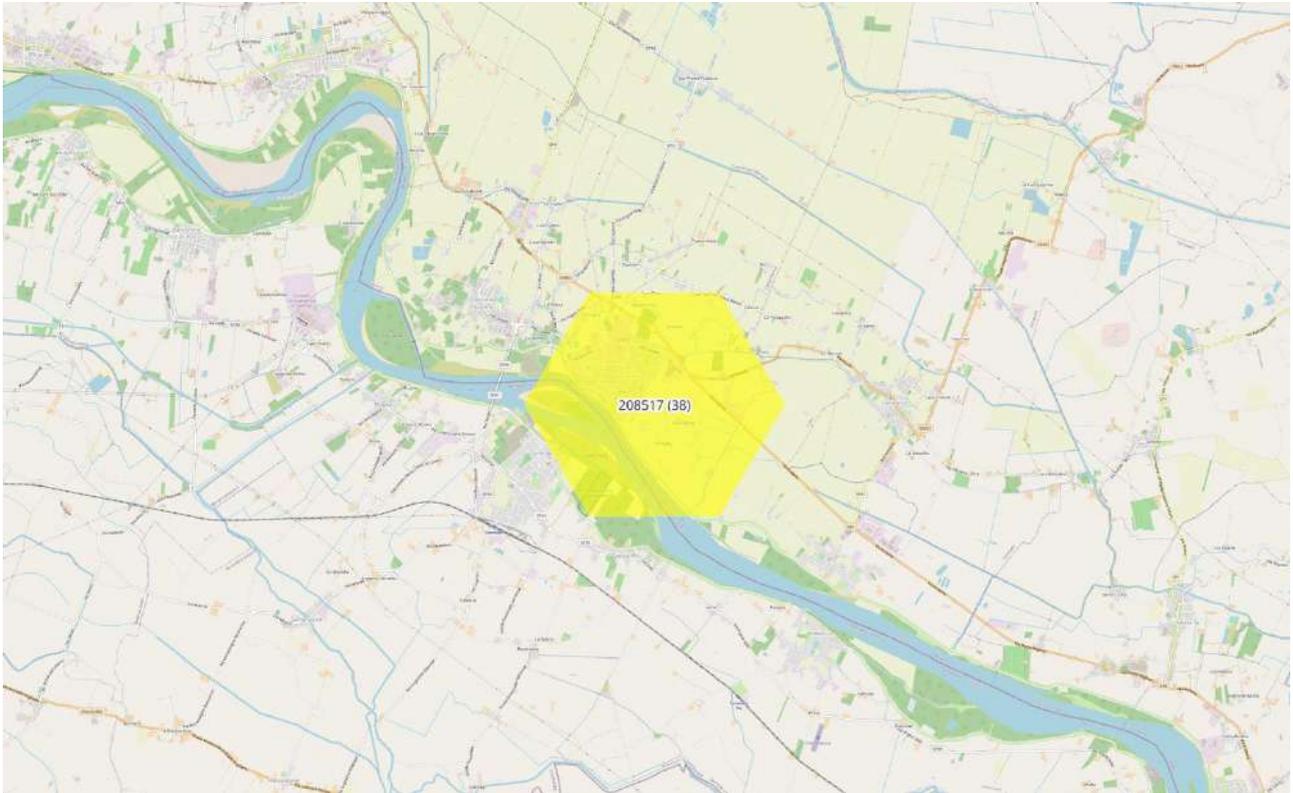
CODICE DELLA CELLA: ID 218169 e 217783 - località Ca' Tiepolo (RO)
218



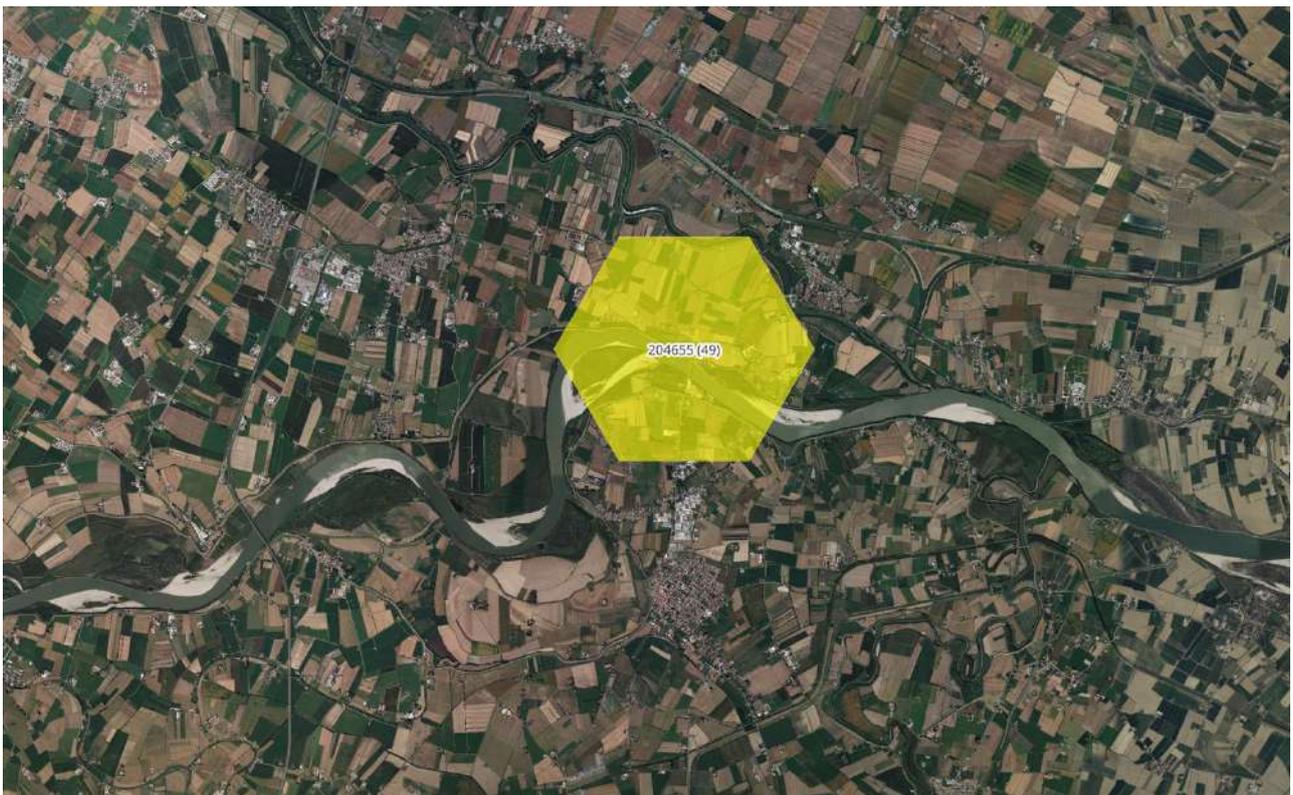
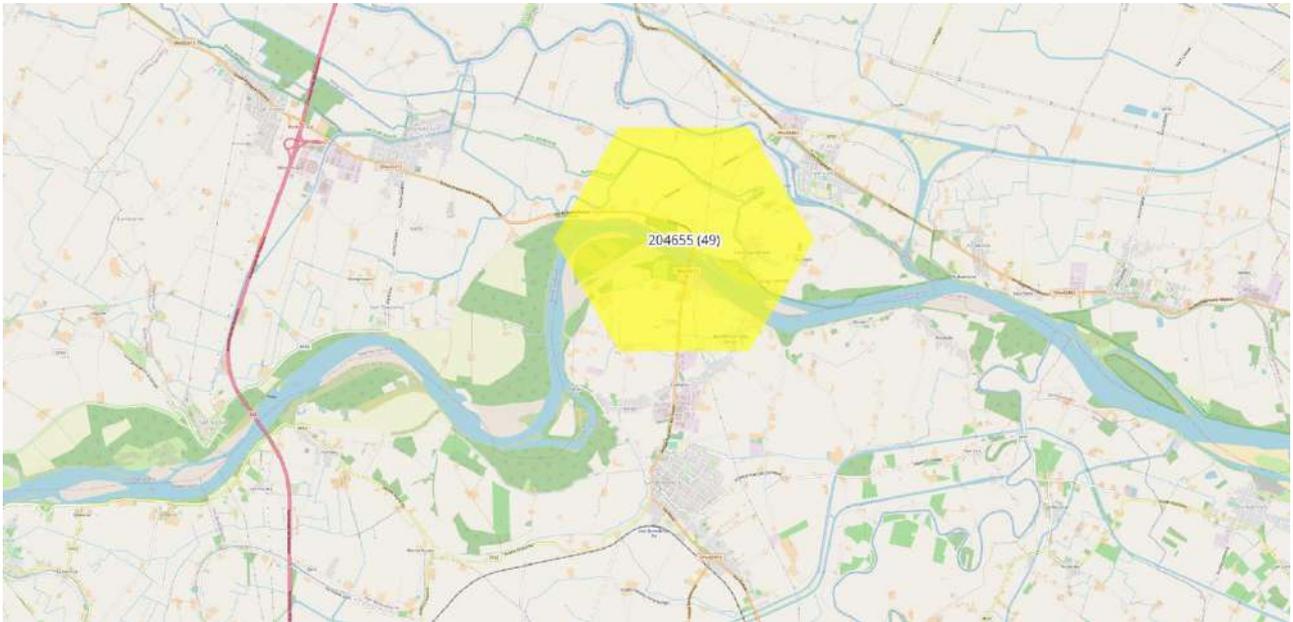
CODICE DELLA CELLA: ID 213922 – località Crespino (RO)



CODICE DELLA CELLA: ID 208517 - località Sermide (MN)



CODICE DELLA CELLA: ID 204655 - località Bagnolo San Vito (MN)
221



CODICE DELLA CELLA: ID 196165 - località Polesine Parmense (PR)

