

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AMBIENTE

**ANALISI DELLE GRANULOMETRIE SUPERFICIALI DEL PO: TRAIETTORIE
SPAZIALI E TEMPORALI NEGLI ULTIMI 20 ANNI**

Relatore:

Prof. Simone Bizzi, Dipartimento di Geoscienze

Correlatore:

Dott. Andrea Brenna, Dipartimento di Geoscienze

Laureanda: Isabella Corradini

Matricola: 2008739

Anno Accademico: 2022/2023

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
2.1 Caratteri fisici del Fiume Po	4
2.2 Impatto antropico	5
3. MATERIALI E METODI	7
3.1 Tecnica utilizzata: analisi granulometrica	7
3.2 Dati da letteratura	10
3.3 Laboratorio, analisi per setacciatura	12
3.4 Utilizzo di Qgis	14
4. ANALISI E RISULTATI	15
4.1 Sistemazione e georeferenziazione	15
4.2 Risultati analisi laboratorio	19
4.3 Grafici traiettorie longitudinali	20
4.4 Traiettorie temporali	23
5. DISCUSSIONE e CONCLUSIONE	24
6. FONTI BIBLIOGRAFICHE E SITOGRAFIA	29

1.INTRODUZIONE

L'analisi granulometrica è una tecnica che in generale viene utilizzata al fine di classificare un qualsiasi sedimento, in base alla propria granulometria, ovvero in base alla percentuale di particelle di diverse dimensioni presenti nel campione considerato.

Il Po, il fiume più lungo e importante d'Italia, è stato oggetto di numerosi interventi antropici nel corso degli ultimi secoli, e costituisce inoltre un "sistema legante" per il fatto che accoglie e incorpora flussi idrici e di sedimenti provenienti da tributari di origine alpina da Nord e appenninica da Sud.

Il Po è un fiume alluvionale, ovvero libero di auto-modellarsi, tendendo a modificare e adattare continuamente la morfologia, la dimensione, la distribuzione, la forma, la pendenza e la presenza o meno di vegetazione al variare delle condizioni di regime delle portate liquide e solide (Throne, 1997) e anche conseguentemente a interventi di natura antropica. Interventi che ne hanno modificato la forma sono correlati soprattutto alla necessità da parte dell'uomo di rendere il Po un corso d'acqua navigabile in certi tratti, essendo situato in una posizione economicamente strategica. L'analisi delle cartografie storiche conferma come il Po nel corso del XIX e XX secolo soprattutto, abbia modificato la propria configurazione planimetria conseguentemente a interventi di natura antropica. Molti tratti in tale periodo hanno modificato la propria configurazione, evolvendo da alvei a canale intrecciato (o braided), a configurazioni a canale singolo, di tipo sinuoso o meandriforme o eventualmente di tipo wandering, termine che specifica una fase di transizione tra configurazione pluricursale e monocursale (Church, 1992).

Dunque il Fiume Po presenta una dinamica geomorfologica e sedimentologica molto complessa, influenzata da molteplici interventi esterni.

Essendo che non esistono modelli matematici in grado di spiegare in modo completo tali dinamiche, l'analisi granulometrica dei sedimenti che compongono il sistema è spesso utilizzata per comprendere queste caratteristiche e cercare di interpretare l'evoluzione dei sedimenti lungo l'asta di un fiume, in funzione dei tre

meccanismi principali descritti da Schumm (1977), ovvero, produzione, trasporto e deposizione dei sedimenti.

Per aste fluviali di grandi dimensioni, come nel caso specifico del Fiume Po, comprendere il pattern nella sua complessità, dunque includendo anche il bacino idrografico dei tributari che si immettono nel sistema, è fondamentale per il funzionamento e la connettività dei sedimenti, e per l'interazione che questi hanno con il regime del trasporto solido.

L'importanza dell'analisi granulometrica, risiede nelle molteplici applicazioni che presenta, infatti oltre alla classificazione del sedimento, essa viene utilizzata al fine di comprendere e studiare la storia geologica di un determinato sistema, ovvero la caratterizzazione delle rocce sedimentarie, definire le proprietà fisiche e idrauliche del terreno, le caratteristiche dell'habitat e valutare la tendenza delle particelle all'erosione o alla deposizione in un determinato tratto. Le applicazioni di tale tecnica risultano anche utili nel monitoraggio ambientale in sistemi naturali o influenzati e modificati da interventi antropici.

Dunque in un primo momento l'utilità di questa analisi è legata strettamente alla classificazione della granulometria del sedimento in esame. In un secondo momento, confrontando i dati ottenuti, e integrandoli con uno studio del bacino nel suo complesso, si supporta interpretazioni relative alla provenienza dei sedimenti, alla propensione di un tratto a erodere o depositare sedimenti, al ruolo dei vari tributari in quanto capaci di trasportare poco o tanto sedimento e di che tipologia.

Gli obiettivi del seguente elaborato sono molteplici, il primo riguarda inizialmente la sistemazione dei dati relativi a dati granulometrici da letteratura, ovvero dati già esistenti relativi a campionamenti eseguiti in anni diversi (2002 e 2012) e il calcolo degli stessi parametri granulometrici a partire da un'analisi in laboratorio relativa a 13 campionamenti prelevati nel 2022. Successivamente ci si è concentrati sulla loro georeferenziazione, ovvero l'attribuzione di coordinate geografiche ai dati granulometrici, attraverso il software Qgis.

Il secondo obiettivo si riferisce all'analisi delle traiettorie longitudinali, dunque da monte a valle del sistema fluviale, per sezioni di canale e barra, al fine di comprendere l'andamento granulometrico del fiume, osservare dove esso presenta rilevanti discontinuità granulometrica e ipotizzare i motivi: per esempio il ruolo dei tributari, il grado di impatto antropico di un tratto, le caratteristiche idrauliche e morfologiche e il loro impatto sulla selezione granulometrica.

Il terzo e ultimo obiettivo dell'elaborato è relativo allo studio delle variazioni temporali, relative a campionamenti avvenuti in anni differenti: un confronto tra il 2002, il 2012 e il 2022. Il fine è di osservare se negli anni si sono riscontrati variazioni granulometriche rilevanti all'interno delle traiettorie spaziali e se possibile ipotizzarne dei fattori causali di tali cambiamenti.

La struttura della tesi si articola secondo i seguenti capitoli:

- Inquadramento territoriale, espone inizialmente una panoramica del Fiume Po relativa ad aspetti prettamente geografici, per poi proseguire con una breve descrizione degli interventi antropici che hanno influenzato la morfologia e la granulometria nel corso del tempo.
- Materiali e metodi, in cui inizialmente viene spiegata la tecnica utilizzata, ovvero l'Analisi Granulometrica e parametri statistici considerati.

La sezione relativa i dati da letteratura, identifica le due schede da cui sono state acquisite le informazioni granulometriche iniziali, attinenti agli anni 2002-2005 e 2012-2015. Prosegue con la parte di laboratorio, esperienza di tirocinio durante la quale è stata eseguita un'analisi per setacciatura relativa sedimenti del fiume Po prelevati ad inizio 2022.

Questo capitolo termina presentando il software utilizzato per il geo-referenzamento dei dati granulometrici, ovvero Qgis.

- Analisi e risultati, nel sotto-capitolo di Sistemazione e georeferenziazione viene presentato il geo-database, ovvero le due tabelle Excel, relative ai dati del 2002 e 2012 e l'immagine del lavoro di analisi dei dati spaziali su Qgis.

Prosegue presentando i dati ottenuti dall'esperienza di laboratorio ed un esempio delle curve granulometriche costruite per ognuno dei 13 campioni.

Successivamente vengono riportati i grafici finali, nei quali sono rappresentate le curve, le quali esprimono la distribuzione dimensionale dei granuli in funzione della progressiva del Po relative a traiettorie spaziali e temporali diverse.

- La discussione finale si sviluppa andando a studiare inizialmente l'evoluzione longitudinale del Po, consultando i dati del 2002, essendo i più esaustivi; prosegue confrontando le granulometrie rilevate nelle unità morfologiche considerate, ovvero barra e canale. Termina confrontando i risultati relativi alla finestra temporale analizzata, al fine di studiare la presenza o meno di cambiamenti significativi.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 Caratteri fisici del Fiume Po

Il soggetto dell'analisi granulometrica in questione è il Fiume Po, il fiume più lungo e con il maggior bacino idrografico italiano (circa 71.000 km²). Gli antichi abitanti Celti-Liguri gli attribuirono il nome di "Bondicus", con la traduzione di "scavare", "render profondo", sottolineando la depressione geografica tipica della zona fluviale padana. Infatti il Po si colloca non proprio al centro della Pianura Padana ma più precisamente in prossimità degli Appennini, si origina in Piemonte, dal Monte Monviso e si estende per ben 652 km fino a sfociare nel Mar Adriatico, tra Veneto ed Emilia-Romagna attraverso un vasto delta a sei rami.

Inizialmente si presenta come corso caratterizzato da un sedimento grossolano e da una pendenza di circa 48,6 ‰ per i primi 35 km, ed è proprio questa la zona in cui si verificano maggiormente fenomeni erosivi e franosi, i quali producono la maggior parte dei sedimenti. Prosegue e conclude il suo percorso diventando un corso prettamente pianeggiante, caratterizzato da una pendenza di 0,01 ‰ negli ultimi 50 km. La zona pianeggiante rappresenta la porzione di principale accumulo dei sedimenti, i quali vengono depositati. La zona di transizione del fiume Po, ovvero il tratto tra origine e foce, è la zona di maggior immissione degli

affluenti alpini e appenninici, apportando sedimenti più grossolani rispetto a quelli di competenza del fiume, generando tratti pluricursali (braided).

Tendenzialmente gli affluenti che originano dalle Alpi, tra i quali i principali sono Dora Baltea, Sesia, Ticino, Adda e Mincio, presentano una dimensione e portata maggiore soprattutto in primavera ed estate in concomitanza con fasi di maggiore fusione nivale. Gli affluenti provenienti dagli Appennini, come Tanaro, Tidone, Trebbia, Taro, Enza e Secchia tendono ad aver una maggior portata in primavera ed autunno, nel periodo delle piogge, in più, presentando una pendenza maggiore, tendono a trasportare elevate quantità di detrito nel Po. *L'immagine 2.1* raffigura il Po e i suoi tributari principali.



Immagine 2.1

2.2 Impatto antropico

Il Po è il fiume più lungo d'Italia e durante il suo percorso bagna città importanti come Torino, Piacenza, Cremona, Ferrara e Rovigo, fungendo anche da confine geografico per diversi tratti tra Lombardia ed Emilia-Romagna e tra Emilia e Veneto. L'importanza e la forte attenzione attribuita a questo fiume è legata alla sua rilevante posizione geografica, lunghezza e bacino idrografico; caratteristiche che lo hanno, nel corso di millenni, posizionato al centro dello sviluppo economico, agricolo e sociale di tutta l'Italia.

A partire dal XVIII/XIX secolo il fiume ha subito le più importanti modificazioni ed interventi da parte dell'uomo.

Uno degli esempi più significativi è quello legato alla ricerca di navigabilità lungo certi tratti di fiume, raggiunta effettuando interventi di unificazione del tracciato, restringimento trasversale dell'alveo, amplificazione delle curve e aumento della profondità; tutte operazioni che ne hanno mutato la forma planimetrica, da fiume a canali intrecciati, oggi si presenta monocursale e sinuoso (Rinaldi e Surian, 2005).

Oltre a ciò l'uomo è intervenuto prelevando sedimenti dall'alveo per scopi edili e stradali con massimo tasso di estrazione tra gli anni 50' e 70' del XX secolo, causando problematiche di incisione dell'alveo e costruendo dighe (Kondolf, 1997) per ricavare energia idroelettrica, come quella situata presso Isola Serafini. La costruzione di questo sbarramento risale al 1963 e la formazione dell'isola artificiale è iniziata conseguentemente al taglio di meandro di isola Mezzadra avvenuto durante la piena del 1951 e consolidata definitivamente a causa della costruzione del canale di scarico della centrale. Questo intervento ha causato modificazioni morfologiche importanti, legate a processi erosivi che si sono protratti nella zona a valle causando problemi di instabilità dell'alveo, e che hanno interrotto il trasferimento a valle della componente più grossolana del trasporto solido di monte. *Immagine 2.2* rappresenta Isola Serafini.

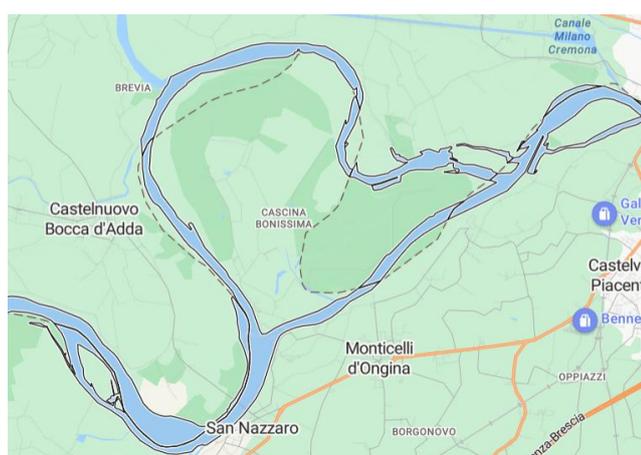


Immagine 2.2

Sono stati attuati anche interventi di canalizzazione al fine di raddrizzare argini e proteggere sponde, o per costruire canali artificiali, come per Canale Cavour

presso Chivasso, costruito tra 1863-1866 come prima grande opera significativa dell'Italia unita, oppure come per il Cavo Napoleonico presso Bondeno, risalente al 1807 costruito per volontà di Napoleone Bonaparte, al fine di ottenere una sistemazione idraulica del fiume Reno durante le fasi di piena.

Tutte le sopramenzionate operazioni hanno e stanno attualmente modificando l'equilibrio morfologico e dinamico del fiume, provocando un effetto domino di fenomeni problematici come aumento del rischio idraulico, instabilità di strutture quali ponti, perdita di habitat, perdita di biodiversità.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Tecnica utilizzata: analisi granulometrica

Uno dei parametri più importanti e necessari per poter classificare, da punto di vista statistico, un qualsiasi sedimento, relativamente alla dimensione e distribuzione dei granuli che lo compongono, è la granulometria.

In geologia si definisce “terra”, un sistema multifase, costituito da frazione particellare e frazione dei vuoti (riempiti da aria e acqua). Terzaghi (1967) e Peck (1967) definiscono terra come “Aggregato naturale di grani minerali che può essere facilmente disgregato tramite agitazione in acqua o tramite immersione più o meno prolungata”.

In linea di principio l'analisi granulometrica permette di raggruppare, in diverse classi di grandezza, i granuli relativi ad un sedimento preventivamente campionato, in questo caso specifico i prelievi sono stati eseguiti in due diverse unità morfologiche che costituiscono l'alveo attivo del Fiume Po, ovvero i canali (zone maggiormente incise, interessate comunemente dal deflusso idrico) e le barre di sedimento (unità deposizionali generalmente emerse).

Immagine 3.1: Raffigurazione di alveo, canale e barra



Immagine 3.1

Il valore limite, relativo alla misura di diametro del granulo del campione di sedimento che ne permette la suddivisione nelle due grandi categorie, ovvero sedimenti granulari e sedimenti coesivi, è 0,06 mm. I sedimenti granulari comprendono essenzialmente le ghiaie, le quali includono valori di diametro maggiori di 2 mm, e le sabbie, le quali raggruppano misure comprese tra 2 mm e 0,06 mm. I sedimenti coesivi, invece, includono i limi, valori di diametro compresi tra 0,06 mm e 0,002 mm e le argille, valori inferiori a 0,002 mm. Classificazione ideata dall'unione del lavoro di Udden (1914) e Wentworth (1922). Per terre fini, coesive, la metodologia adottata al fine di ottenere la distribuzione granulometrica è l'analisi per sedimentazione, la quale è basata sulla legge di George Stokes (1851). Questa legge afferma che a parità di densità del materiale, la velocità con cui i granuli si sedimentano dipende dal diametro dello stesso. Nel caso specifico della suddetta indagine, questo tipo di analisi non sono state eseguite essendo il Po un fiume che tendenzialmente presenta una granulometria maggiore del valore limite di 0,06 mm anche nei settori prossimi al delta.

La tecnica, invece adottata per analizzare i sedimenti del Po, è l'analisi per setacciatura. Il metodo predispone l'utilizzo di uno strumento, il setacciatore, costituito da setacci disposti in serie e assemblati in modo tale che il diametro delle maglie dei setacci, decresca dall'alto verso il basso. Il campione di sedimento, preventivamente selezionato attraverso il metodo della quartatura e

previa asciugatura, viene inserito nel sistema e fatto vibrare grazie all'utilizzo del vibrovaglio.

La vibrazione permette la separazione dei granuli del campione in frazioni simili, trattenute dal setaccio col diametro corrispondente. Terminata l'operazione viene pesata la quantità di materiale passato, viene calcolata la percentuale di materiale che passa tramite un setaccio con un certo diametro e la percentuale di frequenza cumulativa, al fine di poter costruire la relativa curva granulometrica. Si tratta di un grafico che presenta sull'asse x il diametro dei granuli in mm e sull'asse y la percentuale della frazione passante, spesso parallelamente all'asse x, in alto, vengono rappresentate le 4 classi granulometriche principali intervallate dai valori limite.

Dunque la curva granulometrica è di fondamentale importanza perché, se considero un qualsiasi punto del grafico appartenente alla curva del campione, posso collocarlo facilmente all'interno di una determinata classe di appartenenza; in più la forma che assume la curva offre informazioni relative all'omogeneità del sedimento campionato.

Il soggetto campionato presenta quasi sempre un'estensione considerevole, è impossibile campionarlo globalmente, dunque per comprendere meglio la distribuzione delle dimensioni dei granuli del sedimento, solitamente vengono calcolati dei parametri statistici, a partire sempre dai dati di massa ottenuti da analisi granulometriche eseguite a priori in laboratorio, come i diametri caratteristici percentili, ovvero D_{16} , D_{50} , D_{84} . Il percentile è un tipo di misura usato in statistica, per esempio 84 percentile rappresenta il diametro del granulo in corrispondenza del quale l'84% del sedimento è superiore e l'16% inferiore, D_{50} rappresenta la mediana, ovvero il valore di tendenza centrale.

Il calcolo di questi diametri caratteristici predispone l'utilizzo della "scala phi", ideata da W.C. Krumbein (1934), si tratta della trasposizione in $\phi = -\log_2(D)$ (mm) della scala Udden-Wentworth (1922), più nello specifico si tratta di meno il logaritmo in base 2 del valore del diametro delle particelle in millimetri, presenta il segno negativo perché altrimenti per la classe delle sabbie e dei limi si avrebbero dei valori negativi.

Altri parametri statistico-sedimentologici, introdotti da Inman (1962) e Folk (1957), calcolati e spesso utili al fine dell'analisi granulometrica sono:

- la media $M_D = \frac{D_{16} + D_{50} + D_{84}}{3}$;
- il coefficiente di cernita che offre informazioni riguardanti il grado di selezionamento del materiale $\sigma_k = \frac{D_{84} - D_{16}}{2}$;
- il coefficiente di asimmetria che esprime lo scostamento che sussiste tra mediana e media $Sk = \frac{(D_{84} + D_{16} - 2D_{50})}{2(D_{84} - D_{16})}$;
- il coefficiente di appuntimento che confronta il grado di cernita presente tra i valori estremi e centrali della distribuzione

$$K_G = \frac{(D_{95} - D_5)}{2,44(D_{75} - D_{25})}$$

3.2 Dati da letteratura

La ricerca è iniziata consultando e analizzando i dati provenienti da studi precedenti inerenti alle granulometrie lungo l'asta del Po.

Le prime schede (*Immagine 3.2*) consultate sono state quelle pubblicate dall' "Autorità di bacino del fiume Po", relative all' "Aggiornamento delle analisi morfologiche e del bilancio del trasporto solido dell'asta del fiume Po da confluenza Stura di Lanzo all'incile del delta (periodo 2002-2005) e report di valutazione". Per quanto riguarda la seconda fonte consultata, si tratta dell' "Allegato 1" Risultati delle indagini granulometriche", pubblicate da AIPO (Agenzia Interregionale per il fiume Po) relativo al report generale denominato "Progetto preliminare per il potenziamento della navigabilità del fiume Po dal porto di Cremona al Mare Adriatico (periodo 2012-2015)".

Entrambe sono schede molto dettagliate, le quali prendono in considerazione altri aspetti oltre a quello granulometrico e sedimentologico.

Le analisi conseguite tra 2002-2005 riguardando campionamenti eseguiti dalla confluenza del fiume Stura di Lanzo (120 km la progressiva) fino all'affluente Po di Goro (600 km la progressiva). Le analisi 2012-2015 sono meno complete,

ovvero sono state eseguite a partire dallo sbarramento di Isola dei Serafini (360 km progressiva) e terminano sempre a livello della diramazione con Po di Goro. Strutturalmente le schede sono organizzate in modo analogo, le uniche differenze sono relative ovviamente al diverso anno di campionamento e al nome attribuito ai diversi tratti. Il lavoro del 2002 si presenta suddiviso in tre sezioni: Stura-Tanaro, Tanaro-Arda e Arda-mare, ogni sezione comprende più tratti suddivisi numericamente, ed ogni tratto specifico comprende diverse sezioni lungo le quali è stato eseguito il campionamento. Queste ultime sono le sezioni topografiche ufficiali, dunque uguali per ogni analisi eseguita negli anni.

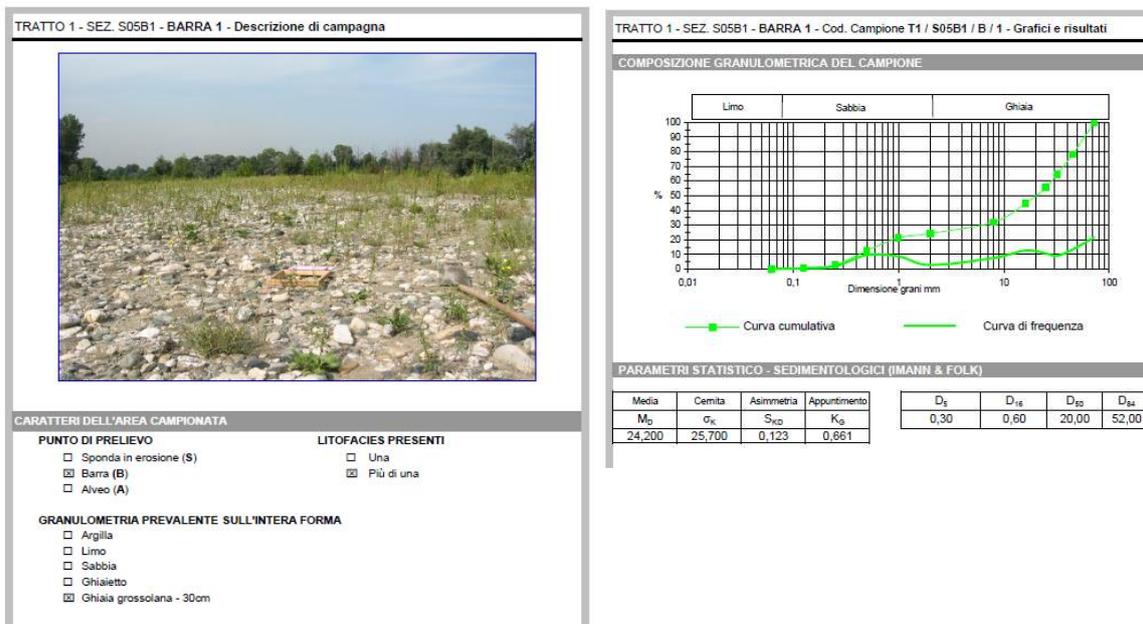
La differenza è relativa al nome dei tratti considerati, in questo secondo lavoro il fiume è stato suddiviso in sei macro-tratti principali, nominati in ordine alfabetico e raggruppati così a causa di caratteristiche geomorfologiche, sedimentologiche e litostratigrafiche diverse.

Un'altra similitudine che sussiste tra i dati del 2002 e 2012 è legata al punto geografico in cui è stato eseguito il campionamento; infatti, l'analisi del 2012 riprende le stesse posizioni spaziali di quella del 2002, così da rendere il confronto multi temporale più significativo.

I dati di nostro interesse sono riportati nelle sezioni della scheda intitolate "Composizione granulometrica del campione", in cui sono raffigurate le curve granulometriche e "Parametri statistico-sedimentologici", in cui sono presenti i dati relativi ai parametri granulometrici di: media, cernita, asimmetria, appuntimento, e i diametri caratteristici: D_5 , D_{16} , D_{50} e D_{84} .

Ogni campionamento eseguito, presenta un nominativo, come ad esempio T1_S05B1_B_1, in cui T1 rappresenta il tratto 1, S05B1 descrive la sezione ufficiale in cui si è fatto il prelievo, B denomina la barra, differente da A che indica il canale ed infine 1 rappresenta il numero della barra, infatti spesso sono stati eseguiti più campionamenti all'interno della medesima barra, in posizioni diverse. *L'immagine 3.2* riporta le sezioni della scheda consultate e utili per l'elaborato, nel caso specifico relative al campionamento T1_S05B1_B_1.

Immagine 3.2



3.3 Laboratorio, analisi per setacciatura

Al fine di estendere temporalmente la traiettoria d'analisi, si è deciso di aggiungere ai dati di letteratura alcuni dati molto recenti, 2022 è l'anno preciso relativo ai prelievi. Tale operazione è stata fatta campionando lungo un settore specifico del Fiume Po una serie di campioni, 13 per l'esattezza, riferiti ai depositi di barra.

Essendo che il Po presenta per la maggior parte un sedimento di tipo granulare, ovvero costituito da ghiaia e sabbia, è stato utilizzato il metodo di Analisi Granulometrica per Setacciatura per lo studio dei 13 campionamenti prelevati. L'analisi è stata eseguita presso il Laboratorio di Macinazione situato all'interno del Dipartimento di Geoscienze. I campioni del Po, prelevati ad inizio 2022, sono stati estratti lungo le barre di sezioni topografiche ufficiali, più precisamente S33, S33B, S33A, S33C e S34A, situate a valle dell'immissione del Fiume Taro.

La tecnica della quartatura (*Immagine 3.3*), adottata all'inizio, mi ha permesso di prelevare la massa di campione necessaria, in questo caso circa 300 g (*Immagine 3.4*), a partire da una quantità originaria molto maggiore, tramite un

dimezzamento e rimescolamento continuo e ripetuto dei campioni, al fine di ottenere una misura più oggettiva possibile.

L'analisi per setacciatura consiste nell'utilizzo di un setacciatore, come riportato nell' *Immagine 3.5* (Giuliani IG/1/S 300), costituito da 8 setacci impilati in serie con un diametro di 200mm e maglie scelte con le seguenti dimensioni, in ordine decrescente: 0,063mm, 0,125mm, 0,25mm, 0,5 mm, 1mm, 2mm, 4,75mm e 9,5mm. Per i primi quattro setacci, ovvero quelli con diametri maggiori ho operato scuotendoli a mano, per i seguenti quattro è stato necessario utilizzare il vibrovaglio, rappresentato in *Immagine 3.6*, ovvero uno strumento che tramite una vibrazione prolungata (8 minuti circa) permette di selezionare e dividere la massa in modo più efficace. Successivamente ho pesato la massa residua per ogni setaccio e il passante finale, il quale raccoglieva diametri inferiori ai 0,063 mm, dunque porzioni di sedimenti coesivi.

In un secondo momento ho utilizzato il software Excel in cui ho riportato i valori ricavati dall'analisi in una tabella. Una volta ottenuti i valori in massa, ho proceduto calcolando i parametri statistici utili.

Inizialmente ho calcolato i valori di "phi" per ogni diametro del setaccio, ovvero una classificazione basata sulla progressiva esponenziale dei diametri

$\varphi = -\log 2D$, la distribuzione percentuale del peso, la relativa distribuzione percentuale cumulativa e due diametri caratteristici scelti per l'analisi: D_{50} e D_{84} .

La formula per calcolare, per esempio, il

$$D_{50} = 2^{-\left\{ \varphi_{min} + \left[\left(\frac{\varphi_{Max} - \varphi_{min}}{\%cumMax - \%cummin} \right) \times (50 - \%cummin) \right] \right\}}$$

Più nello specifico, 50 rappresenta il diametro caratteristico che si vuole calcolare, per scegliere i valori di phi correttamente, ovvero φ_{min} e φ_{max} , è necessario osservare i due valori di % cumulativa comprendenti il valore di 50, in questo caso, quei due valori individuati corrisponderanno a %cumMax e %cummin nella formula.

Di seguito sono riportate le immagini relative all'esperienza di laboratorio:

Immagine 3.3



Immagine 3.4



Immagine 3.5



Immagine 3.6



3.4 Utilizzo di Qgis

QGIS, acronimo di “Quantum GIS” è un software GIS (Sistemi Informativi Geografici), usato per la creazione e l’analisi spaziale di dati, ovvero per la loro georeferenziazione.

È utile soprattutto al fine di creare mappe telematiche, tabelle e grafici per ogni oggetto che si presenta spazialmente distribuito.

Le schede analizzate inizialmente, relative alla sezione dell’elaborato “Dati da letteratura”, riportano anche un file di “copertina”, ovvero la rappresentazione fotografica del luogo preciso in cui è stato eseguito il prelievo in campo.

Dunque alla base del progetto in Qgis avevo la mappa geografica del Fiume Po con le relative sezioni ufficiali nominate, e grazie alle informazioni di copertina, ho riportato sottoforma di dati vettoriali, in questo caso la forma geometrica scelta

è stata il punto, i nomi specifici dei campionamenti. Per dati vettoriali, al contrario dei dati “raster”, è possibile associare più attributi allo stesso dato, in questo caso ho creato una tabella attributi, formando così un geodatabase, in cui sono riportati i dati granulometrici sistemati nelle tabelle Excel, associati sempre allo specifico punto di campionamento.

Qgis è stato utilizzato anche nella sezione di analisi dei risultati e discussione per visualizzare meglio l’andamento del Po, le confluenze con i tributari, il tratto dell’Isola dei Serafini.

4. ANALISI E RISULTATI

4.1 Sistemazione e georeferenziazione

Le tabelle Excel sotto riportate, *Tabelle 4.1 e 4.2*, rappresentano il lavoro di sistemazione dei dati da letteratura. Nello specifico queste tabelle riportano il nome del campione prelevato, la sezione di campionamento ufficiale in cui è stato eseguito, A si riferisce al canale e B alle barre, il chilometraggio in cui è avvenuto il campionamento, da monte verso valle ed infine i valori relativi ai parametri statistici studiati in questa analisi, ovvero D_{50} e D_{84} . *Tabella 4.1* riporta i valori per i campionamenti eseguiti nel 2002-2005, la *tabella 4.2* quelli risalenti al 2012-2015.

Immagine 4.1 raffigura il lavoro di geo-referenziazione dei dati su Qgis, ovvero la creazione di un geo-database spaziale, il quale ha associato l’informazione relativa alle Tabelle Excel (*Tabella_dati_csv*), al fine di georeferire appunto, potendo così integrare i dati relativi al 2002, 2012, 2022 per le due granulometrie studiate, relative sempre sia per canale che per barra.

Immagine 4.1

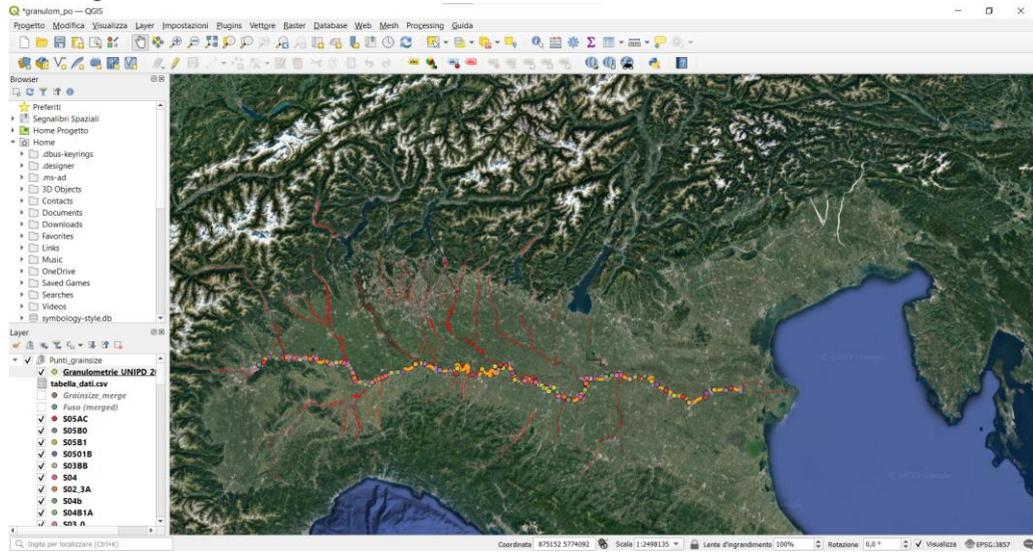


Tabella 4.1

Nome_pun_1	progressiva (km)	D_50_02	D_84_02				
T1_S05B0_A_1	121,5	19	41	T3_S38D_A_1	447,2	0,35	0,49
T2_S04A1_A_2	142	12	32,5	T3_S38E_A_2	449	0,35	0,46
T4_S03a_A_2	150	11	49	T3_S39C_A_2	453,8	0,39	0,6
T3_S03BB_A_2	155,5	41	51	T3_S40_A_3	460	0,49	0,8
T4_S02_3A_A_2	178	10	30	T3_S40D_A_2	465,9	0,38	0,62
T5_S01D1B_A_1	186,5	55	79	T3_S41_A_3	466	0,35	0,42
T5_S01C1A_A_2	193,5	19	65	T4_S42A_A_2	472,7	0,29	0,44
T1_00B1D_A_1	227,1	8	29	T4_S43B_A_3	481	0,51	0,81
T2_5A_A_3	263,9	0,7	22	T4_S45A_A_4	487,2	0,39	0,49
T2_S6B_A_2	271,8	0,5	22	T4_S45A_A_2	487,2	0,41	0,81
T3_S9D_A_4	292	0,5	0,8	T4_S46A_A_4	492	0,35	0,39
T3_S21_A_1	336,9	0,68	0,9	T5_S47_A_2	494,7	0,39	0,6
T4_S24C_A_4	360,7	0,24	0,38	T5_S50_A_3	508	0,4	0,64
T4_S24F_A_4	364,6	0,129	0,26	T6_S54_A_2	516,6	0,33	0,44
T5_S26C_A_3	381,5	0,51	26	T6_S56B_A_2	525,2	0,4	0,66
T5_S27B_A_3	386,1	4,5	29	T6_S57A_A_4	531,5	0,4	0,75
T1_S28_A_2	388,8	0,59	2	T6_S59B_A_4	538,5	0,32	0,43
T1_S28A_A_2	394	0,49	10	T6_S62_A_2	548,5	0,34	0,46
T1_S30_A_2	398,7	0,41	0,7	T6_S62_A_3	548,5	0,4	0,6
T1_S31_A_2	403,1	0,7	12	T6_S63_A_2	555	0,39	0,51
T2_S32A_A_2	409	0,61	0,9	T6_S64B_A_1	561	0,16	0,21
T2_S33B_A_2	414	0,5	14	T6_S64C_A_2	561,9	0,37	0,54
T2_S35C_A_4	426	0,31	0,44	T7_S68_A_4	575	0,36	0,49
T2_S35D_A_2	428,5	0,39	0,5	T7_S69_A_3	579	0,34	0,48
T2_S36_A_2	433	0,48	10,2	T7_S70_A_2	584	0,2	0,35
T3_S37_A_2	438	0,4	0,7	T7_S71_A_3	591,8	0,31	0,41
T3_S37BIS_A_2	438,5	0,4	0,68	T7_S72_A_3	598	0,34	0,43

Nome_pun_1	progressiva (km)	D_50_02	D_84_02
T1_S05B1_B_1	120,8	20	52
T1_S05B1_B_2	120,8	0,3	0,44
T1_S05B0_B_2	121,5	40	51
T1_S05AC_B_1	125,5	70	80
T1_S05AC_B_2	125,5	0,28	0,4
T1_S0501B_B_1	131,5	24	71
T2_S04B1A_B_1	136	0,32	0,52
T2_S04B1A_B_2	136	69	70
T2_S04b_B_1	139	15	37
T2_S04A1_B_1	142	32,1	78
T4_S03a_B_1	150	14	45
T3_S04_B_1	151	14	34
T3_S04_B_2	151	0,35	0,61
T3_S03BB_B_1a	156	11	50
T3_S03BB_B_3	156	0,45	0,9
T4_S03_0_B_1	169	39	70
T4_S03_0_B_2a	169	25	68
T4_S02_3A_B_1	178	45	50
T5_S01CII_B_1	186,2	17	53
T5_S01C1A_B_3	194	25	79
T6_S01B1_B_1	200	18	34
T6_S01A1_B_1	205	34	71
T6_S01A_B_1	208	14	25
T6_S01A_B_3	208	0,65	0,95
T6_S00BIS_B_1	211	6,8	25
T6_S00A1A_B_1	220	50	80
T6_S00A1A_B_2	220	0,51	0,82
TANARO_B_1	220	25	69
T1_00B1D_B_2	227	0,5	0,9
T1_00C_B_1	233	29	52
T1_00C_B_3	233	37	64
T1_00C_BF_2	233	25	47
T1_00C2_B_1	238	25	50
T1_1AA_BF_2	242,5	22	42
T1_1AA_B_3	242,5	18	32
T1_2_B_3	248,2	0,25	0
T1_2_B_4	248,2	5	21
T2_2CB_B_1	253	8	46
T2_2CB_B_2	253	0,19	0,6
T2_5A_B_1	264	0,28	0,42
T2_5A_BU_2	264	22	33
T2_5BB_B_1	267	0,125	0,3
T2_5C_B_1	268	0,5	0,5
T2_5C_BU_2	268	17	25
T2_S6B_B_1	271,8	0,5	0,7
T2_S8B_B_2	284,3	14	36
T2_S8B_B_3	284,3	0,25	0,5
T3_S9D_B_1	292	15	29
T3_S9D_B_2	292	0,6	6
T3_S9D_B_3	292	0,5	0,5
T3_S10B_B_1	297	50	77
T3_S12_B_1	302,3	0,2	0,4
T3_S12_B_2	302,3	0,25	0,6
T3_S18_B_1	326,5	49	70
T3_S18_B_2	326,5	0,6	0,84
T3_S20_B_1	327,8	15	65
T3_S20_B_2	327,8	0,32	0,43
T3_S21_B_2	336,9	0,68	0,88
T3_S21_B_3	336,9	26	49
T3_S21_B_4	336,9	33	50
T3_S21_B_5	336,9	0,33	0,48
T4_S24C_B_1	360,7	0,59	0,85
T4_S24C_B_2	360,7	24	62
T4_S24C_B_3	360,7	0,24	0,38
T4_S24F_B_1	364,6	0,3	0,45
T4_S24F_B_2	364,6	2	25
T4_S24F_B_3	364,6	0,126	0,22
T4_S24F_B_5	364,6	8	24
T4_S24F_B_6	364,6	0,335	0,55

T4_S25_03_B_1	368	10	21
T5_S25A36_B_1	372,7	0,25	0,4
T5_S25A36_B_2	372,7	7	18
T5_S25A36_B_3	372,7	12	31
T5_S25A36_B_4	372,7	0,22	0,47
T5_S25A36_B_5	372,7	32	51
T5_S25A36_B_6	372,7	0,6	1
T5_S26C_B_1	381,5	0,34	0,42
T5_S26C_B_2	381,5	9	28
T5_S27B_B_1	386,1	0,25	0,46
T5_S27B_B_2	386,1	0,8	9
T1_S28_B_1	388,8	0,39	0,7
T1_S28_B_3	388,8	0,4	2
T1_S28A_B_1	394	5	19
T1_S28A_B_3	394	0,41	0,78
T1_S30_B_1	398,7	4	15
T1_S30_B_3	398,7	0,39	0,6
T1_S31_B_1	403,1	0,41	0,72
T1_S31_B_2	403,1	0,06	0,49
T1_S31_BU_3	403,1	0,55	0,9
T2_S32A_B_1	409	0,72	5
T2_S33B_B_1	414	5	16
T2_S33B_B_3	414	0,39	0,55
T2_S33B_B_5	414	0,06	0,09
T2_S35C_B_3	426	0,32	0,41
T2_S35C_B_1	426	0,32	0,43
T2_S35C_B_2	426	0,06	0,06
T2_S35D_B_1	428,5	0,39	0,44
T2_S36_B_1	433	0,39	0,6
T3_S37_B_1	438	0,6	0,81
T3_S37_B_3	438	0,4	0,7
T3_S37BIS_B_1	438,5	0,5	0,78
T3_S37BIS_B_1	438,5	0,06	0,08
T3_S38D_B_2	447,2	0,36	0,44
T3_S38D_B_1	447,2	0,36	0,46
T3_S38E_B_1	449	0,39	0,49
T3_S39C_B_1	453,8	0,41	0,8
T3_S39C_B_3	453,8	0,41	0,9
T3_S40_B_1	460	0,49	0,85
T3_S40_B_2	460	0,4	0,7
T3_S40D_B_1	465,9	0,48	0,81
T3_S41_B_1	466	0,06	0,06
T3_S41_B_2	466	0,35	0,49
T4_S42A_B_4	472,7	0,06	0,06
T4_S42A_B_1	472,7	0,69	1,3
T4_S42A_BU_3	472,7	0,32	1,4
T4_S43B_B_1	481	0,41	0,75
T4_S45A_B_5	487,2	0,39	0,52
T4_S45A_B_2	487,2	0,4	0,6
T4_S45A_B_1	487,2	0,39	0,62
T4_S46A_B_3	492	0,4	0,7
T5_S47_B_1	494,7	0,4	0,65
T5_S48C_B_2	502	0,35	0,49
T5_S50_B_1	508	0,4	0,7
T5_S50_BU_2	508	0,4	0,7
T6_S54_BU_2	516,6	0,51	0,8
T6_S54_B_1	516,6	0,06	0,06
T6_S54_B_1	516,6	0,35	0,43
T6_S56B_B_1	525,2	0,37	0,51
T6_S57A_B_1	531,5	0,09	0,19
T6_S57A_B_2	531,5	0,1	0,19
T6_S57A_BU_3	531,5	0,19	0,24
T6_S59B_B_2	538,5	0,31	0,41
T6_S59B_BU_3	538,5	0,32	0,44
T6_S62_B_1	548,5	0,39	0,5
T6_S62_B_1	548,5	0,35	0,44
T6_S62_BU_2	548,5	0,4	0,61
T6_S63_B_1	555	0,39	0,5
T6_S64C_B_1	561,9	0,35	0,46
T7_S68_BF_3	575	0,31	0,41
T7_S68_BF_2	575	0,06	0,06
T7_S68_B_1	575	0,29	0,4
T7_S69_BF_2	579	0,35	0,45
T7_S69_B_1	579	0,34	0,49
T7_S70_B_1	584	0,19	0,25
T7_S70_B_3	584	0,29	0,4
T7_S71_BF_2	591,8	0,35	0,45
T7_S71_B_1	591,8	0,31	0,41
T7_S72_B_2	598	0,31	0,41
T7_S72_B_1a	598	0,29	0,4

Tabella 4.2

Nome_pun_1	progressiva (km)	D_50_12	D_84_12
T4_S24C_B_1	360,7	0,4	0,75
T4_S24C_B_2	360,7	0,36	0,51
T4_S24C_B_3	360,7	0,37	0,55
T4_S24F_B_1	364,6	0,42	1,1
T4_S24F_B_2	364,6	0,34	0,49
T4_S24F_B_3	364,6	0,35	0,45
T4_S24F_B_5	364,6	0,35	0,46
T4_S24F_B_6	364,6	0,41	6
T4_S25_03_B_1	368	7,5	14
T5_S25A36_B_1	372,7	0,6	0,9
T5_S25A36_B_2	372,7	3,3	13
T5_S25A36_B_3	372,7	22	35
T5_S25A36_B_4	372,7	0,81	3,4
T5_S25A36_B_5	372,7	28	53
T5_S25A36_B_6	372,7	0,65	0,88
T5_S26C_B_1	381,5	0,57	0,85
T5_S26C_B_2	381,5	16,5	29,5
T5_S27B_B_1	386,1	2,1	12
T5_S27B_B_2	386,1	0,41	0,7
T1_S28_B_1	388,8	2,4	16
T1_S28_B_3	388,8	2,6	22
T1_S28A_B_1	394	2	9,9
T1_S28A_B_3	394	0,75	1,3
T1_S30_B_1	398,7	0,45	0,75
T1_S30_B_3	398,7	0,55	0,8
T1_S31_B_1	403,1	0,53	0,83
T1_S31_BU_3	403,1	0,67	0,86
T2_S32A_B_1	409	0,39	0,64
T2_S33B_B_1	414	0,67	0,99
T2_S33B_B_3	414	0,55	0,84
T2_S33B_B_5	414	1,1	4,2
T2_S35D_B_1	428,5	0,36	0,48
T2_S36_B_1	433	0,47	0,75
T3_S37_B_1	438	0,37	0,49
T3_S37_B_3	438	0,46	0,78
T3_S37BIS_B_1	438,5	0,46	0,78
T3_S38D_B_2	447,2	0,36	0,5
T3_S38D_B_1	447,2	0,39	0,6
T3_S38E_B_1	449	0,47	0,79
T3_S39C_B_1	453,8	0,63	0,89
T3_S39C_B_3	453,8	0,63	0,9
T3_S40_B_1	460	0,58	0,9
T3_S40_B_2	460	0,59	0,9
T3_S40D_B_1	465,9	0,41	0,74
T3_S41_B_1	466	0,4	0,7
T3_S41_B_2	466	0,35	0,45
T4_S42A_B_4	472,7	0,38	0,62
T4_S42A_B_1	472,7	0,58	1
T4_S42A_BU_3	472,7	0,69	1,23
T4_S43B_B_1	481	0,56	0,84

T4_S45A_B_5	487,2	0,53	0,91
T4_S45A_B_2	487,2	0,65	1,17
T4_S45A_B_1	487,2	0,38	0,6
T4_S46A_B_3	492	0,4	0,69
T5_S47_B_1	494,7	0,42	0,73
T5_S50_B_1	508	0,37	0,48
T6_S54_B_1	516,6	0,36	0,47
T6_S56B_B_1	525,2	0,2	0,35
T6_S57A_B_1	531,5	0,35	0,47
T6_S57A_B_2	531,5	0,39	0,64
T6_S62_B_1	548,5	0,35	0,46
T6_S63_B_1	555	0,34	0,45
T6_S64C_B_1	561,9	0,4	0,7
T7_S68_B_1	575	0,18	0,23
T7_S69_BF_2	579	0,35	0,46
T7_S69_B_1	579	0,35	0,45
T7_S70_B_1	584	0,28	0,41
T7_S71_BF_2	591,8	0,15	0,22
T7_S71_B_1	591,8	0,18	0,25

Nome_pun_1	progressiva (km)	D_50_12	D_84_12
T4_S24C_A_4	360,7	0,42	12
T4_S24F_A_4	364,6	0,36	0,65
T5_S26C_A_3	381,5	0,49	0,88
T5_S27B_A_3	386,1	0,51	16
T1_S28_A_2	388,8	0,88	12
T1_S28A_A_2	394	0,51	0,81
T1_S30_A_2	398,7	0,42	0,7
T1_S31_A_2	403,1	0,46	0,78
T2_S32A_A_2	409	0,41	0,72
T2_S33B_A_2	414	0,53	0,83
T2_S35D_A_2	428,5	0,38	0,58
T2_S36_A_2	433	0,4	0,65
T3_S37_A_2	438	0,37	0,51
T3_S38D_A_1	447,2	0,38	0,58
T3_S38E_A_2	449	0,47	0,79
T3_S39C_A_2	453,8	0,65	0,9
T3_S40_A_3	460	0,49	0,89
T3_S40D_A_2	465,9	0,33	0,45
T3_S41_A_3	466	0,36	0,47
T4_S42A_A_2	472,7	0,59	0,95
T4_S43B_A_3	481	0,59	0,92
T4_S45A_A_4	487,2	0,8	1,83
T4_S46A_A_4	492	0,36	0,49
T5_S47_A_2	494,7	0,39	0,62
T6_S54_A_2	516,6	0,4	0,69
T6_S56B_A_2	525,2	0,2	0,33
T6_S62_A_2	548,5	0,36	0,49
T6_S63_A_2	555	0,36	0,49
T6_S64C_A_2	561,9	0,39	0,68
T7_S69_A_3	579	0,35	0,46
T7_S71_A_3	591,8	0,16	0,22
T7_S72_A_3	598	0,5	14

4.2 Risultati analisi laboratorio

Le analisi per setacciatura riguardano i 13 campionamenti prelevati nel 2022, per i quali sono stati calcolati sempre D_{50} e D_{84} e costruita la relativa curva granulometrica. Di seguito, riportata la curva granulometrica (*Grafico 4.1*) relativa al campione B2_SV2 prelevato nella sezione ufficiale S33B e la *tabella 4.3* completa concerne ai risultati granulometrici di tutti i 13 campionamenti.

Grafico 4.1: raffigura la curva granulometrica, un grafico semi-logaritmico, in cui viene rappresentata la distribuzione percentuale cumulativa della massa (%cum) in funzione della dimensione del diametro delle particelle in millimetri (D(mm)). La curva da informazioni riguardo la classificazione del sedimento in esame, in questo caso si osserva che il campione è prevalentemente costituito da sabbia, la ripidità della curva che caratterizza quel tratto indica che la porzione di sabbia è anche uniforme, ben classata. Il campione presenta una quantità quasi nulla di frazione fine e solo una piccola porzione di ghiaia, caratterizzata da un grado di uniformità intermedio.

Grafico 4.1

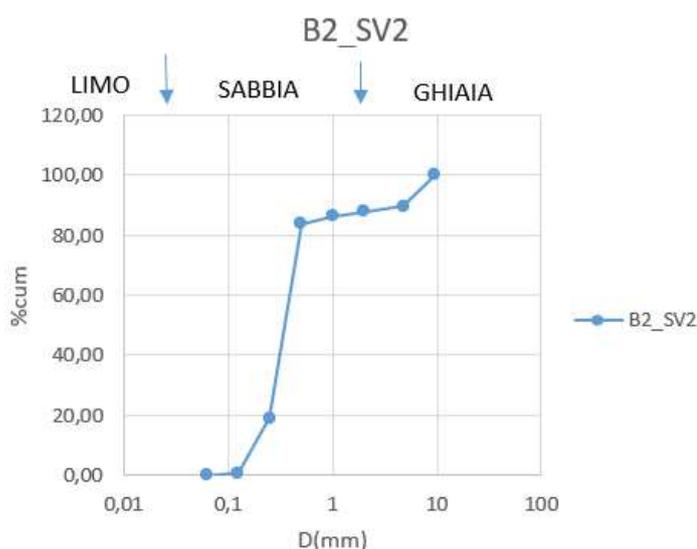


Tabella 4.3

nome	sezione	progressiva(km)	D50(mm)	D84(mm)
B1_SV1	S33	411	0,27	0,74
B1_SV2	S33	411	0,33	5,916
B1_SV3	S33	411	0,38	0,61
B1_SV4	S33	411	0,31	0,76
B3_SV1	S33A	413	0,63	0,88
B3_SV2	S33A	413	0,69	0,91
B2_SV1	S33B	414	0,66	6,53
B2_SV2	S33B	414	0,35	0,47
B2_SV3	S33B	414	0,29	0,5
B4_SV1	S33C	417	0,51	0,33
B4_SV2	S33C	417	0,18	0,25
B4_SV3	S33C	417	0,72	0,9
B5_SV1	S34A	420	0,49	0,81

4.3 Grafici traiettorie longitudinali

Nella sua totalità il Po è un fiume costituito quasi completamente da sedimenti granulari, dunque ghiaia e sabbia, caratterizzate da granulometrie superiori a 0,06mm. Di conseguenza i grafici sotto riportati, considerano dati relativi ai diametri caratteristici D₅₀ e D₈₄, i quali offrono una miglior rappresentazione statistica relativa agli andamenti granulometrici lungo tutta la progressiva.

Grafico 4.2

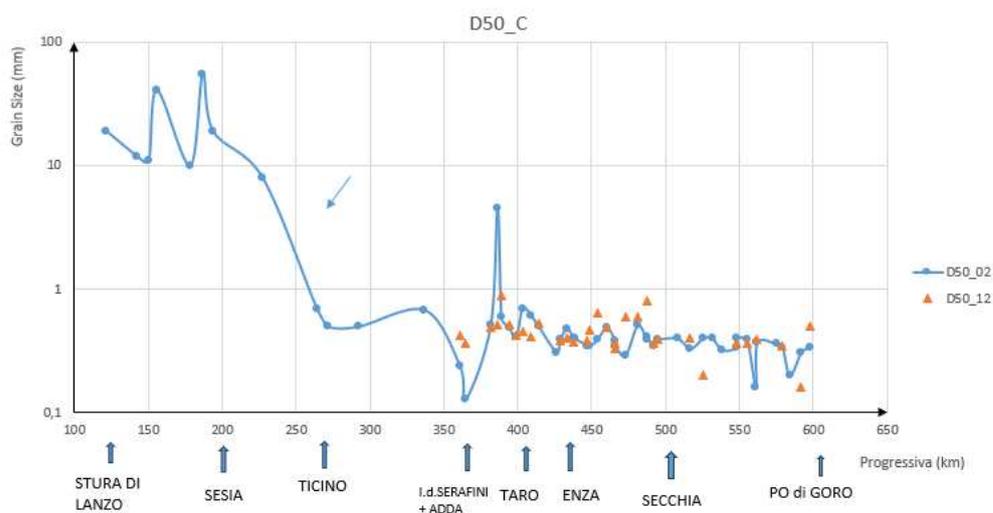
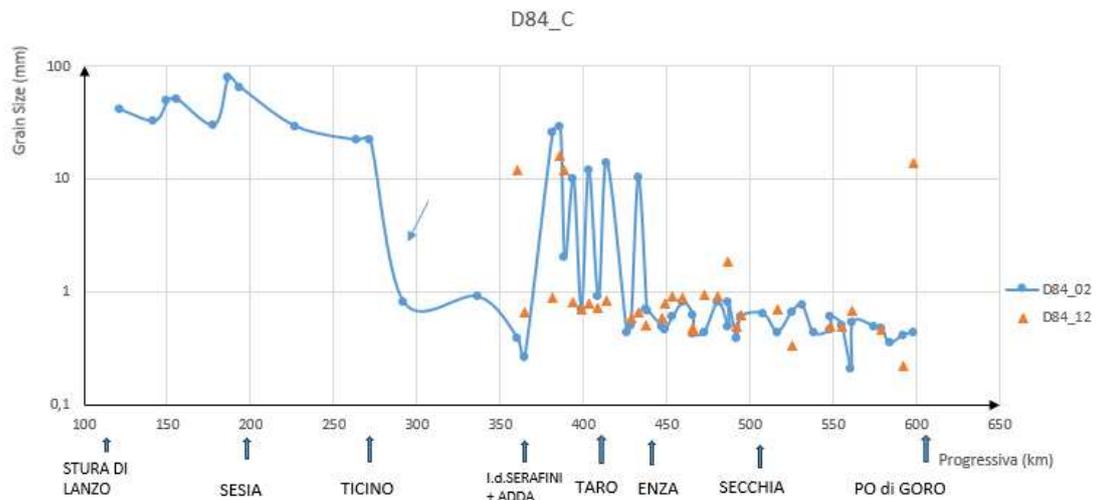


Grafico 4.3.



I due grafici rappresentano l'andamento granulometrico del fiume Po, relativi ai prelievi eseguiti nello specifico sulle unità morfologiche "canale". Tali grafici raffigurano come varia la dimensione dei granuli, in termini di diametri caratteristici (grain size(mm)), in funzione del decorso del fiume (progressiva (km)).

I campionamenti eseguiti nel 2002-2005, descritti dalla linea blu nel grafico, sono i più completi. Essi offrono dati da monte verso valle che permettono di descrivere l'andamento spaziale lungo tutta l'asta del Po.

Esaminando la curva si osserva che il Po presenta un andamento granulometrico costante, caratterizzato da sedimenti grossolani, dalla confluenza con il fiume Stura di Lanzo, fino alla confluenza con il Ticino. Proseguendo, la curva, circa in corrispondenza della confluenza con il fiume Ticino, presenta un decremento a dimostrazione di un significativo cambiamento granulometrico. Da questo particolare tratto in poi prosegue abbastanza costantemente fino al termine del suo percorso, presentando un canale costituito da materiale sabbioso, addirittura sabbioso-limoso in corrispondenza del delta.

Il *grafico 4.3*, segue coerentemente il *grafico 4.2*, ad eccezione del tratto compreso tra il chilometro 380 e 430 in cui sono stati riscontrati ancora sedimenti

caratterizzati da un'abbondante componente ghiaiosa nella frazione più grossolana (D_{84}).

Grafico 4.4

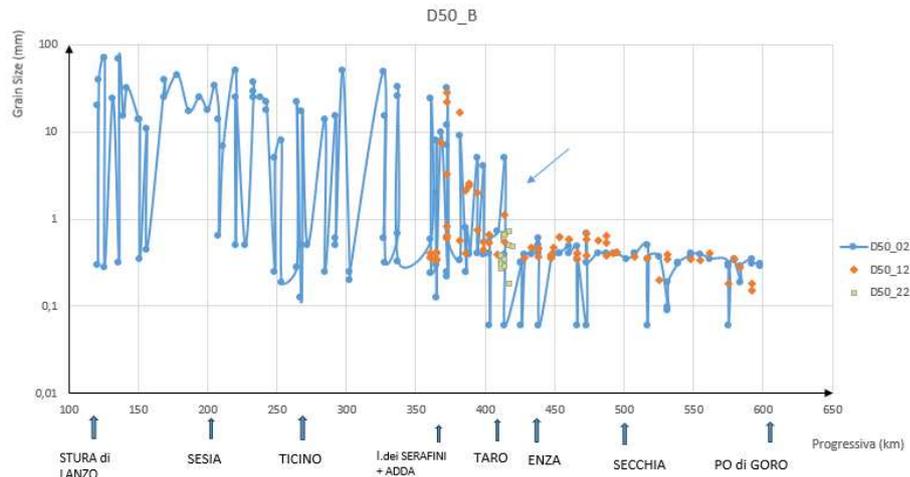
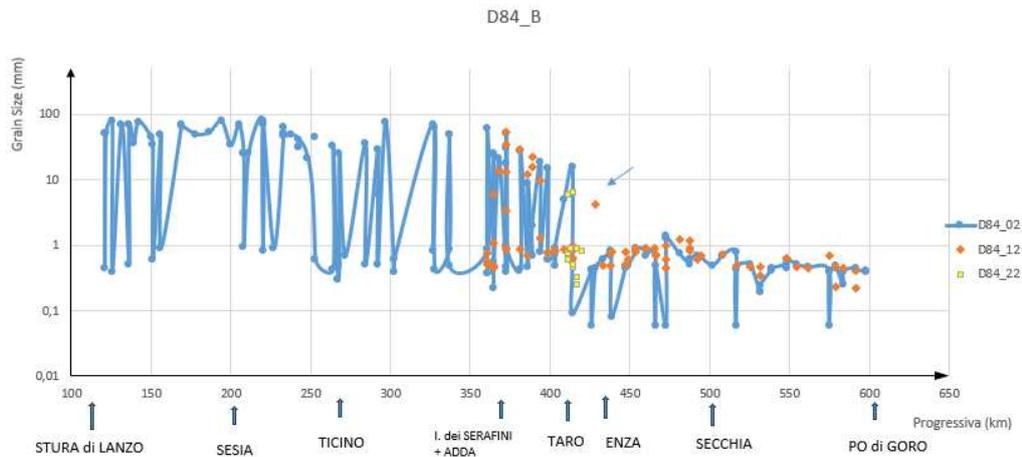


Grafico 4.5



Anche i *grafici 4.4 e 4.5* raffigurano l'andamento granulometrico del fiume Po, rappresentano come varia la dimensione dei granuli, in termini di diametri caratteristici (Grain size (mm)), in funzione del decorso del fiume (progressiva (km)), ma relativamente ai prelievi eseguiti sulle unità morfologiche "barre".

La curva blu, che come già accennato rappresenta i dati del 2002, ovvero i più completi, presenta un andamento fortemente instabile all'incirca fino al chilometro 400, visibile dall'alternanza di picchi verso l'alto e verso il basso, a

dimostrazione della compresenza di classi granulometriche diverse, ovvero ghiaie grossolane e sabbie sulla superficie delle barre fluviali. All'incirca dalla confluenza con il tributario appenninico Taro, proseguendo verso valle, i sedimenti campionati sono per la maggior parte costituiti da sabbie, con frequenti picchi verso il basso, indice della presenza di sabbie fini e limi.

4.4 Traiettorie temporali

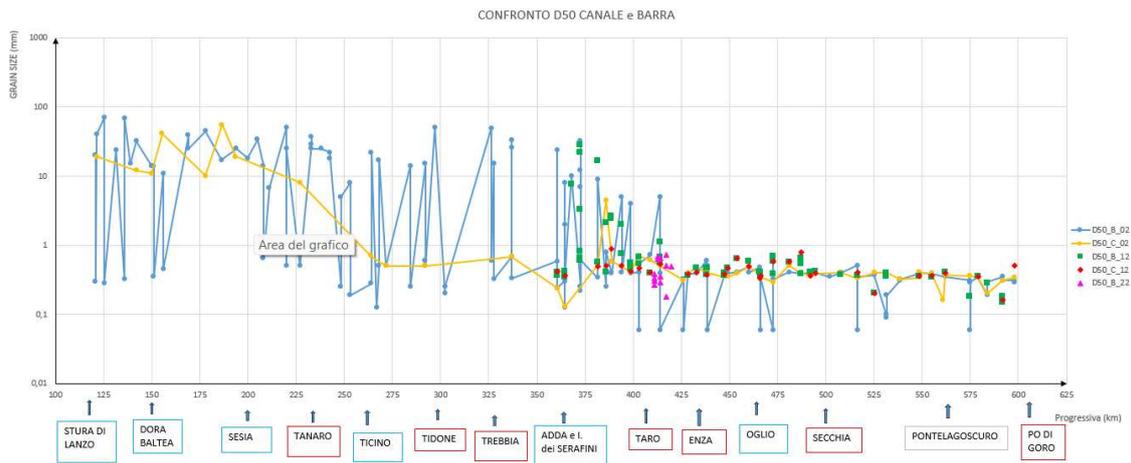
È possibile confrontare i dati relativi alle traiettorie spaziali in chiave temporale solo a partire dalla confluenza con il fiume Adda. È da qui infatti che incominciano i campionamenti relativi al 2012. Questo secondo intervento, per quasi tutti i punti di campionamento riprende la copertina dell'annata precedente, poiché sono stati mantenuti gli stessi luoghi di prelievo.

I *grafici 4.2 e 4.3* rappresentano, mediante un grafico a dispersione arancio, i campioni relativi a questa seconda annata. Questi dati seguono la curva dei dati del 2002, a conferma che i sedimenti che costituiscono il canale appartengono alla classe granulometrica delle sabbie, con la presenza verso valle di materiale limo-sabbioso.

Anche per i grafici a dispersione, rappresentanti sempre i dati del 2012, nei *grafici 4.4 e 4.5*, relativi alle barre, mostrano una congruenza con i dati del 2002. Anch'essi riscontrano la presenza di granulometrie grossolane fino alla confluenza con il fiume Taro, dopo di che confermano la presenza di deposito sabbioso. È possibile osservare una differenza tra le due annate di campionamento dopo la confluenza con il fiume Taro, infatti i sedimenti campionati nel 2012 tendono ad essere sabbiosi, caratterizzati da una granulometria tendenzialmente uniforme, la quale non è visibile per i prelievi del 2002, nei quali i frequenti picchi verso il basso della curva testimoniano la presenza anche di una componente sabbiosa fine. Il grafico a dispersione in giallo, rappresentato in questi due grafici raffigura i 13 campionamenti prelevati nel 2022 a livello delle barre. Più precisamente i campionamenti sono stati eseguiti tra la confluenza con il fiume Taro e il fiume Enza, ed anch'essi confermano la presenza di deposito sabbioso a livello delle barre a partire da

questo tratto. Solo un dato relativo al *grafico 4.5* registra la presenza di materiale ghiaioso subito dopo l'immissione del fiume Taro, coerentemente ai prelievi del 2002.

Grafico 4.6



Il grafico sopra esposto è completo, raffigura l'asta del Po e dove i principali tributari si immettono nel fiume, di provenienza alpina delineati in blu e di provenienza appenninica in rosso. Permette il contemporaneo confronto delle granulometrie del Po, riferite al D₅₀, per quanto riguarda traiettorie spaziali e temporali.

5. DISCUSSIONE e CONCLUSIONE

Il Po, come tipicamente avviene nei corsi d'acqua alluvionali, trasporta materiale solido a partire dalla zona montana, in cui avvengono processi franosi ed erosivi. Prosegue il suo percorso modellando in questo caso la Pianura Padana, trasportando e depositando in essa materiale, per poi terminare il proprio decorso con la deposizione del sedimento a livello del delta, essendo il fiume aver perso sempre di più pendenza, presentando così meno energia di trasporto.

In genere il sedimento presenta granulometrie maggiori verso monte, tendenzialmente ghiaie e sabbie; verso valle invece il deposito tende ad essere sabbioso, a tratti sabbioso-limoso. La partizione granulometrica appena

enunciata ha validità globale, nel senso che è una condizione tipica di molti fiumi, ma spesso e volentieri questo stabile decremento granulare viene interrotto a causa di interventi naturali, come la confluenza di tributari (Surian, 2002) o di origine antropica, come la costruzione di sbarramenti (Brenna et al., 2021).

I dati del 2002, relativi al canale (*grafici 4.2 e 4.3*) raffigurano questo evidente cambiamento granulometrico longitudinale, ovvero da corso a canale grossolano, ghiaioso, caratterizzato da un diametro dei granuli >2 mm a corso a canale sabbioso, costituito da un diametro compreso tra 2 mm e 0,06 mm. La transizione da un canale prevalentemente ghiaioso ad un canale prevalentemente sabbioso avviene circa in corrispondenza alla zona di confluenza del tributario alpino Ticino. Il cambiamento granulometrico che si osserva è coerente anche con la presenza della soglia di Portalbera (PV), la quale rappresenta uno sbarramento antropico che tendenzialmente causa la deposizione dei sedimenti più grossolani a monte.

In questo primo tratto di fiume, caratterizzato anche da una pendenza maggiore rispetto a valle, il canale presenta esclusivamente materiale ghiaioso ben selezionato. Tale condizione è conforme con un'unità morfologica quale il canale nel quale scorre l'acqua per la maggior parte dell'anno e, nel momento in cui il fiume presenta una portata maggiore, anche la forza esercitata dall'acqua (sforzo di taglio) sul fondo del canale tende ad aumentare, giungendo ad una condizione di erosione e massimo trasporto che giustificano l'assenza di materiale sabbioso in questo specifico settore.

Alle volte il sedimento ghiaioso campionato, presenta dei diametri maggiori rispetto a quelli di competenza del fiume, il motivo potrebbe risiedere nell'ingresso di affluenti come Orco, Dora Baltea e Sesia, i quali potrebbero aver immesso nel fiume quel materiale grossolano rilevato.

Il tratto successivo è influenzato dalla presenza di uno sbarramento ideato dall'uomo per ricavare energia elettrica e dalla conseguente Isola artificiale che si è venuta a formare, ovvero Isola Serafini. La situazione relativa alla dinamica fluviale presente in questo tratto è complicata, come si può visualizzare nell'*Immagine 2.2*, è caratterizzata da un ramo di meandro in cui si immette il fiume alpino Adda, e dal canale artificiale generato dopo lo sbarramento. Sia il

grafico 4.2 che *4.3*. riscontrano come i primi due campionamenti a valle di Isola Serafini siano caratterizzati da granulometrie piccole. La granulometria fine riscontrata, è giustificata dalla presenza del canale artificiale, il quale privando il meandro di un elevato volume di acqua, causa una diminuzione della competenza stessa di trasporto del ramo. Il *grafico 4.2* dimostra che, a valle della diga e a valle dell'immissione dell'acqua proveniente dal canale artificiale, quando l'acqua riprende il suo normale decorso, la presenza di granulometrie elevate in questo punto è giustificata. Infatti la presenza della diga, tende a trattenere sedimenti a monte, inducendo un corazzamento a valle dovuto alla sottoalimentazione di materiale solido. Tale effetto tende ad annullarsi abbastanza velocemente soprattutto per il D_{50} allontanandosi dal manufatto. Quell'unico punto registrato nel *grafico 4.2* dunque è il solo a dimostrazione del fatto che in quel tratto la presenza di un ostacolo antropico all'interno dell'asta fluviale è la causa di una discontinuità granulometrica. Il fiume Adda, che si immette nel ramo di meandro non sembra presentare significativa influenza, probabilmente perché, trattandosi di un corso d'acqua sublacuale, tende a scaricare la maggior parte di sedimenti grossolani nel Lago di Como. L'ultimo tratto di fiume campionato presenta granulometrie fini, caratterizzate anche da una componente sabbiosa-limosa, ciò trova giustificazione nella progressiva perdita di energia verso il delta, perdita di pendenza e dall'azione di "rigurgito" da parte del mare. Il materiale prelevato presenta le dimensioni coincidenti al "carico sospeso", il quale dunque diventa la componente maggiore andando verso il mare.

Per la descrizione sopra esposta, relativa alla traiettoria spaziale, si considerano i grafici relativi alla granulometria del canale, la quale descrive meglio l'evoluzione granulometrica che presenta l'asta del fiume, includendo anche i processi geologici e morfodinamici che lo influenzano.

In generale l'osservazione che i campionamenti eseguiti sulle barre tendono a presentare una forte discontinuità e disomogeneità granulometrica rispetto a quelli in alveo, trova risposta nel fatto che le barre rappresentano di per sé unità morfologiche nelle quali avviene deposizione di sedimento. Oltre al "carico di

fondo”, costituito da materiale grossolano, ovvero ghiaie e sabbie, il quale tende a depositare se il fiume non dispone di abbastanza energia per trasportarlo, avviene anche una deposizione del “carico sospeso”, ovvero materiale limoso, fine, il quale può localmente depositarsi a seguito di particolari eventi idraulici, come al termine di un evento di piena. Questa potrebbe essere la spiegazione del perché le curve relative alle barre campionate nel 2002, raffigurate nei *grafici 4.4 e 4.5*, si presentano così instabili in termini granulometrici fino alla confluenza con il fiume Taro: la superficie delle barre, è composta in parte da materiale sabbioso e in parte da sedimento ghiaioso.

Il *grafico 4.6*, il quale compara l’andamento granulometrico in canale e nelle barre, mette in evidenza che la decrescita granulometria nelle due diverse unità morfologiche avviene in due posizioni diverse lungo l’asta fluviale. Il canale, dal Ticino in poi, per il D_{50} non registra più la presenza di materiale ghiaioso, al contrario di quanto rilevato sulle barre. Si tratta di un dato abbastanza inconsueto e sospetto, probabilmente il problema risiede nel fatto che non si hanno abbastanza elementi e campionamenti per poter affermare con certezza questa strana assenza di ghiaia nel canale.

Attorno al chilometro 400, fino al delta, i *grafici 4.4 e 4.5*, relativi alla superficie delle barre per l’anno 2002, sono costituiti sia da una componente sabbiosa, che sabbiosa molto fine, coerenti con i dati relativi al canale.

Per quanto riguarda il confronto dei dati sul piano temporale, possibile dalla confluenza con il fiume Adda, ovvero il luogo in cui ha preso avvio la campagna del 2012, in generale non sono state riscontrate particolari variazioni granulometriche.

Il *grafico 4.2*, ovvero quello relativo al D_{50} nella sezione di canale, conferma la quasi completa congruenza dei risultati concerni ai campionamenti eseguiti nel 2002 e nel 2012, con solo un maggior grado di uniformità degli ultimi.

Il *grafico 4.3* presenta una rilevante differenza nel tratto compreso circa tra il chilometro 380 e 430, evidenziano il fatto che nel 2002 la parte più grossolana dei campioni era costituita da materiale ghiaioso, mentre nel 2012 è sabbia. I dati relativi ai campionamenti non sono abbastanza per poter affermare che nel

corso degli anni, in quello specifico tratto, la riduzione della dimensione dei granuli trasportati dal fiume è indice del fatto che il Po sta diminuendo la sua competenza, ovvero la capacità del fiume di sollevare, trasportare e depositare i granuli del sedimento relativamente alla sua forza corrente. Per approfondire l'aspetto si potrebbe andare a studiare se le variazioni planimetriche e morfologiche danno indicazioni relative ad una diversa sezione fluviale, che potrebbe spiegare la differente competenza ipotizzata.

I *grafici 4.4 e 4.5*, raffiguranti i dati relativi all'unità morfologica "barre", mostrano che non sussiste una rilevante differenza tra i dati del 2002 e 2012 per quanto riguarda il primo tratto in comune, ovvero per la sezione 360-400km. Contrariamente, il tratto successivo, fino all'affluente Po di Goro, è caratterizzato dalla presenza di una componente molto fine nei sedimenti del 2002, registrata solo nel tratto finale, nei pressi del delta per i dati del 2012. In entrambi i grafici, dunque per entrambe le granulometrie analizzate, non sono presenti dei minimi per quanto riguarda il 2012, dunque si potrebbe ipotizzare che il motivo della diminuzione della frazione fine, nel corso degli anni, sia legato al potenziale stato di leggera incisione del fiume, che potrebbe aver comportato una rimozione della frazione granulometrica più fine. Un'altra ipotesi in grado di giustificare tale evoluzione temporale potrebbe essere legata al generale decremento del trasporto solido in sospensione che ha caratterizzato negli ultimi decenni il Fiume Po.

I dati relativi ai 13 campionamenti eseguiti nel 2022 confermano che non sta avvenendo alcun cambiamento significativo, confermato dalla coerenza dei risultati con le analisi eseguite gli anni precedenti.

Concludendo, la descrizione longitudinale ha permesso di identificare i tratti con componente ghiaiosa da quelli senza, dove avviene la transizione da fiume ghiaioso a prettamente sabbioso relativamente alle unità morfologiche studiate, i ruoli dei diversi tributari e l'influenza dei principali sbarramenti antropici, come per Isola Serafini.

L'analisi temporale ha messo in luce una sostanziale stabilità della granulometria negli ultimi vent'anni. Dato grazie al quale è stato possibile ipotizzare che, in

questa finestra temporale, non sono avvenuti cambiamenti significativi relativi all'equilibrio morfologico dei tratti del fiume Po studiati.

In ogni caso, i tratti finali mostrano un lieve aumento della granulometria media nel corso degli anni, informazione che richiederebbe il supporto di studi aggiuntivi al fine di comprendere se la causa di tale evoluzione risieda in una traiettoria di lieve erosione dell'alveo o se funzione di un diverso regime di trasporto solido in sospensione.

6.FONTI BIBLIOGRAFICHE E SITOGRAFIA

Fonti bibliografiche

- Brenna, A.; Surian, N.; & Mao, L. 2021. Alteration of gravel-bed river morphodynamics in response to multiple anthropogenic disturbances: Insights from the sediment-starved Parma River (northern Italy). *Geomorphology*, 389, 107843.
- Curch, M.A. 1992. Channel Morphology and Typology. In: P.Callow and Petts, G.E. (Eds.), *The Rivers Handbook*, Oxford, Blackwell, 126 – 143.
- Folk, R.L.; Ward, W.C. 1957. A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Inman, D.L. 1952. Measures for Describing the Size Distribution of Sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 22, 125-145.
- Kondolf, G.M. 1997. Hungry water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management* 21(4): 533-551.
- Krumbein, W.C. 1934. Size Frequency Distribution of Sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4, 65-77.

- Rinaldi, M.; Surian, N. 2005. Variazioni morfologiche ed instabilità di alvei fluviali: metodi ed attuali conoscenze sui fiumi italiani. In: Brunelli, M.; Farabollini, P. (eds.), *Dinamica Fluviale, Atti Giornate di Studio sulla Dinamica Fluviale*, Grottammare Giugno 2002, Ordine dei Geologi Marche, 203-238.
- Schumm, S.A. 1977. *The Fluvial System*. Wiley, New York, 338 pp.
- Surian, N. 2002. Downstream variation in grain size along an Alpine River: analysis of controls and processes. *Geomorphology* 43, 137-149.
- Terzaghi, K.; Peck R.B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley, 752 pp.
- Thorne, C.R. 1997. Channel types and morphological classification. In: C.R. Thorne, R.D. Hey and M.D. Newson (Eds.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, Wiley, 175-222.
- Udden, J.A. 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 25, 655–744.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journ. Geol.*, 30, 377–392.

Documenti consultati

- Mioni, B.; Galvani, I.; Mille, L.; Moretti, M. 2012. Preliminary Project to improve navigation from Cremona Port to the Adriatic Sea; in the field of the trans-European transport networks. Pubblicato da AIPo, Agenzia Interregionale per il Fiume Po.

- Rinaldi, M.; Surian, N.; Comiti, F.; Bussetini, M. 2016. IDRAIM, “Sistema di valutazione idromorfologicaa, analisi e monitoraggio dei corsi d’acqua”, ISPRA Istituto superiore per la Protezione e la ricerca Ambientale).
- Savazzi,G; Paoletti, A. (Responsabile del progetto). 2007. Aggiornamento delle analisi morfologiche e del bilancio del trasporto solido dell’asta del fiume Po da confluenza Stura di Lanzo all’incile del delta (periodo 2002-2005) e report di valutazione. Pubblicato da AdBPo (Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po).

Sitografia

- [https://www.treccani.it/enciclopedia/po_\(Enciclopedia-Italiana\)/#:~:text=il%20breve%20corso%20montano%20\(35,Paesana%2C%20a%20606%20m.%20s.%20m.\).](https://www.treccani.it/enciclopedia/po_(Enciclopedia-Italiana)/#:~:text=il%20breve%20corso%20montano%20(35,Paesana%2C%20a%20606%20m.%20s.%20m.).) Accesso in rete 1/10/2023
- <https://progettodighe.it/centrali/isola-serafini-monticelli-dongina-pc/> .
Accesso in rete 27/09/2023
- <https://cultura.biografieonline.it/fiume-po/>. Accesso in rete 24/09/2023
- <https://www.geopop.it/cose-la-canalizzazione-dei-fiumi-e-perche-puo-provocare-gravi-danni-e-alluvioni/>. Accesso in rete 27/09/2023
- https://torino.repubblica.it/cronaca/2016/04/08/foto/canale_cavour_la_pri_ma_grande_opera_dell_italia_unita-137151173/1/. Accesso in rete 25/09/2023
- <https://www.pianurareno.org/new/2023/05/19/cavo-napoleonico-scolmatore-tra-reno-e-po-note-di-storia/> .Accesso in rete 25/09/2023
- <https://electomagazine.it/fiume-po-la-storia-e-lorigine-del-nome/> .Accesso in rete 24/09/2023